



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CUAUTITLAN

"ANÁLISIS ELEMENTAL Y FÍSICOQUÍMICO DEL AGUA  
RESIDUAL DE LA UNAM CAMPUS CUAUTITLAN PREVIO A  
SU TRATAMIENTO EN UNA PLANTA PILOTO"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
QUÍMICA FARMACÉUTICA BIÓLOGA  
P R E S E N T A  
ADRIANA CAMARGO BRAVO

ASESOR: M.C. ELIZABETH TORIZ GARCIA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

2000

287223



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

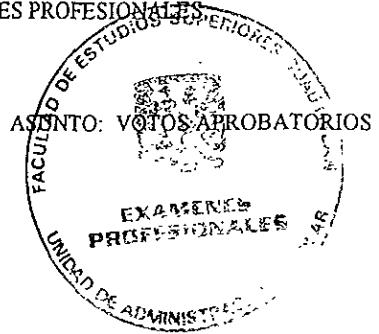
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES



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

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

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

" Análisis Elemental y Fisicoquímico del agua  
residual de la UNAM Campus Cuautitlán previo  
a su tratamiento en una planta piloto".

que presenta la pasante: Camargo Bravo Adriana  
con número de cuenta: 8913888-5 para obtener el TÍTULO de  
Química Farmacéutica Bióloga

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

A T E N T A M E N T E

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 6 de octubre de 199 9

PRESIDENTE M.C. Elizabeth Toriz García *Elizabeth Toriz G.*

VOCAL QFI. Leticia Zúñiga Ramírez *Leticia Zuniga*

SECRETARIO Dr. Enrique Angeles Anguiano *Enrique Angeles*

PRIMER SUPLENTE QFB. Salvador Zambrano Martínez *Salvador Zambrano*

SEGUNDO SUPLENTE QFB. Enrique Amador González *Enrique Amador*

**EL DESARROLLO DEL PRESENTE TRABAJO DE TESIS SE LLEVO A CABO EN:**

**EL INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES, BAJO LA ASESORIA DE LA QI. IRMA GARCIA SOSA Y EL DR. JOSE LUIS ITURBE GARCIA.**

**COMISION ESTATAL DE AGUA Y SANEAMIENTO, CON EL APOYO DEL M. EN IA. ROGELIO GARCIA.**

**CENTRO DE ASIMILACION TECNOLOGICA, CON LA DIRECCION DE LA M. EN C. ELIZABETH TORIZ GARCIA Y EL M. EN C. JAVIER SORIANO SAAVEDRA.**

**AGRADEZCO A LAS AUTORIDADES DE ESTAS INSTITUCIONES EL APOYO QUE ME BRINDARON.**

**ASI MISMO AGRADEZCO AL PROGRAMA FUNDACION UNAM, EL APOYO ECONOMICO OTORGADO A ESTE TRABAJO DE TESIS.**

**AGRADEZCO AL INSTITUTO NACIONAL DE  
INVESTIGACIONES NUCLEARES LAS FACILIDADES  
OTORGADAS PARA LA REALIZACION DE ESTA TESIS**

## **DEDICATORIAS**

### **A DIOS**

*Me tardaría toda la existencia para encontrar la frase adecuada que refleje lo que siento por ti, toda la eternidad para agradecerte este invaluable logro, y solo un instante para demostrarme que me amas, gracias por dejarme llegar.*

### **A MI MAMASEVERIANA BRAVO CASTAÑEDA Y A MI PAPA JESUS CAMARGO TORRES**

*Me explota el corazón al pensar en ustedes, por que su esfuerzo, dedicación y ejemplo, fueron el motor de mi vida para construir mi camino y su amor el abrazo fuerte en los momentos difíciles. Gracias por confiar en mi y enseñarme a ser libre.*

### **A MIS HERMANOS ADOLFO, CLAUDIA Y HECTOR**

*Por que somos los mejores amigos, cómplices desde la infancia, dulce alegría de mi juventud y apoyo de toda mi vida. Especialmente a ti Claudia, te agradezco tu sonrisa cuando más triste me encontraba. Los amo.*

### **A MI ESPOSO ADOLFO FINO TRUJILLO**

*Por que tu eres mi presente y representas el inicio de mi nueva vida que estoy dispuesta a llevar contigo hasta las últimas consecuencias. Te amo.*

### **A MI MEJOR REGALO**

*Por que aun no te conozco pero ya te amo y el logro de esta meta representa mi esfuerzo por ser mejor para ti en todo.*

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

*Por que si no existiera, tal vez no vería realizado este anhelado sueño.*

### **A MIS ASESORES**

*Por que de forma integra todos me enseñaron a ser estudiante, profesionista y persona. Gracias por el apoyo brindado.*

### **A LA QI. IRMA GARCÍA SOSA**

*Gracias por su paciencia y estar siempre firme a mi lado en el trabajo y los triunfos conseguidos y sobre todo por escucharme siempre.*

### **A LA M EN C. ELIZABETH TORIZ GARCIA**

*Por enseñarme la virtud de la iniciativa y superar todo obstáculo.*

### **AL M. EN C. JAVIER SORIANO SAAVEDRA**

*Por ser apoyo en todo lo que parecía imposible.*

### **AL DR. JOSE LUIS ITURBE GARCÍA**

*Por que siempre confío en todo lo que emprendí.*

### ***A MIS AMIGOS DEL ININ***

*Por que compartimos el mismo espacio, alegrías y secretos aun en los días más fríos y lluviosos. Especialmente con cariño las recuerdo Sonia y Yenni.*

### ***AL PERSONAL DEL ININ***

*A Toño y todos mis amigos del reactor: Wenceslao, Mariano, Max y Braulio, que hicieron que mi estancia en el ININ fuera sumamente agradable.*

### ***A MARCO***

*Por que fuimos apoyo mutuo sin interés y al final los dos aprendimos el valor de la amistad.*

### ***A MI AMIGA...***

*Por que aunque las cosas han cambiado nada ni nadie borrará todo lo que vivimos juntas.*

### ***A MIS COMPAÑEROS DE LA FACULTAD***

*Por que todos en conjunto crecimos y compartimos cinco años de nuestra vida con las mismas preocupaciones y sueños.*

### ***A MIS AMIGOS DEL GRUPO MATEO SERRA***

*Muy especialmente a mi amiga Lupita, por que con ustedes aprendí el verdadero valor de la vida y a ser muy muy feliz.*

### ***A MIS AMIGOS DE LA MAESTRIA***

*Por que fueron mi gran apoyo en mi último esfuerzo, muy especialmente a Rulis, Ady, Gaby y Eric.*



## I N D I C E

	Página
<b>RESUMEN</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>1</b>
I.1 Objetivo general	5
I.2 Ojetivos particulares	6
<b>II PLANEACIÓN PARA LA RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>7</b>
II.1 Muestreo	8
II.2 Análisis físicos	14
II.2.1 Sólidos en todas sus formas	14
II.2.2 Turbidez	16
II.2.3 Conductividad eléctrica	17
II.2.4 Temperatura	19
II.3 Análisis químicos	20
II.3.1 Potencial de hidrógeno (pH)	20
II.3.2 Alcalinidad	22
II.3.3 Dureza	23
II.3.4 Cloruros	25
II.3.5 Demanda bioquímica de oxígeno	26
II.3.6 Demanda química de oxígeno	29
II.3.7 Nitrógeno	30
II.3.8 Detergentes	33
II.3.9 Grasas y aceites	34
II.3.10 Fenoles	35
II.3.11 Cianuros	36
II.4 Análisis elemental	38
<b>III EJECUCION DEL PLAN</b>	<b>46</b>
<b>IV EVALUACION</b>	<b>49</b>
<b>V CONCLUSIONES</b>	<b>95</b>
<b>VI BIBLIOGRAFIA</b>	<b>96</b>
<b>VII ANEXOS</b>	<b>100</b>
Anexo I. Muestreo	100
Anexo II. Fundamentos básicos sobre radiación	106
Anexo III. Legislación ambiental en materia de aguas residuales	122
Anexo IV Definición de términos	126

## RESUMEN

Se determinó la composición del agua residual de la UNAM Campus Cuautitlán Campo 1, como etapa preliminar a su proceso en el prototipo de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales XXI-2000. Se estableció un programa de muestreo de 5 semanas de las 9:00 a las 19:00 horas conforme a las Normas Oficiales vigentes NMX-AA-003-1980, NMX-AA-014-1980, NOM-001-ECOL-1996 y la NOM-002-ECOL-1996. Se calculó el caudal de las aguas residuales del campus y con base a este se determinó el consumo de agua de la comunidad en el plantel. Posteriormente a las muestras colectadas se les realizó un análisis elemental cualitativo y cuantitativo mediante activación neutrónica y espectrometría gamma, así como la determinación de varios parámetros fisicoquímicos conforme a los métodos de prueba descritos en las Normas Técnicas Oficiales.

De acuerdo al análisis elemental se encontraron Na, Cl, Br y Mn; por otro lado ninguno de los parámetros fisicoquímicos determinados rebasaron los criterios establecidos por la Norma Ecológica NOM-002-ECOL-1996, sin embargo por su contenido se sugiere que el agua residual que se genera en el campus, se someta a tratamiento para su posterior disposición.

## INTRODUCCIÓN

Al considerar el desarrollo industrial y el crecimiento de la población, se identifica a el abasto de agua como un problema básico que condiciona el futuro de la humanidad. Por definición, el agua residual es un líquido de composición variable proveniente del uso municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole ya sea pública o privada, y que por tal motivo haya sufrido degradación en su calidad original.

Existen factores que contribuyen a degradar la calidad de un sistema acuático, dentro de los cuales se encuentran: la precipitación atmosférica, descargas de efluentes urbanos e industriales, la contaminación agropecuaria y efluentes procedentes del uso doméstico. Esto provoca una insuficiencia en los procesos de autodepuración de los cuerpos receptores, lo que trae consigo modificaciones en los componentes fisicoquímicos y en la biocenosis que habita dicho cuerpo.

Frente al desafío que impone la protección, el uso racional y eficiente del agua, esta dependencia se integra al Desarrollo Sustentable, y es así como surge el "*Programa de Calidad Ambiental*", que entre otros tópicos, aborda la problemática de los recursos hídricos, para contribuir a que existan en cantidad suficiente y calidad excepcional para las generaciones venideras.

## I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### **Importancia del agua**

Desde tiempos antiguos se ha estimado en alto grado el valor del agua como elemento esencial para la existencia humana, de plantas y animales; además es un factor integral de los ecosistemas de la tierra ya que determina el clima y la calidad de los suelos cultivables.<sup>(1)</sup>

Es muy conocido que las  $\frac{3}{4}$  partes de la superficie terrestre están cubiertas por agua, esto representa aproximadamente 1350 millones de  $\text{km}^3$ . Existen 8 millones de  $\text{km}^3$  de agua subterránea y 12500  $\text{km}^3$  se encuentran en forma de vapor de agua en la atmósfera. Los océanos concentran el 97.2% del agua que existe en la tierra, los casquetes polares y los glaciares contienen 2.24%, el agua subterránea constituye el 0.61% y los ríos, lagos y corrientes sólo corresponden al 0.02% del total.<sup>(47)</sup>

El agua posee propiedades físicas y químicas que le dan características muy particulares de uso. En el ámbito humano se utiliza para el consumo, actividades domésticas y riego agrícola. Dentro del campo industrial se usa en diversos procesos como disolvente, reactivo, medio de reacción, transporte, transferencia de energía, calor, y como sistema de enfriamiento.<sup>(35)</sup>

En lo referente a la Ciudad de México, el caudal del agua potable que se suministra es de  $62 \text{ m}^3/\text{s}$ , de los cuales 35 se consumen en el Distrito Federal (360 litros diarios por persona en promedio) y 27 en las zonas conurbadas pertenecientes al Estado de México. Del caudal mencionado, el 66% se extrae de pozos de los mantos acuíferos del Valle de México, que se han formado a través de los siglos por filtración de agua de lluvia y sobre los que está asentada nuestra 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 km de la Ciudad, proporciona aproximadamente el 9 % del agua que consumimos, y el 25% restante proviene del Sistema Cutzamala distante a 127 km. El acuífero se recarga anualmente con  $693 \text{ m}^3$  de agua de lluvias, es decir, recibe el equivalente a una vez y media el agua contenida en la presa de Valle de Bravo, sin embargo se le extraen  $1300 \text{ m}^3$  al año, o sea 3 veces más de lo que se recarga.

Además de los acuíferos mencionados, no existen otras fuentes de suministro cercanas a la capital, que pudieran abastecer de agua a costos razonables, por lo que ha sido necesario disponer de otros mantos freáticos del Estado de México, tales como Toluca, Ixtlahuaca y Amacuzac.<sup>(46)</sup>

### **Origen del agua residual**

La **contaminación del agua**, según la definición de la Organización Mundial de la Salud (OMS), es el fenómeno que modifica alguna o algunas características del agua, por agentes físicos, químicos o biológicos, capaces de dañar la salud humana, la flora, la fauna o la economía, por cuanto se interfieren sus usos lícitos o se imposibilita su restauración como recurso vital, por ser esta antieconómica o tecnológicamente imposible.<sup>(6)</sup>

La calidad del ambiente se ha visto seriamente afectada en las últimas décadas por el manejo y disposición inadecuados de considerables cantidades de desechos generados en los grandes núcleos de población y centros industriales. Las principales fuentes de contaminación pueden ser clasificadas en dos grandes grupos:

1. *Natural.*
2. *Antropogénica.*

La primera es un tipo de contaminación debida a causas naturales, tales como las arrastras de materia orgánica, por los escurrimientos del agua pluvial, así como los productos inorgánicos producidos por la erosión de suelos, emanaciones volcánicas, o incendios forestales. Aunque en el sentido estricto todos los cuerpos de agua presentan algún grado de contaminación, ya que con la sola presencia de organismos vivos en estos cuerpos, indican una determinada concentración de nutrientes, en épocas de lluvia los ríos crecidos pueden llegar hasta las zonas pantanosas, por lo que las corrientes de agua de estos pantanos degradan su calidad. La infiltración se produce cuando se sitúan conductos de alcantarillado por debajo del nivel freático o cuando el agua de lluvia se filtra hasta el nivel de la tubería.

La contaminación antropogénica se origina principalmente por las descargas de aguas residuales de los sectores urbano, industrial y agrícola.<sup>(7)</sup>

Las concentraciones urbanas de población constituyen una de las principales fuentes de contaminación, debido a los grandes volúmenes de aguas residuales domésticas producidas, que son colectadas por los sistemas de alcantarillado. La mayoría de las aguas suburbanas no se encuentran conectadas a estos sistemas y disponen sus aguas residuales en fosas sépticas o directamente a los cuerpos de agua.<sup>(3)</sup>

El caudal de aguas residuales generado a nivel nacional es de 231 m<sup>3</sup>/s, y sólo se recolectan por sistemas municipales de alcantarillado 174 m<sup>3</sup>/s, con una carga contaminante de 4945 ton/día de materia orgánica, las cuales contienen en algunas localidades una considerable aportación de descargas de aguas residuales industriales. El 38 7% de dicha descarga se concentra en 12 ciudades (área metropolitana de la Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey, Puebla, Ciudad Juárez, Región Lagunera, San Luis Potosí, Tijuana, Toluca, Chihuahua y Mérida).<sup>(39)</sup>

Las aguas residuales de origen industrial tienen generalmente una composición específica y directamente ligada al tipo de industria, pudiendo presentar características propias de toxicidad. La actividad industrial nacional está integrada por una variedad muy amplia de procesos, contándose entre las principales la química, petroquímica, metalúrgica, del papel, textil, azúcar y alimentos.

Cada una de estas industrias descarga volúmenes considerables de aguas residuales, cuya naturaleza fisicoquímica dependerá del tipo de proceso a que se refiera, pudiendo ser materia orgánica, nutrientes, metales pesados, ácidos, bases, sustancias inorgánicas, grasas y aceites.<sup>(44)</sup>

Las 1397 empresas industriales que descargan directamente sus aguas residuales a cuerpos de aguas nacionales, generan un caudal de 77 m<sup>3</sup>/s, con una carga orgánica de 4920 ton/día. El 57% de dicha carga se concentra en nueve cuencas hidrológicas (Papaloapan, Jampa, Soto la Marina, Bravo San Juan, Tamuín, Pánuco, Yaqui, Coahuayana y Balsas Infiernillo).<sup>(48)</sup>

Como consecuencia del uso de herbicidas, plaguicidas y fertilizantes para el control de plagas y aumento de la productividad agrícola, estas aguas de retorno arrastran compuestos tóxicos hasta los cuerpos receptores, aunado a los arrastres de las excretas animales por los escurrideros pluviales, produce una fuente considerable de contaminación que altera los ecosistemas acuáticos. Por ejemplo, cuando los restos de fertilizantes llegan a los cuerpos de agua, se provoca un indeseable crecimiento de plantas acuáticas.<sup>(6)</sup>

El control y manejo de las aguas de retorno agrícola es difícil, debido a que las grandes áreas de riego tienen varias descargas, principalmente en épocas de lluvia. El sector agropecuario aporta una considerable cantidad de contaminantes a los cuerpos de agua del país, tan sólo para tener una idea, puede señalarse que la contaminación estimada a nivel nacional equivale a 63 millones de habitantes.<sup>(39)</sup>

Cuando se llega a un abatimiento total de oxígeno disuelto, se crean condiciones sépticas que producen malos olores y sabores en los cuerpos, además de matar a los peces y demás organismos deseables.

El agua residual contiene pequeñas cantidades de un gran número de diferentes moléculas orgánicas sintéticas, cuya estructura puede variar desde muy simple hasta sumamente compleja. Ejemplos típicos son los agentes tensoactivos (detergentes), fenoles y pesticidas usados en la agricultura. Por otro lado, el número de compuestos aumenta año tras año al incrementarse la síntesis de moléculas orgánicas, la presencia de estas sustancias ha complicado en los últimos años el tratamiento de las aguas residuales, ya que muchas de ellas no pueden descomponerse biológicamente por los métodos convencionales o bien lo hacen muy lentamente.<sup>(41)</sup>

### **Problemática del agua en el Campus Cuautitlán Campo 1 de la UNAM**

El municipio de Cuautitlán Izcalli se ubica al noroeste del Valle de México, en la porción centro - oeste del Estado de México. Los ríos más importantes en este municipio son: Cuautitlán, el Río Hondo de Tepetzotlán y otros arroyos de caudal permanente. Entre otros cuerpos de agua se encuentran La Presa de Guadalupe, Presa Ángulo, Espejo de los Lirios, Presa de la Piedad, Presa del Rosario La Laguna, Los Sauces y Las Palomas.

El suministro de agua se realiza a través de tres elementos: una red de pozos profundos, un ramal del Sistema Cutzamala y de algunas de las presas existentes en el municipio, siendo el consumo promedio de agua potable de 155,720 m<sup>3</sup>/día.

En el Campus Cuautitlán Campo 1 de la UNAM, se consume gran cantidad de agua potable para abastecer a la comunidad universitaria, además, se desarrollan una serie de actividades que incluyen la utilización de reactivos químicos en el laboratorio, lo que origina descargas de aguas residuales que poseen características particulares.

El objetivo de este trabajo, es determinar la cantidad de agua residual que se genera en el Campus Cuautitlán Campo 1 de la UNAM, así como su composición elemental y fisicoquímica, ya que esto permite evaluar su calidad. Lo anterior es la base para adquirir criterios en posteriores pruebas de tratabilidad en el Prototipo XXI-2000 de una Planta Tratadora de Aguas Residuales, cuya meta es lograr la protección al ambiente y de la comunidad, al promover paulatinamente la sustitución del agua de uso por agua renovada en aplicaciones como riego de áreas verdes y en los servicios sanitarios.

### **I.1 Objetivo general**

- ❖ Establecer un estudio fisicoquímico mediante análisis de laboratorio, para caracterizar el agua residual de la UNAM Campus Cuautitlán Campo 1, como etapa preliminar a su proceso de tratamiento en el prototipo de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales XXI-2000.



## **1.2 Objetivos particulares**

- ❖ Medir los caudales de las descargas generales de la UNAM Campus Cuautitlán Campo 1, implementando un programa de muestreo, conforme a las normas oficiales NMX-AA-003-1980, NMX-AA-014-1980, NOM-001-ECOL-1996 y la NOM-002-ECOL-1996, para tipificar las descargas del campus.
  
- ❖ Determinar en el agua generada en la UNAM Campus Cuautitlán Campo 1, los parámetros: sólidos en todas sus formas, turbiedad, conductividad eléctrica, temperatura, pH, alcalinidad, dureza, cloruros, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitrógeno, detergentes, grasas y aceites, fenoles y cianuros; utilizando los métodos de prueba establecidos por las Normas Técnicas Oficiales, para conocer la composición de la misma.
  
- ❖ Comparar los resultados obtenidos con los criterios establecidos por la Norma Ecológica NOM-002-ECOL-1996, para conocer el grado de contaminación de las descargas generadas en el campus y orientar sobre el control del posterior tratamiento del agua residual.
  
- ❖ Cuantificar los elementos: níquel, zinc, cromo, cobre, antimonio, bario, plata, hierro, sodio, bromo, cloro, manganeso, cadmio y cobalto; utilizando la técnica de activación neutrónica para complementar el estudio sobre el agua residual del campus

## II PLANEACION PARA LA RESOLUCION DEL PROBLEMA

Para poder determinar el grado de contaminación que presenta un agua, es necesario conocer el valor de sus características de tipo físico y químico. La figura II.1 representa la metodología general de planeación para la resolución del problema.

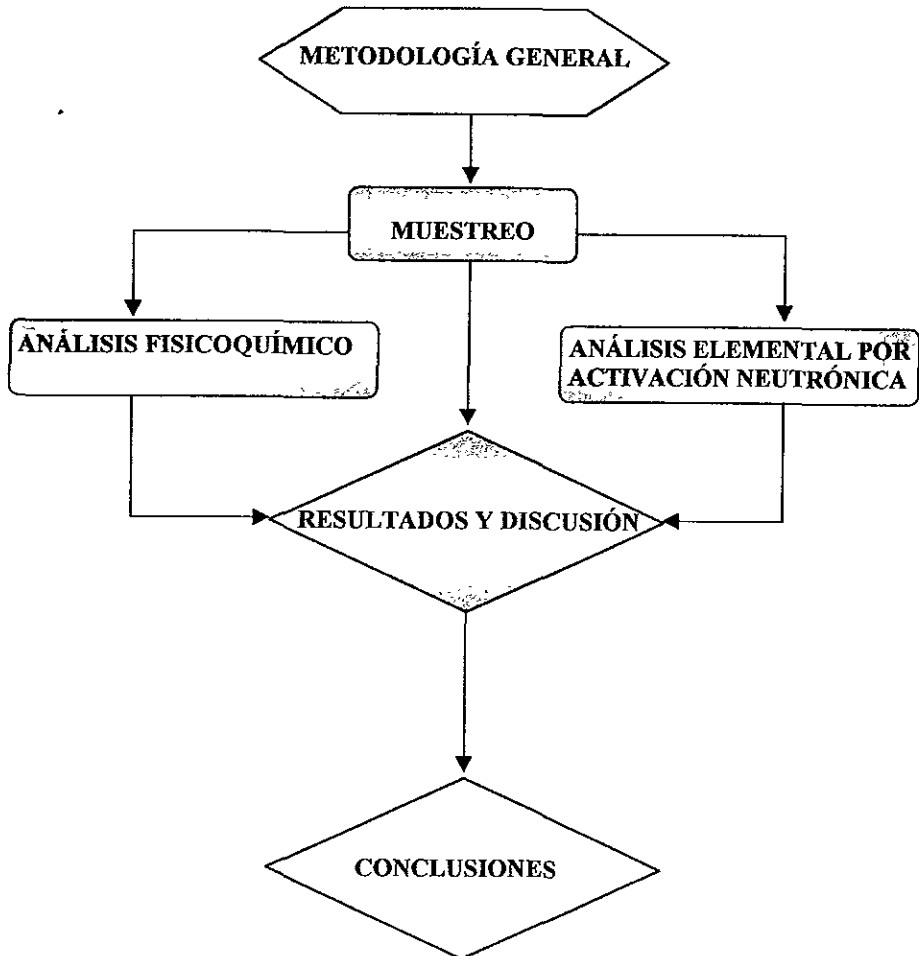


FIGURA II.1 Diagrama de bloques de la metodología general.

## **II.1 MUESTREO**

Cuando se va a iniciar un estudio para evaluar o controlar la contaminación por descargas de aguas residuales, el muestreo es el elemento clave en el programa de monitoreo que debe realizarse para asegurar datos válidos. El objetivo principal de la toma de muestra es que sea representativa del total que se pretende caracterizar. El muestreo se debe llevar a cabo con base en las Normas Oficiales NMX-AA-003-1980, NMX-AA-014-1980, NOM-001-ECOL-1996 y la NOM-002-ECOL-1996.

### **Agua potable.**

El suministro de agua potable del *campus universitario*, proviene de la red municipal de Cuautitlán Izcalli, Estado de México, la cual es alimentada por el sistema Cutzamala. El agua se almacena en una cisterna con una capacidad de 790.5 m<sup>3</sup> aproximadamente y para su distribución dentro del plantel, se cuenta con un sistema hidroneumático que permite la presurización de líneas de abastecimiento.

Se debe realizar un muestreo del agua potable que se recibe y almacena, con el fin de conocer su composición, y de esta manera dar una mejor evaluación sobre el tipo de descarga del *campus universitario*. La toma de muestra se ubica en el registro de cisternas y se debe realizar con un recipiente de polietileno acondicionado para esta actividad. Una vez tomada la muestra, conservar a 4 °C hasta su análisis elemental y fisicoquímico.

### **Agua residual.**

Para la toma de muestra de agua residual es importante tomar en cuenta los siguientes aspectos, que se esquematizan en la figura II.2:

- Ubicación de puntos de muestreo.
- Elaborar un programa de muestreo.
- Establecer un calendario.
- Toma de muestra simple.
- Preparación de muestra compuesta.

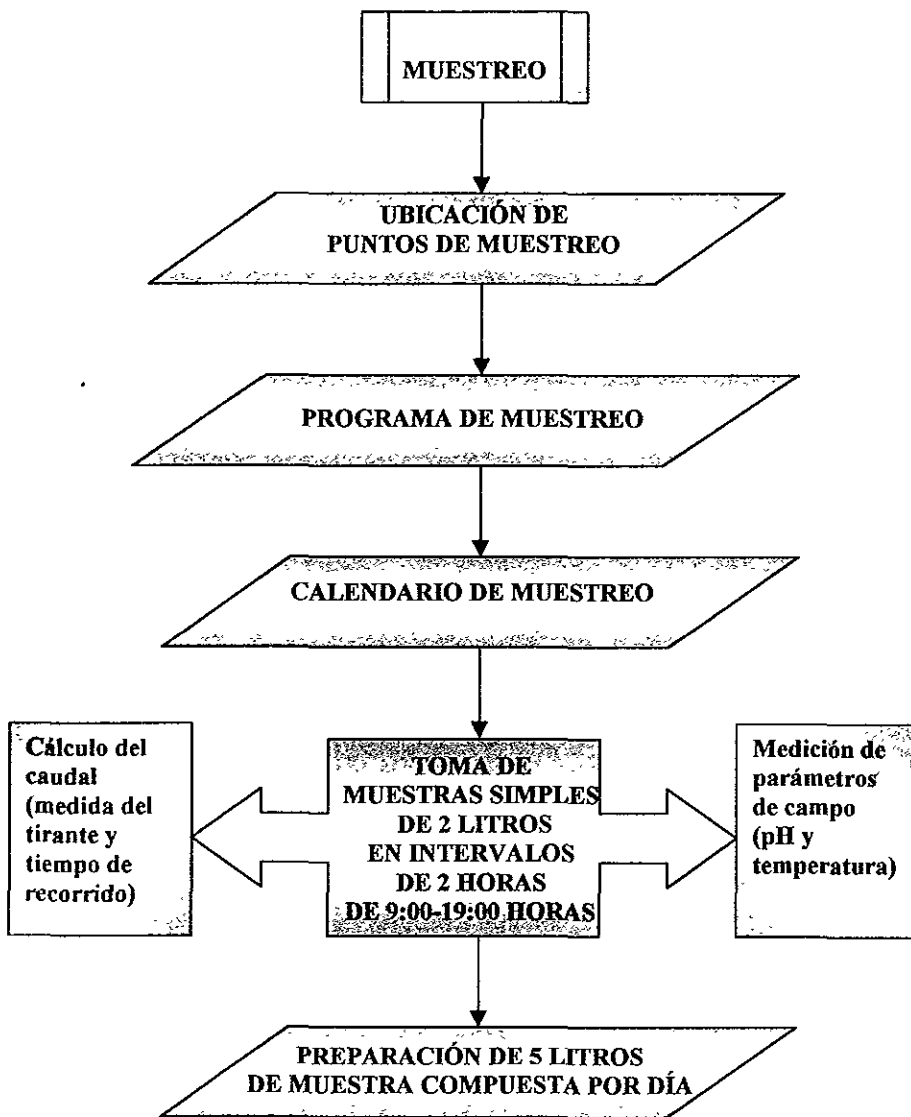


FIGURA II.2 Diagrama de bloques de la metodología del muestreo.

***Ubicación de puntos de muestreo.***

El sistema de alcantarillado que existe en el plantel es de tipo unitario, es decir, que tanto el agua ya utilizada, como el agua proveniente de precipitaciones pluviales, se desechan a través de ductos que conducen al drenaje municipal. El estudio de los planos de la red de alcantarillado así como la zona física, permitió la localización y estado de las alcantarillas, ubicando dos puntos de muestreo designados como descarga 1 y descarga 2, los cuales se señalan en el plano del *campus universitario* (figura II.3).

En los puntos de muestreo designados, se localizan descargas generales del plantel, en que las características de flujo favorecen las condiciones de mezcla de las aguas provenientes de los diversos edificios. Enseguida se describen las características de los puntos de descarga.

***Descarga 1 (SW):*** Esta descarga se localiza en dirección sureste, se encuentra aproximadamente a 10 metros del bioterio y las dimensiones del registro son:

- ◆ Diámetro de tubería de 0.4064 m.
- ◆ Profundidad promedio del registro 1 m.

Se encuentra a una distancia de 14.8 m con respecto al registro anterior inmediato, que se utilizó para calcular la velocidad del agua residual. En este registro intersectan las aguas residuales provenientes de los siguientes laboratorios y aulas (figura II.3):

1. Oficinas de mantenimiento.
2. Servicios generales.
3. Laboratorio L-1.
4. Edificio A-2.
5. Biblioteca.
6. Laboratorio L-5.
7. Edificio A-3.
8. Edificio de idiomas.
9. Tienda (kiosko).
10. Bioterio.
11. Investigación (posgrado).

**Descarga 2 (SE):** La descarga 2 se ubica en dirección suroeste, el registro se localiza a 3 metros del edificio en construcción de L.E.M. y Farmacia, posee las siguientes dimensiones:

- ◆ Diámetro de tubería de 0.4572 m.
- ◆ Profundidad promedio del registro 1 m.
- ◆ Distancia utilizada en el registro para medir el gasto: 0.8 m.

Las aguas residuales que se mezclan en este registro provienen de los edificios que corresponden a (figura II.3):

12. Comedor.
13. Edificio A-1.
14. Laboratorio L-3.
15. Laboratorio L-4.
16. Edificio de Farmacia (unidad de seminarios).

#### **Programa de muestreo.**

El programa de muestreo se elabora con base en las normas NMX-AA-003-1980, NMX-AA-014-1980, NOM-001-ECOL-1996 y la NOM-002-ECOL-1996, en las cuales se indica que la muestra puede ser de tipo compuesta o simple: *"La muestra simple se refiere a aquella tomada en el punto de descarga, de manera continua, en un día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente él o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos, un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, aforando el caudal necesario en el sitio y en el momento del muestreo. La muestra compuesta resulta de mezclar el número de muestras simples, según lo indicado en la tabla"* (tabla II.1).<sup>(29)</sup>

Tomando en cuenta que el grado de variación del caudal condiciona el intervalo de tiempo del muestreo (el cual debe ser lo suficientemente corto como para que la representatividad de las muestras sea máxima), considerando los requerimientos establecidos por las normas correspondientes, que la actividad académica en el plantel se realiza durante el día y ajustándose a la disponibilidad de reactivos y equipo, se determina

un periodo de muestreo de 10 horas, de las 9:00 a las 19:00 horas, con intervalos de toma de muestra simple (instantánea) de 2 horas, permitiendo con esto la estimación de la concentración media durante un día de muestreo.

<b>FRECUENCIA DE MUESTREO</b>			
<b>HORAS POR DÍA QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE LA DESCARGA</b>		<b>INTERVALO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS)</b>	
		<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>
<b>NÚMERO DE MUESTRAS SIMPLES</b>			
Menor que 4	Mínimo 2	-	-
De 4 a 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 y hasta 18	6	2	3
Mayor que 18 y hasta 24	6	3	4

**TABLA II.1 Frecuencia de muestreo para integrar la muestra compuesta según la Norma NOM-001-ECOL-1996 (DOF, 6 de Enero, 1997).**

***Calendario del muestreo.***

Se establecen 5 muestreos compuestos en época de estiaje (seca), distribuidos en los 5 días de labor académica, es decir de lunes a viernes, considerando poco significativas las labores de sábado y domingo.

***Toma de muestra simple***

Se deben realizar 6 tomas de muestra simple colectando mínimo 2 litros en intervalos de 2 horas de las 9:00 a las 19:00 horas: 9:00, 11:00, 13:00, 15:00, 17:00, 19:00. Los parámetros de campo a medir son pH, temperatura, así como tirante y tiempo de recorrido (del unícel), para calcular el caudal por el método de sección y velocidad. El procedimiento se describe con detalle en el anexo I.

***Preparación de muestra compuesta***

Preparar 5 litros de muestra compuesta, tomando un volumen de muestra simple proporcional al flujo instantáneo. Ver anexo I.

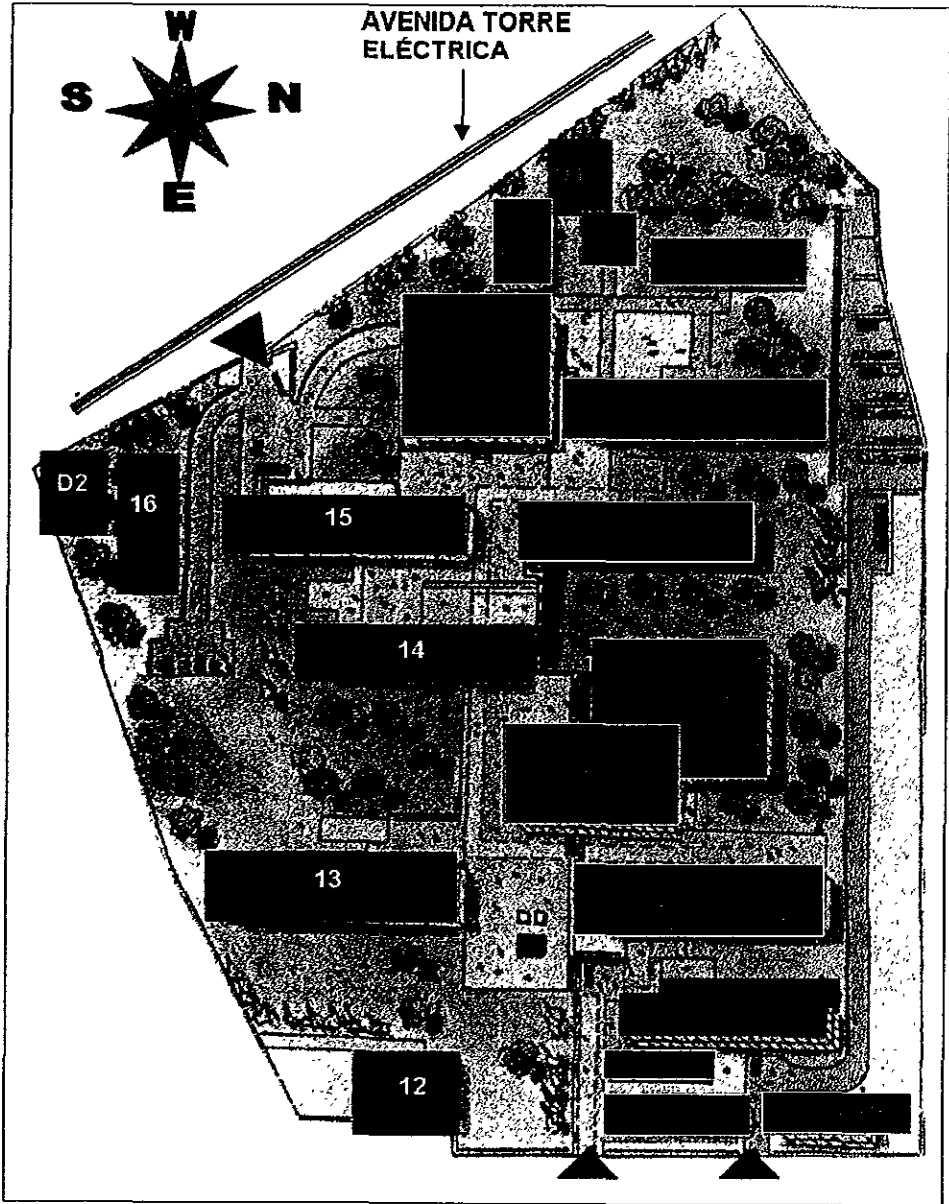


FIGURA II.3 Plano de la UNAM Campus Cuautitlán Campo 1.



Los parámetros fisicoquímicos que se indican a continuación representan una parte de la totalidad de los que existen, pero en general muestran la información que se necesita para evaluar el grado de contaminación de la descarga generada en el campus.

## **II.2 ANALISIS FISICOS**

Los análisis físicos más importantes a realizar en el agua residual se refieren a su contenido total de sólidos, temperatura, turbiedad y conductividad eléctrica.

### ***II.2.1 Sólidos en todas sus formas.***

Los sólidos totales del agua residual provienen del agua de abastecimiento, del uso industrial y doméstico, además del agua de infiltración de pozos locales y aguas subterráneas. Los *sólidos domésticos* incluyen procedentes de inodoros, fregaderos, baños, lavaderos, trituradores de basura y ablandadores de agua.

Análíticamente el contenido de sólidos en agua residual se define como toda materia que queda como residuo de evaporación a 103-105 °C. Los sólidos totales pueden clasificarse como sólidos suspendidos y sólidos disueltos (filtrables), al pasar un volumen conocido de un líquido por un filtro. Por lo general, el filtro se elige de modo que el diámetro máximo de los sólidos suspendidos sea aproximadamente de una micra (1µm). La fracción de los sólidos suspendidos incluyen los sólidos sedimentables que son una medida aproximada de la cantidad de materia que se eliminará por sedimentación.

La fracción de sólidos disueltos (filtrables) se compone de *sólidos coloidales* y *en solución*. Las partículas coloidales constan de un diámetro aproximado entre  $10^{-3}$  y 1µm. Los sólidos en solución se componen de iones, moléculas inorgánicas y orgánicas que se encuentran presentes en disolución verdadera en el agua. La fracción coloidal no puede eliminarse por sedimentación, por lo general se requiere una oxidación biológica seguida de sedimentación para eliminar estas partículas en suspensión.

A su vez, los sólidos pueden clasificarse nuevamente con base a su volatilidad a 600 °C. A esta temperatura la fracción orgánica se oxida y es eliminada como gas, permaneciendo la fracción inorgánica como ceniza. Por tanto, los términos "sólidos

A su vez, los sólidos pueden clasificarse nuevamente con base a su volatilidad a 600 °C. A esta temperatura la fracción orgánica se oxida y es eliminada como gas, 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. A 600 °C la descomposición de las sales inorgánicas se limita al carbonato de magnesio, que se descompone en óxido de magnesio y bióxido de carbono a 350 °C. El carbonato cálcico, principal componente de las sales inorgánicas, es estable hasta una temperatura de 825 °C. El análisis de los sólidos volátiles se aplica más frecuentemente a los lodos del agua residual para medir su estabilidad biológica.<sup>(4,41)</sup> En un análisis de laboratorio los sólidos se reportan como se muestran en la figura II.4.

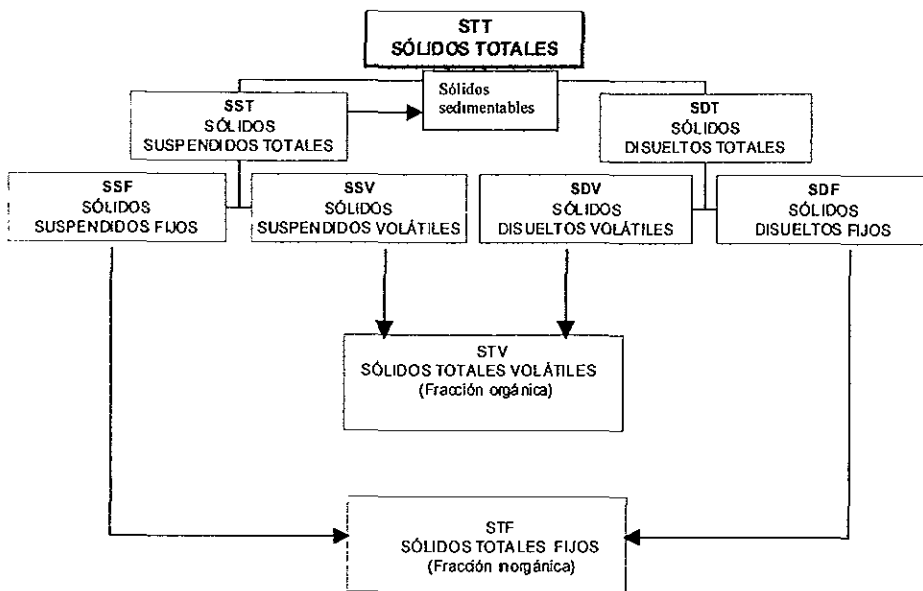


FIGURA II.4 Clasificación de los sólidos presentes en el agua.

## **Fundamento del método**

**NMX-AA-034-1981. Determinación de sólidos en agua. Método gravimétrico.<sup>(10)</sup>**

La presente norma establece los métodos para la determinación del contenido de sólidos totales, sólidos totales volátiles, sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles, sólidos disueltos totales y sólidos disueltos volátiles. Los métodos se basan en la evaporación y calcinación de la muestra, en donde los residuos de una y otra operación sirven de base para el cálculo del contenido de sólidos.

**NMX-AA-004-1977. Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales. Método del cono Imhoff.**

Los sólidos sedimentables se depositarán en un recipiente de un litro en forma de cono (llamado imhoff) durante un periodo de 60 minutos. Los resultados se reportan como mililitros de sólidos sedimentados por litro de muestra.

### ***II.2.2 Turbidez***

La turbidez es la expresión de la propiedad óptica de la muestra que causa que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra. La turbiedad es la reducción de la transparencia de una muestra de agua debida a la presencia de partículas en suspensión. Esta propiedad no solamente varía con la naturaleza de los sólidos en suspensión presentes, sino también por el tamaño de las partículas, encontrándose desde 0.2 micras a 0.5 micras o mayores.

Las aguas residuales urbanas e industriales vertidas en las aguas superficiales, causan turbiedad debido sobre todo a las materias orgánicas no solubles, las cuales después de sedimentar en el fondo de los cuerpos receptores, se descomponen por vía anaerobia e influyen desfavorablemente en la calidad del agua. Por otro lado, se reduce la penetración de la luz en los cuerpos de agua, afectando la fotosíntesis que realizan los microorganismos fitoplanctónicos, al igual que la vegetación.<sup>(6)</sup>

Esta norma establece el procedimiento a seguir para la determinación de la turbiedad en agua residual por el método turbidimétrico de la bujía patrón (bujía de Jackson). La prueba analítica de turbiedad es una medida de obstrucción óptica de la luz que pasa a través de una muestra de agua y se debe a la presencia de materia orgánica e inorgánica. La Unidad de Turbiedad de Jackson (UTJ), es una medida empírica utilizada en aparatos especiales, basada en la medición de la obstrucción óptica de la luz que pasa a través de una muestra de agua contenida en una columna y que es suficiente para obstruir la imagen de la bujía estándar encendida que se observa a través de dicha muestra. Las unidades se reportan como unidades de turbiedad de Jackson.

### **II.2.3 Conductividad eléctrica.**

La conductividad eléctrica, se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrólitos) para conducir la corriente eléctrica. La conducción de la corriente eléctrica en agua, puede explicarse por medio de la disociación electrolítica. Esta teoría establece que cuando se disuelve en agua un ácido, una base o una sal, una porción se disocia en iones positivos y otra en negativos, por ejemplo:



Los iones se mueven independientemente y se dirigen a los electrodos de carga opuesta mediante la aplicación de un campo eléctrico. El agua pura, prácticamente no conduce la corriente, sin embargo el agua con sales disueltas conduce la corriente eléctrica. Los iones cargados positiva y negativamente son los que conducen la corriente, y la cantidad conducida dependerá del número de iones presentes y de su movilidad. En la mayoría de las soluciones acuosas, entre mayor sea la cantidad de sales disueltas, mayor será la conductividad, este efecto continúa hasta que la solución está tan llena de iones que se restringe la libertad de movimiento y la conductividad puede disminuir en lugar de aumentar dándose casos de dos diferentes concentraciones con la misma conductividad.<sup>(6)</sup>

Un aumento en la temperatura, disminuye la viscosidad del agua y permite que los iones se muevan más rápidamente, conduciendo más electricidad. Este efecto de la temperatura es diferente para cada ion, pero típicamente para soluciones acuosas

conductividad.<sup>(6)</sup> Un aumento en la temperatura, disminuye la viscosidad del agua y permite que los iones se muevan más rápidamente, conduciendo más electricidad. Este efecto de la temperatura es diferente para cada ion, pero típicamente para soluciones acuosas diluidas, la conductividad varía de 1 a 4 % por cada ° C. Conociendo estos factores, la medición de la conductividad nos permite tener una idea muy aproximada de la cantidad de sales disueltas.<sup>(3)</sup>

### **Fundamento del método**

#### **NMX-AA-093-1984 Determinación de la conductividad eléctrica.<sup>(97)</sup>**

Método eléctrico en el cual se emplea para la medición un conductímetro. Este método se basa en la propiedad que adquiere el agua de conducir un flujo de corriente eléctrica cuando tiene iones disueltos. La conductancia de una solución es el recíproco de su resistencia y sus unidades son mhos (recíproco de ohms). La conductancia específica K de una solución, es la conductancia de una solución de 1 cm<sup>3</sup> de solución entre electrodos de 1 cm<sup>2</sup> de área que se encuentran separados a 1 cm, a una temperatura específica de 25°C. La conductancia específica tiene unidades de mho/cm las medidas de conductividad se llevan a cabo en una celda de conductividad utilizando un puente de Wheatstone (en realidad se determina la resistencia que se convierte en conductancia en la escala del instrumento).

En la práctica no se mide la conductividad entre electrodos de 1 cm<sup>3</sup> sino con electrodos de diferente tamaño, rectangulares o cilíndricos, por lo que al hacer la medición, en lugar de la conductividad, se mide la conductancia, la cual al ser multiplicada por una constante (k) de cada celda en particular, se transforma en la conductividad.

Conductividad=Conductancia de la muestra\*k

$k=d/A$  Donde:

k=Constante de la celda

d=Distancia de separación de los electrodos

A=Área de los electrodos

Así, un electrodo de 1 cm de separación y con área de 1cm<sup>2</sup>, tendrá k=1

### **II.2.4 Temperatura.**

El concepto de temperatura se refiere a la propiedad termodinámica que determina el equilibrio térmico entre dos o más sistemas. Esta propiedad influye notablemente en las características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua, en resumen:

1. Es un elemento fundamental en el ciclo hidrológico, influyendo principalmente en la evaporación y transpiración.
2. La temperatura de los cuerpos de agua influye directamente en los procesos de autopurificación.
3. La temperatura tanto del agua como del aire y otros factores climáticos, gobiernan la disipación de calor de los cuerpos de agua, lo cual es especialmente importante cuando estos se encuentran sujetos a descargas térmicas.
4. La temperatura del agua es importante para la conservación de la vida acuática.
5. Parámetros físicos y químicos, tales como, densidad, conductividad, pH, así como reacciones químicas y biológicas, rapidez de reacción, solubilidad de gases y sales son influenciados por la temperatura.<sup>(44)</sup>

#### **Fundamento del método**

**NMX-AA-007-1980 Determinación de la temperatura. Método visual con termómetro.<sup>(12)</sup>**

Esta Norma Oficial establece el método de prueba para determinar la temperatura en aguas. La temperatura se mide con un instrumento apropiado, debidamente calibrado y debe efectuarse en el lugar de muestreo. El equipo normal consta de un termómetro de mercurio, con un rango aproximado de 0-100 °C. La escala debe estar subdividida en 0.5 °C o en 1 °C para facilitar la lectura. Las lecturas deben hacerse con el termómetro sumergido en el agua, después de haberla agitado uniformemente, con el objeto de que el sistema este a una temperatura constante. Este dato debe ser representativo de la temperatura de la corriente en el tiempo que se colecta la muestra. Por consiguiente, la temperatura debe tomarse en el punto de muestreo.

### **II.3 ANALISIS QUIMICOS**

En la evaluación de las características químicas del agua residual, se consideran los siguientes parámetros: pH, alcalinidad, dureza, cloruros, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitrógeno, detergentes, grasas y aceites, fenoles y cianuros.

#### **II.3.1 Potencial de Hidrógeno (pH)**

El pH es un término que se usa universalmente para definir en que condiciones de acidez o alcalinidad se encuentra una solución. Su concepto proviene del desarrollo de una serie de teorías que permiten el mejor entendimiento de las soluciones ácidas o básicas. Los ácidos se describen como compuestos que liberan iones hidrógeno al ser disueltos en agua, en la misma forma que las bases liberan iones oxhidrilo, en otras palabras de acuerdo a las definiciones de Bronsted-Lowry, un ácido es un donador de protones y una base es un receptor de protones. En el agua pura existe el siguiente equilibrio de disociación:



Se usa el término de iones  $\text{H}^+$  para mayor claridad, reconociendo que debido al fenómeno de solvatación en realidad existe en su forma hidratada, el ión hidronio  $\text{H}_3\text{O}^+$ , pero se piensa que la estructura real del ion hidrógeno en solución es  $\text{H}_9\text{O}_4^+$ , no obstante para mayor facilidad, el ion hidrógeno se representa mediante  $\text{H}^+$ , lo cual no afecta el estudio de los conceptos de equilibrio de ácidos y bases. Un litro de agua a 25 °C tiene una masa de 997g, por lo tanto su concentración molar es de 55.4 mol/litro, por ello se considera constante y la expresión de equilibrio es:

$$[\text{H}^+][\text{OH}^-] = [\text{H}_2\text{O}]K = K'K = K_w$$

Se le asigna el símbolo  $K_w$  a la constante de autoprotólisis del agua y se suele denominar constante de disociación o producto iónico del agua, y su valor es  $1.0 \times 10^{-14}$  a 25 °C.

En el agua pura, todos los iones  $H^+$  y  $OH^-$  proceden de haberse disociado moléculas de agua. Se ha determinado que en un litro de agua pura hay 0.000 000 1 gramos de iones hidrógeno al igual que de iones oxhidrilo. El producto de estas dos concentraciones origina una constante, por lo tanto, si la de los iones hidrógeno aumenta la de los iones oxhidrilo tendrá que disminuir. Como sabemos:

$$[H^+][OH^-] = 10^{-14} \text{ mol/l}$$

por lo tanto:

$$[H^+] = [OH^-] = 1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/l} \quad (\text{a } 25^\circ \text{C})$$

La concentración de los iones hidrógeno se expresa numéricamente en términos de moles por litro, pero para fines prácticos es mejor en términos de logaritmo, definiendo el **pH como el logaritmo negativo de la concentración del ión hidrógeno en una solución acuosa o el logaritmo del recíproco de la concentración de los iones hidrógeno.**

$$pH = -\log [H^+] = \log 1/[H^+]$$

En forma similar:

$$pOH = -\log [OH^-] = \log 1/[OH^-]$$

por consiguiente

$$pH + pOH = 14 \text{ a } 25^\circ \text{C}$$

La escala de pH es usualmente representada desde 0 hasta 14, con  $pH=7$ , representando la neutralidad. Cuando aumentan las condiciones ácidas, aumenta la concentración de iones hidrógeno y el pH disminuye, cuando aumentan las condiciones alcalinas el pH aumenta.

La determinación de la concentración de iones hidrógeno, a través del conocimiento del pH, es una práctica muy valiosa en el campo del control ambiental. Por ejemplo: en un sistema de abastecimiento de agua, el pH influye en los procesos de coagulación química, desinfección, ablandamiento y control de la corrosión; en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales, debe ser mantenido dentro de un cierto ámbito que sea favorable a los organismos comprendidos en el sistema; la alteración del pH en un ecosistema puede causar la muerte y esterilizar una corriente acuosa natural; las aguas de pH bajo, pueden aumentar la corrosión de las estructuras de



acero o concreto; los procesos químicos para secar lodos o para oxidar ciertas sustancias como el ión cianuro, requieren un control estrecho del pH.<sup>(4,35,47)</sup>

### **Fundamento del método**

#### **NMX-AA-008-1980 Determinación de pH. Método potenciométrico.<sup>(13)</sup>**

El método se basa en la determinación de la actividad de los iones  $H^+$  medidos en un potenciómetro usando un electrodo de medición (electrodo de vidrio) y otro de referencia (electrodo de calomel). La fuerza electromotriz producida por el sistema de electrodos es proporcional al pH de la solución problema.

El electrodo de referencia asume un potencial constante, en tanto que el de medición, 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. Para los fines del presente trabajo se utilizó un electrodo combinado, es decir contiene en su construcción un electrodo de vidrio y a uno de referencia.

### **II.3.2 Alcalinidad**

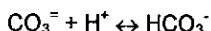
La alcalinidad del agua es una medida de su capacidad para neutralizar ácidos, es decir la capacidad cuantitativa para reaccionar con los iones hidrógeno, se debe principalmente a sales de ácidos débiles, contribuyendo también las bases débiles y fuertes. Aunque son muchos los materiales que pueden contribuir a la alcalinidad en aguas naturales o tratadas, se debe principalmente a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos presentes. La alcalinidad se reporta como carbonato de calcio, en miligramos por litro.<sup>(7)</sup>

## Fundamento del método

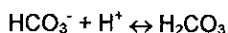
### **NMX-AA-036-1980 Determinación de acidez total y alcalinidad total. Método potenciométrico y volumétrico.<sup>(19)</sup>**

La alcalinidad se determina por titulación con una solución valorada de un ácido mineral fuerte, a los puntos sucesivos de equivalencia del bicarbonato y el ácido carbónico, bien sea potenciométricamente o por medio de indicadores.

Para muestras que tienen un pH inicial arriba de 8.3, la titulación se lleva a cabo en dos pasos, en el primero se usa la fenolftaleína, la cual vira de color rosa a incoloro. Este valor corresponde al punto de equivalencia para la conversión del ion carbonato al ion bicarbonato.



El segundo paso de la titulación se lleva a cabo añadiendo anaranjado de metilo que vira de naranja a canela rosado, o algún otro indicador que funcione a un pH aproximado de 4.5, que corresponde al punto de equivalencia para la conversión del ion bicarbonato a ácido carbónico.



Cuando el pH de la muestra sea menor de 8.3, se efectúa una simple titulación, usando anaranjado de metilo como indicador.

### **II.3.3 Dureza**

La dureza es una característica química del agua que esta determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y ocasionalmente nitratos de cationes metálicos divalentes como el calcio y magnesio. El calcio es el 5º elemento en orden de abundancia en la corteza terrestre, su presencia en las aguas naturales se debe al su paso sobre depósitos de piedra caliza, yeso y dolomita. Se consideran duras aquellas aguas que requieren cantidades considerables de jabón para producir espuma debido a que se originan sales insolubles provocando incrustaciones en las tuberías de

agua caliente, calderas, evaporadores, intercambiadores de calor y otras unidades en las cuales se incrementa la temperatura del agua.<sup>(35,37)</sup>

La dureza total se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, ambos expresados como carbonato de cálcico, en miligramos por litro, siendo su interpretación la siguiente:

0-75 mg/l CaCO <sub>3</sub>	agua suave
75-150 mg/l CaCO <sub>3</sub>	agua poco dura
150-300 mg/l CaCO <sub>3</sub>	agua dura
> 300 mg/l CaCO <sub>3</sub>	agua muy dura

### **Fundamento del método**

#### **NMX-AA-072-1981 Determinación de dureza. Método volumétrico con EDTA.<sup>(24)</sup>**

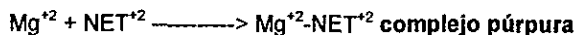
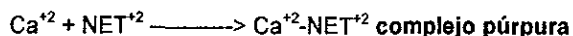
El método empleado para la cuantificación de la dureza es un método volumétrico por titulación con EDTA, utilizando los indicadores adecuados en cada caso. Se emplea una solución valorada de ácido etilendiaminotetracético (EDTA) la cual forma un complejo de quelato soluble al añadirse a las soluciones de algunos cationes metálicos. Si a una solución acuosa que contenga iones calcio y magnesio a un pH de 10 se añade una pequeña cantidad de colorante, como negro de eriocromo T, se combina con iones Ca<sup>+2</sup> y Mg<sup>+2</sup> para formar un complejo débil de color rojo vino. Si se añade EDTA como reactivo de titulación, los iones calcio y magnesio que estén libres formarán un complejo y finalmente el EDTA en exceso deshace el color rojo vino por que puede formar otro complejo más estable con los iones, esto libera al colorante que toma su color normal, azul.

En el análisis de dureza de calcio la muestra es tratada con NaOH para obtener un pH de entre 12 y 13, lo que produce la precipitación del magnesio en forma de Mg(OH)<sub>2</sub>. Enseguida se agrega el indicador murexida que forma un complejo de color rosa con el ion calcio y se procede a titular con solución de EDTA hasta la aparición de un color púrpura, debido a la liberación del indicador murexida. Las reacciones que se llevan a cabo son las siguientes:

## DUREZA TOTAL



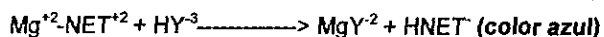
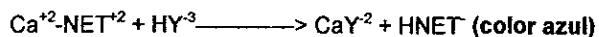
Reacción de calcio y magnesio con el indicador NET



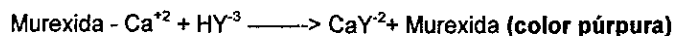
Reacción de calcio y magnesio con EDTA



Reacción del EDTA con el calcio y magnesio del complejo formado con el  
indicador NET



## DUREZA DE CALCIO



### II.3.4 Cloruros

El cloro como ion cloruro, es uno de los principales aniones en las aguas naturales y residuales. El aumento de los cloruros se lleva a cabo de diferentes modos debido a que el agua tiene un gran poder solvente, disolviendo el cloruro de los suelos y de las formaciones subterráneas. La excreta humana, particularmente la orina, contiene cloruros en cantidad aproximadamente igual a la consumida en la alimentación, en promedio 6 g por persona al día, incrementando su presencia en las aguas residuales. Cuando los cloruros están en forma de cloruro de sodio el sabor salado es detectable a una concentración de 250 mg/l de NaCl, si se encuentran como una sal de calcio o magnesio, el sabor salado típico de los cloruros puede estar ausente aún a concentraciones de 1000

mg/l. Altas concentraciones de cloruros aceleran la corrosión en los reactores y calentadores, además de que interfieren en diversos procesos industriales.<sup>(41,44)</sup>

### Fundamento del método

#### NMX-AA-073-1981 Determinación de cloruros. Método argentométrico.<sup>(26)</sup>

Se titula la muestra con nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) valorada, a un pH neutro o ligeramente alcalino, usando como indicador cromato de potasio ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ). El cloruro de plata  $\text{AgCl}$ , precipita cuantitativamente primero, al terminarse los cloruros, el  $\text{AgNO}_3$  reacciona con el  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  formando un precipitado rojo ladrillo de  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ . Las reacciones que se involucran son:



El pH óptimo para llevar a cabo el análisis de cloruros es de 7.0 a 8.3 , ya que cuando tenemos valores de pH mayores a 8.3, el ión  $\text{Ag}^+$  precipita en forma de  $\text{Ag}(\text{OH})$ ; cuando la muestra tiene un pH menor que 7.0, el cromato de potasio se oxida a dicromato, afectando el viraje del indicador.

### II.3.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno

La prueba analítica de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una estimación de la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica de una muestra de aguas residuales por medio de una población microbiana heterogénea. Esta prueba es un procedimiento de bioensayos que consiste en medir el oxígeno consumido por los organismos vivos (principalmente bacterias) al utilizar como alimento la materia orgánica presente en un desecho, en condiciones muy similares a las naturales. La degradación es llevada hasta la oxidación completa, es decir, dióxido de carbono, agua y amoniaco. Los efectos de la temperatura se controlan manteniendo la prueba a 20 °C,

por que se ha calculado como valor promedio de los cuerpos de aguas naturales. Teóricamente, se requiere un tiempo infinito para una oxidación biológica completa de la materia orgánica, pero para fines prácticos, la reacción se puede considerar completa a los 20 días, sin embargo es un período grande para esperar resultados. Se ha encontrado por experiencia, que un porcentaje razonablemente grande de la DBO total se logra en 5 días, aproximadamente el 70-80% en aguas residuales domésticas y muchas industriales, por consiguiente un periodo de 5 días es aceptado como patrón.<sup>(6)</sup>

En el tratamiento de las aguas residuales es importante determinar la DBO, ya que se utiliza para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá *proporcionar al proceso de tratamiento seleccionado para estabilizar biológicamente* a la materia orgánica presente. La DBO se utiliza para dimensionar las instalaciones de tratamiento y medir el rendimiento de alguno de estos procesos, además de calcular la velocidad a la que se requiere proporcionar el oxígeno.<sup>(8)</sup>

### Fundamento del método

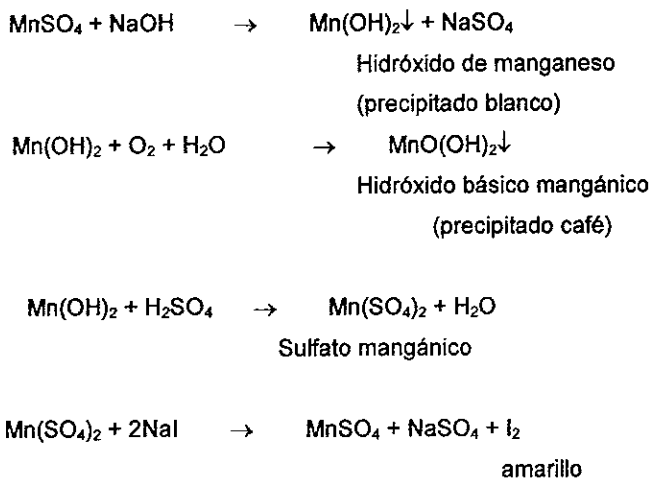
**NMX-AA-028 Determinación de demanda bioquímica de oxígeno (DBO).  
Método de incubación por diluciones.<sup>(16)</sup>**

El método se basa en el concepto de que la cinética de la reacción es de primer orden, por que su velocidad es proporcional a la cantidad de materia orgánica oxidable remanente, y es modificada por la población de organismos activos. En forma experimental, la DBO se mide cuantificando el oxígeno consumido por los microorganismos en una muestra de agua residual contenida en una botella sin paso de aire del exterior al interior, la cual se incuba en la oscuridad a 20 °C por un período de 5 días.

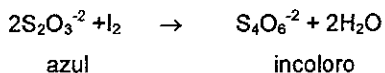
El oxígeno disuelto es determinado por el método de Winkler, se basa en reacciones de oxido-reducción, en la adición de una solución divalente de manganeso, seguida de una fuerte alcalinización. El oxígeno presente en la muestra oxida rápidamente una cantidad equivalente de hidróxido de manganeso dispersado, pasando a hidróxidos en estados de valencia mayores, formando un precipitado café. En presencia de iones yoduro y seguido de una acidificación, el manganeso oxidado revierte el estado

divalente con la liberación del yodo, en una cantidad equivalente al contenido original de oxígeno disuelto en la muestra. El yodo se titula con una solución valorada de tiosulfato de sodio, usando almidón como indicador. La azida de sodio elimina las interferencias provocadas por los nitritos y se recomienda cuando estos se encuentran a concentraciones mayores de 50 mg/l.

Para fijar oxígeno se adiciona sulfato manganoso ( $MnSO_4$ ), a continuación se agrega el reactivo álcali-yoduro, que consiste en una solución de hidróxido de sodio ( $NaOH$ ) y yoduro de sodio ( $NaI$ ). Al hacer esto se forma un precipitado café si hay oxígeno disuelto, en el caso contrario el precipitado será blanco. Las reacciones que se llevan a cabo son:



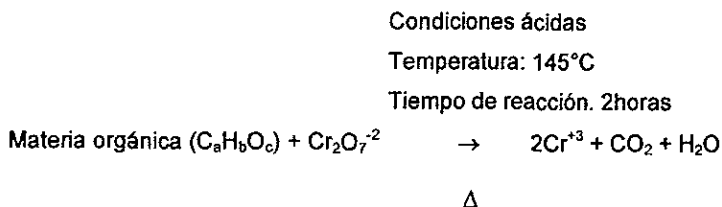
La titulación se efectúa con tiosulfato de sodio ( $Na_2S_2O_3$ ), usando una solución de almidón como indicador:



Al determinar el oxígeno disuelto al inicio y al final de la prueba, la DBO será igual a la cantidad de OD inicial menos el OD al quinto día, dividido entre el % de dilución (si esta fue necesaria).

### II.3.6 Demanda Química de Oxígeno.

El método de la demanda química de oxígeno determina la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica de un desecho, bajo condiciones específicas de un agente oxidante, condiciones ácidas y temperatura, transformándola en dióxido de carbono y agua. La reacción principal utilizando dicromato como agente oxidante puede representarse de un modo general por la siguiente ecuación esquemática:



La DQO se utiliza para medir la materia orgánica en aguas residuales industriales y municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica. La DQO del agua residual es por lo general mayor que la DBO, por que es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química que biológica. En muchos tipos de aguas residuales es posible correlacionar la DBO con la DQO, esto resulta muy útil por que la DQO puede determinarse en tres horas comparado con los 5 días para la DBO. Una vez que la correlación ha sido establecida pueden utilizarse las medidas de DQO para el control de una planta de tratamiento.

Dentro de las ventajas de la DQO, se encuentran el costo del equipo, el corto tiempo para la obtención de resultados y condiciones de oxidación más efectivas al abarcar un mayor espectro de compuestos químicos.<sup>(4,8)</sup>

#### Fundamento del método

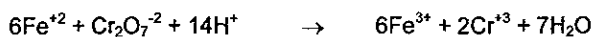
**NMX-AA-030-1981 Demanda química de oxígeno. Método de reflujo de dicromato.**<sup>(17)</sup>

El método se basa en que la materia orgánica es destruida por una mezcla de ácido crómico  $\text{CrO}_3$  y sulfúrico  $\text{H}_2\text{SO}_4$  en ebullición. La muestra se somete a reflujo con

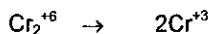


ácido sulfúrico y dicromato de potasio  $K_2Cr_2O_7$  valorado. Durante el periodo de reflujo la materia oxidable reduce una cantidad equivalente de dicromato, el remanente es valorado con una solución de sulfato ferroso amoniacal  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$  de concentración conocida. La cantidad de dicromato reducido (cantidad inicial menos el restante después de la oxidación) es una medida de materia orgánica oxidada.

El ión ferroso  $Fe^{+2}$  es un agente reductor excelente para el dicromato de potasio. El sulfato ferroso amoniacal se obtiene en forma pura y estable. El punto final de la reacción es detectado con un indicador de reacciones oxido-reducción que es el ferroín. En la oxidación, el cromo hexavalente  $Cr^{6+}$  presenta un color naranja, lo que indica el exceso de dicromato, y una vez reducido a cromo trivalente  $Cr^{3+}$  su color es verde. La reacción entre el sulfato ferroso amoniacal y el dicromato, se representan por las siguientes ecuaciones:



ferroín

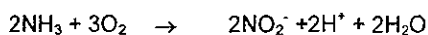


Naranja            verde

### **II.3.7 Nitrógeno**

Los diferentes tipos de nitrógeno son de gran interés, debido a la importancia que tienen en los procesos de la vida de plantas y animales. El nitrógeno tiene varios cambios de valencia (inducido por bacterias) positivas o negativas dependiendo de las condiciones previas, aerobias o anaerobias que existan. Los desechos humanos y animales transportados por las aguas residuales contienen nitrógeno en forma orgánica. En condiciones aerobias, las bacterias autótrofas nitrificantes (nitrosomona) convierten al amoníaco a nitritos, aprovechando la energía generada en tal oxidación y los nitritos a su vez, son oxidados a nitratos por el grupo nitrobacter:

nitrosomonas



nitrobacterium



En condiciones anaeróbicas, los nitratos y nitritos se reducen mediante un proceso llamado desnitrificación. Posiblemente los nitratos se reducen a nitritos y a continuación se efectúa la reducción de los nitritos a amoníaco; la mayoría de ellas, lo reducen a nitrógeno gaseoso el cual escapa a la atmósfera.

A medida que pasa el tiempo el nitrógeno orgánico se convierte en nitrógeno amoniacal y posteriormente, si se encuentra en condiciones anaerobias se oxida a nitritos y nitratos. Por ejemplo, las aguas que contienen principalmente materia orgánica y amoníaco se considera que fueron recientemente contaminadas y por tanto de peligro potencial. Las aguas en las que el nitrógeno se encuentra en forma de nitratos se considera que fueron contaminadas mucho tiempo antes y por tanto son menos dañinas a la salud pública.

El nitrógeno es considerado uno de los nutrientes inorgánicos esenciales más importantes, ya que al aumentar su concentración en los cuerpos de agua se provoca la eutroficación del mismo.<sup>(4,36)</sup>

#### **Fundamento del método**

**NMX-AA-026-1980 Determinación de nitrógeno total. Método Kjendahl.**

**NMX-AA-079-1986 Determinación de nitratos. Método espectrofotométrico.**<sup>(15)</sup>

En el presente trabajo se determinaron los siguientes tipos de nitrógeno: N-amoniacal, N-orgánico, N-de nitratos.

**Nitrógeno amoniacal.** Todo el nitrógeno existente como ión amonio o en equilibrio se considera como N-amoniacal. Es posible medir la cantidad de nitrógeno amoniacal presente, tratando la muestra con el reactivo de Nessler, que es una solución fuertemente alcalina de ioduro de potasio y mercurio ( $K_2HgI_4$ ).

**Nitrógeno orgánico (método Kjeldahl).** El nitrógeno orgánico incluye el nitrógeno de los aminoácidos, aminas, amidas, imidas y nitroderivados. En las aguas residuales domésticas está en forma de proteínas o de sus productos de degradación: polipéptidos y aminoácidos.

La mayoría de los compuestos orgánicos que contienen nitrógeno producen amoníaco al ser oxidados. El método Kjeldahl emplea ácido sulfúrico como agente oxidante, y el amoníaco liberado se cuantifica por los métodos de titulación o colorimetría. Durante la digestión de la muestra con ácido sulfúrico, se añaden sulfatos de mercurio y potasio para aumentar la temperatura de ebullición de la mezcla y asegurar así que todo el nitrógeno orgánico sea liberado en forma de amoníaco.

**Nitrógeno de nitratos.** El nitrógeno de nitratos se encuentra en pequeñas cantidades de aguas residuales domésticas recientes. Los nitratos reaccionan con el ácido fenildisulfónico para producir un nitroderivado, que en solución alcalina se reestructura para formar un compuesto amarillo (sal de diazonio), midiendo su absorbancia a una longitud de onda de 480 nm, para determinar su concentración.

El nitrógeno en estado de oxidación (-III), comúnmente se conoce como nitrógeno Kjeldahl e incluye tanto el nitrógeno orgánico como el amoníaco.

En el procedimiento Kjeldahl (nitrógeno total), se lleva a cabo una digestión con ácido sulfúrico de los compuestos orgánicos que contienen nitrógeno en presencia de sulfato de potasio y un catalizador de sulfato mercúrico. En esta digestión se oxida la materia orgánica a  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , desprendiéndose amoníaco que en el medio del digestor, fuertemente ácido, se inmoviliza como la sal no volátil, sulfato de amonio. La solución digerida se alcaliniza y el nitrógeno en forma de  $\text{NH}_3$  se destila capturándose en una solución de ácido bórico. La cantidad de amoníaco en el destilado se determina por análisis colorimétrico o por titulación del borato de amonio con ácido fuerte. El catalizador de sulfato mercúrico aumenta considerablemente la eficiencia de la digestión, sin embargo se forma un complejo de mercurio-amonio que debe descomponerse agregando tiosulfato de sodio junto con hidróxido de sodio.

Para determinar el nitrógeno Kjeldahl total se lleva a cabo en la muestra una digestión Kjeldahl seguida de una destilación. El nitrógeno del amoníaco se determina directamente por destilación de la muestra antes de la digestión. El nitrógeno orgánico puede determinarse directamente por destilación del amoníaco seguida por digestión y destilación del residuo, o indirectamente por la diferencia entre el nitrógeno Kjeldahl y el nitrógeno del amoníaco.

### **II.3.8 Detergentes (Sustancias activas al azul de metileno)**

Los detergentes son sustancias que tienen la propiedad de reducir la tensión superficial del líquido en el cual se encuentran disueltos, de modo que este adquiere mayor poder de penetración a través de los poros de ciertos materiales, a la vez que se extiende más fácilmente en la superficie de los cuerpos en los que se aplica.

Los detergentes contienen una sustancia activa llamada surfactante y aditivos que sirven para aumentar las propiedades de los detergentes.

Un surfactante combina en una sola molécula un grupo muy hidrófobo con un grupo muy hidrófilo. Dichas moléculas tienden a congregarse en la interfase entre el medio acuoso y las otras fases del sistema como aire, líquidos oleosos y partículas, impartiendo por tanto propiedades tales como la formación de espuma, emulsificación y suspensión de partículas. Los surfactantes se clasifican de acuerdo a su disociación, la cual depende de la naturaleza del grupo polar y pueden ser de tres tipos: aniónicos, catiónicos y no-iónicos.

**Surfactantes aniónicos:** son sales de sodio que al ionizarse producen  $\text{Na}^+$  y un anión, que es el surfactante activo.

**Surfactante catiónico:** los surfactantes catiónicos típicos, son compuestos cuaternarios de amonio que presentan actividad antimicrobial. Se usan como agentes sanitarios, debido a sus propiedades desinfectantes.

**Surfactantes no iónicos:** son el resultado de la polimerización de moléculas de óxido de etileno. Este producto puede reaccionar con alcoholes, alquil fenoles, grasas y ácidos grasos, emulsionándolos en el agua. Una característica de estos compuestos es que presentan poca tendencia a formar espuma cuando se combinan con otros materiales.

Las dificultades causadas en aguas de desecho debido a estos compuestos son la espuma y eutroficación. En las plantas de tratamiento provoca problemas de operación, cubre equipos de control y 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 disuelto en el agua.<sup>(6,47)</sup>

## **Fundamento del método**

**NMX-AA-039-1980 Determinación de sustancias activas al azul de metileno (detergentes). Método colorimétrico del azul de metileno.<sup>(21)</sup>**

Este método depende de la formación de una sal colorida azul cuando reacciona el azul de metileno con los surfactantes. La sal es soluble en cloroformo y la intensidad del color es proporcional a su concentración. La intensidad se mide en un espectrofotómetro, a una longitud de onda de 625 nm.

### ***II.3.9 Grasas y aceites.***

El término grasas y aceites se aplica a una amplia variedad de sustancias orgánicas con características especiales que se refieren a su baja solubilidad en agua y a su tendencia a formar películas muy finas en la superficie de la misma.

Para fines de control ambiental se les conoce como aquellas sustancias que son extraíbles de una solución o suspensión acuosa, mediante un solvente orgánico, quedando comprendidos principalmente, los hidrocarburos, ésteres, aceites, ceras y ácidos orgánicos de elevado peso molecular. Se ha seleccionado al hexano como solvente orgánico en esta determinación debido a que disuelve todas las sustancias asociadas con el término "grasas y aceites".

Particularmente se clasifica como grasa a aquellos aceites, ceras, grasas y ácidos grasos de alto peso molecular que en condiciones naturales y a temperatura ambiente están en estado sólido.

El término "aceite" representa una amplia variedad de hidrocarburos de bajo a elevado peso molecular de origen mineral, abarca desde gasolina hasta combustibles y aceites lubricantes. Además incluye todos los glicéridos de origen animal y vegetal que son líquidos a la temperatura ordinaria. Los aceites y grasas pueden estar presentes en el agua como una emulsión de residuos industriales o fuentes similares.

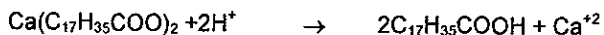
Son diversos los problemas ocasionados por las grasas y los aceites, todos estos originados por su baja solubilidad en agua y su tendencia a formar películas muy finas en la superficie, misma que interfiere la transferencia de oxígeno atmosférico, lo que es indispensable tanto para la autopurificación de los cuerpos naturales de agua, como en los sistemas de tratamiento biológico.<sup>(4,7)</sup>

### **Fundamento del método**

#### **NMX-AA-005-1980 Determinación de grasas y aceites. Método de extracción Soxhlet.<sup>(11)</sup>**

En la determinación de grasa, no se determina cuantitativamente una sustancia específica, sino grupos de sustancias con características físicas similares, principalmente su solubilidad en el solvente usado.

El hexano a sido seleccionado para las determinaciones de grasa debido a que es un buen solvente para todos los materiales normalmente asociados con el término "grasa" y tiene un poder de disolución para otros compuestos orgánicos. En este método las muestras se acidulan con ácido clorhídrico a un pH aproximado de 1.0 para liberar los ácidos grasos que se presentan principalmente en forma de jabones de calcio y de magnesio, los cuales son insolubles en hexano. La reacción comprendida puede estar representada por la reacción:



La grasa se separa de la muestra líquida por filtración y se extrae en un aparato soxhlet. El residuo remanente después de la evaporación del hexano se pesa para determinar el contenido de grasa de la muestra.

#### **II.3.10 Fenoles.**

El fenol es un derivado monohidroxilado del benceno, es ampliamente usado como desinfectante y en la síntesis de productos orgánicos. El término "fenoles" incluye una mezcla de derivados del fenol como: fenoles orto, meta y parasustituídos por halógenos o

por un grupo alquílico, aldehído, arílico, nitro, fenilo, nitroso y del ácido sulfónico. El porcentaje de composición de los diversos compuestos fenólicos presentes en una muestra dada es impredecible, por esta razón, el fenol ha sido seleccionado como un patrón de los compuestos fenólicos.

Los fenoles son indeseables en abastecimientos de agua para las industrias alimentarias y bebidas, debido a los problemas de olor y sabor resultantes. También es importante el control de la cantidad de fenoles en los cuerpos de agua por su acción tóxica sobre los peces y otros organismos acuáticos.<sup>(6,41)</sup>

### **Fundamento del método**

**NMX-AA-050-1982 Determinación de fenoles en agua. Método espectrofotométrico , biperina de la 4-amino-antipirina.<sup>(22)</sup>**

Los fenoles purificados de las impurezas no volátiles mediante una destilación, reaccionan con 4 aminoantipirina a un pH de 10, en presencia de ferricianuro de potasio para formar un colorante de antipirina. Esta anilina es extraída de la solución acuosa con cloroformo y la absorbancia se mide a 460 nm. La oxidación química, bioquímica y la degradación biológica de los fenoles es inhibida por la adición de sulfato de cobre pentahidratado.

### ***II.3.11 Cianuros.***

En el examen de desechos industriales y de otras aguas, el término "Cianuro" se aplica a todos los grupos CN<sup>-</sup> de los compuestos de cianuro existentes que se pueden determinar como ión cianuro CN<sup>-</sup>. Los compuestos de los que el cianuro se puede obtener como CN<sup>-</sup> se clasifican como cianuros simples y complejos.

Los cianuros simples se presentan por la fórmula A(CN)<sub>x</sub>, en el cual "A" es un álcali (sodio, potasio, amonio) o un metal, y "X", la valencia de "A", es el número de grupos CN. En los compuestos solubles, en particular en los cianuros alcalinos simples, el grupo CN está presente como CN<sup>-</sup>.

Los cianuros presentan diversos grados de actividad química, los cianuros simples se cambian fácilmente a HCN cuando se destilan con ácido. Y muchos de los cianuros metálicos, reaccionan con la misma facilidad. Como los cianuros alcalinos simples forman  $\text{CN}^-$  cuando se disocian en soluciones acuosas, presentan como consecuencia una alta toxicidad.<sup>(3,4)</sup>

### **Fundamento del método**

**NMX-AA-058-1982 Determinación de cianuros. Método colorimétrico y titulométrico.**<sup>(23)</sup>

El método se basa en la destilación de la muestra en presencia de ácido sulfúrico, para convertir fácilmente los cianuros en HCN. La conversión se acelera por la presencia de sales de magnesio y mercurio; estas sales son muy efectivas en la reducción de ferrocianuros y ferricianuros a los cianuros más simples de magnesio y mercurio.

La destilación de la muestra, además de eliminar interferencias, dá lugar a la conversión de los cianuros a la forma más simple de cianuro de sodio, que se puede cuantificar fácilmente por titulación o por colorimetría. En el destilado alcalino del procedimiento preliminar de separación, el  $\text{CN}^-$  se convierte a cloruro de cianógeno,  $\text{CNCl}$ , por reacción con la cloramina T a un pH inferior a 8. Después de que se completa la reacción, el  $\text{CNCl}$ , forman color azul por la adición del reactivo de piridina-pirazolona, leyendóse la absorbancia a 620 nm.



## **II.4 ANÁLISIS ELEMENTAL**

En concentraciones bajas, elementos como el níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre, hierro y mercurio, están presentes en muchas aguas. Algunos son importantes para el desarrollo de la vida biológica y su ausencia en cantidad suficiente podría por ejemplo, limitar el crecimiento de algas.

El grupo de los denominados metales pesados comprende 40 elementos químicos que tienen una densidad mayor de 5. La toxicidad de estos metales tiene efectos y características comunes a todos ellos. La unión de los metales a los materiales biológicos es de gran intensidad, pero no específica ni para el metal ni para las estructuras biológicas; en general, los metales tienen la capacidad de combinarse con una gran variedad de moléculas orgánicas, especialmente con los grupos sulfhidrilo (-SH) de las proteínas. Sin embargo, la reactividad de cada material es diferente y por lo tanto su fuerza de unión con las proteínas también lo es. Los metales al unirse con los grupos sulfhidrilo producen la inhibición de la actividad de numerosas enzimas en el organismo.

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

Entre los mecanismos de toxicidad de los metales se incluyen interacciones con sistemas enzimáticos, interacciones con las membranas celulares, efectos específicos en ciertos organelos y en el metabolismo celular en general.<sup>(31)</sup>

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

Por su toxicidad, ciertos cationes son de gran importancia en el tratamiento y vertido de las aguas residuales. El cobre, plomo, plata, cromo, boro y arsénico, son

tóxicos para los microorganismos en diferentes grados y por lo tanto, deben tenerse en consideración al proyectar una planta de tratamiento biológico.<sup>(6)</sup>

Por ejemplo, en los digestores de lodos, el cobre es tóxico a una concentración de 100 mg/L, el cromo y el níquel a 500 mg/L, y el sodio a elevadas. Los cationes como el potasio y el amoníaco suelen ser tóxicos a concentraciones por encima de los 4000 mg/L. Los iones de calcio precipitan al combinarse con iones de naturaleza alcalina, disminuyendo su concentración en agua.<sup>(7)</sup>

Estos elementos pueden determinarse a concentraciones muy bajas por métodos instrumentales como la polarografía, espectrofotometría de absorción atómica y el análisis por activación neutrónica.<sup>(44)</sup>

Para el análisis elemental se utiliza la técnica de análisis por activación neutrónica mediante el método comparativo entre el estándar y la muestra, al someterlos a las mismas condiciones de irradiación. A continuación se describe (figura II.5) la metodología y materiales para dicho análisis.

### ***Condiciones de irradiación***

Para establecer las condiciones de análisis se realiza un estudio preliminar. Se prepararan soluciones estándar de 20 y 60 ppm de los elementos a analizar, que posteriormente se someten a diferentes tiempos de irradiación y flujo de neutrones y después de un periodo de decaimiento, se identifica la energía de cada fotopico mediante el sistema de detección gamma. Los soluciones estándar se prepararan utilizando patrones con las siguientes características:

- Alta pureza analítica.
- Estables.
- Poseen una sola propiedad activable.
- Fácilmente solubles en agua.
- No son higroscópicos ni efervescentes.

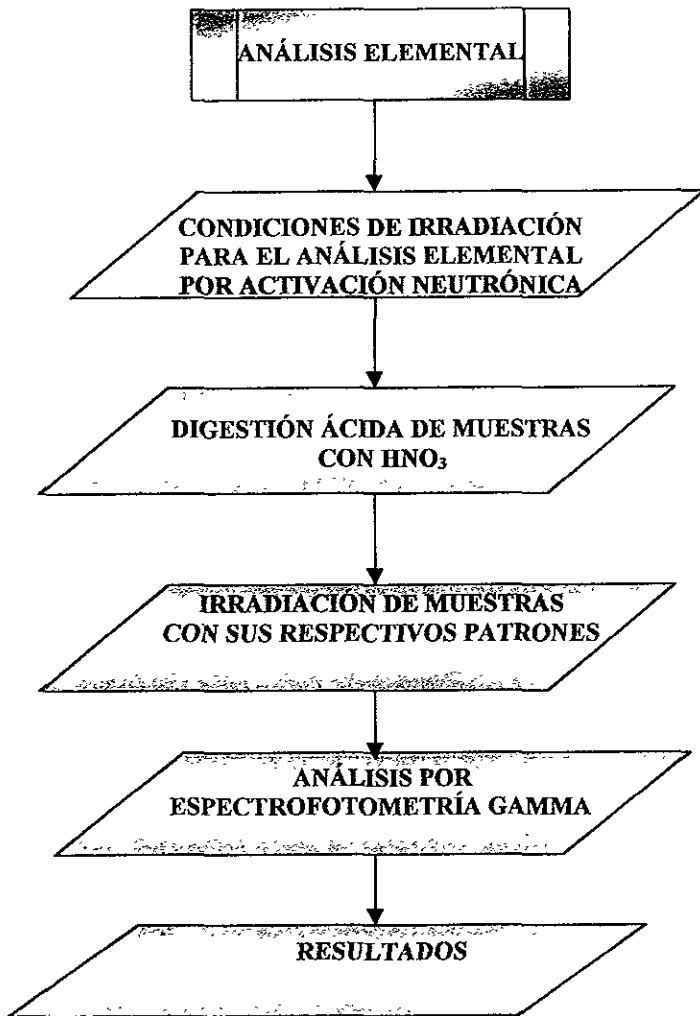


FIGURA II.5 Diagrama de bloques de la metodología del análisis elemental.

Los patrones a utilizar son(\*Tritisol soluciones patrón Merck):

- NaCl (Baker).
- NH<sub>4</sub>Br (Baker).
- Ni\*
- Zn\*
- Cd\*
- Cr\*
- Cu\*
- Sb\*
- Ba\*
- Ag\*
- Fe\*
- Mn\*
- Co\*

***Digestión ácida de las muestras con ácido nítrico.***

Con el fin de que la materia orgánica presente en la muestra no interfiriera en el análisis, se lleva a cabo la digestión ácida de la siguiente forma:

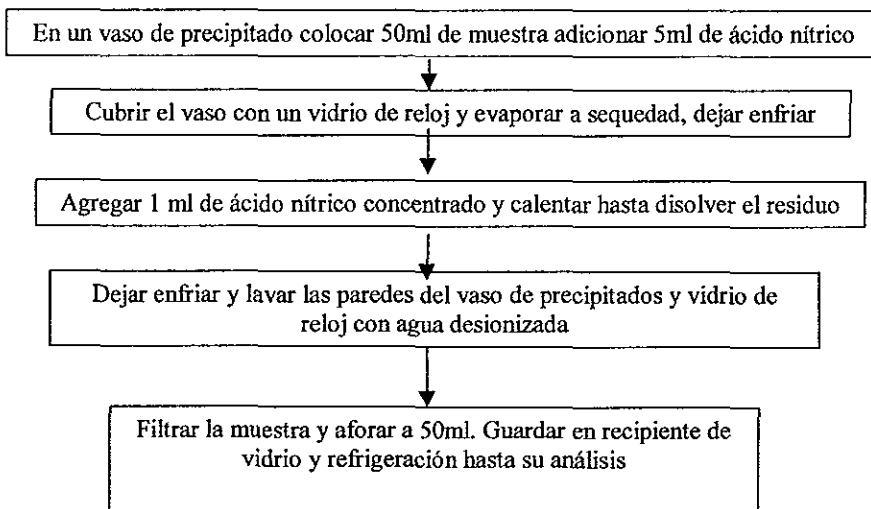
***Material.***

- Vasos de precipitado de 250ml (lavado con HNO<sub>3</sub> y enjuagado con agua desionizada).
- Vidrio de reloj.
- Equipo de filtración millipore con membrana de filtración de 0.45 μm.

***Reactivos.***

- Agua desionizada.
- Ácido nítrico concentrado.

*Procedimiento.*



***Irradiación de muestras y patrones***

***Material.***

- Cristalizadores de vidrio.
- Tijeras.
- Charola.
- Papel absorbente.
- Pinzas de disección.
- Vaso de precipitado de plástico de 500 ml.
- Micropipeta de 1 ml.
- Bolsas de cloruro de polivinilo.
- Mechero.
- Viales de polietileno de alta densidad.
- Cápsulas de polietileno para irradiación.
- Cápsulas de aluminio para irradiación.
- Plomos.
- Pizeta con agua destilada.
- Pizeta con cetona.

*Reactivos.*

- Soluciones estándar de concentración conocida de los elementos a analizar.

*Equipo e instalaciones.*

- Reactor Nuclear TRIGA MARK III del Centro Nuclear de México.

*Procedimiento.*

Preparación de muestras y estándares. El material de empaquetamiento debe reunir las siguientes características:

- Alta resistencia mecánica a la irradiación.
- Resistencia a la temperatura.
- Bajo contenido de elementos activables.
- Fácil manipulación durante el empaquetamiento.
- Los materiales usados para contener y encapsular las muestras son el polietileno para tiempos cortos y moderados (desde segundos hasta 3 horas) y el aluminio para tiempos largos (de 3 a 10 horas).

(a) Tomar 1 ml de cada una de las muestras y de los estándares y se colocar en los viales de polietileno, cerrar herméticamente mediante calentamiento.

(b) Preparar las muestras y estándares, introducir en una bolsa de cloruro de polivinilo, sellar y colocar en la cápsula correspondiente (para evitar contaminación).

Irradiación de muestras y estándares. La muestra y el estándar contenidos en la cápsula, se irradian en el Reactor Nuclear TRIGA MARK III del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, con neutrones térmicos de acuerdo a las condiciones establecidas por el análisis.

***Análisis por espectrometría gamma***

(a) Después de ser irradiadas las muestras y estándares se someten al tiempo de conteo correspondiente, en el detector de germanio hiperpuro acoplado a una computadora con tarjeta multicanal.

(b) La información se obtiene mediante el programa llamado NUCLEUS-PCA II, el cual registra las radiaciones gamma y sus intensidades. Estas radiaciones son clasificadas e integradas automáticamente en grupos de acuerdo a las energías de interés marcadas. El área bajo la curva se imprime en papel y se compara con el área bajo la curva del estándar para obtener las concentraciones correspondientes.

(c) De acuerdo al conteo realizado (área bajo la curva) de la muestra y patrón, se calcula la concentración de la muestra, utilizando el método del comparador o estándar (relación de Boyd).

$$\frac{A_m}{A_c} = \frac{W_m}{W_c}$$

Donde:

$A_m$  = actividad relativa de la muestra.

$A_c$  = actividad relativa del comparador (patrón).

$W_m$  = peso del elemento blanco (muestra).

$W_c$  = peso del comparador (patrón).

El equipo utilizado para medir la radiactividad se conforma de (figura II.6):

- **Detector:** se encarga de convertir la radiación ionizante en impulsos de corriente eléctrica.
- **Preamplificador:** es necesario utilizar un preamplificador entre el detector y los demás procesadores de las señales, debido a que los impulsos producidos por el detector son pequeños.
- **Amplificador:** dan una forma adecuada y una amplitud necesaria al pulso para que pueda operar el discriminador.
- **Discriminador:** su función básica consiste en responder a los pulsos de entrada que rebasan una amplitud crítica.
  - Analizador multicanal.
  - Impresora.
  - Fuente de alto voltaje.

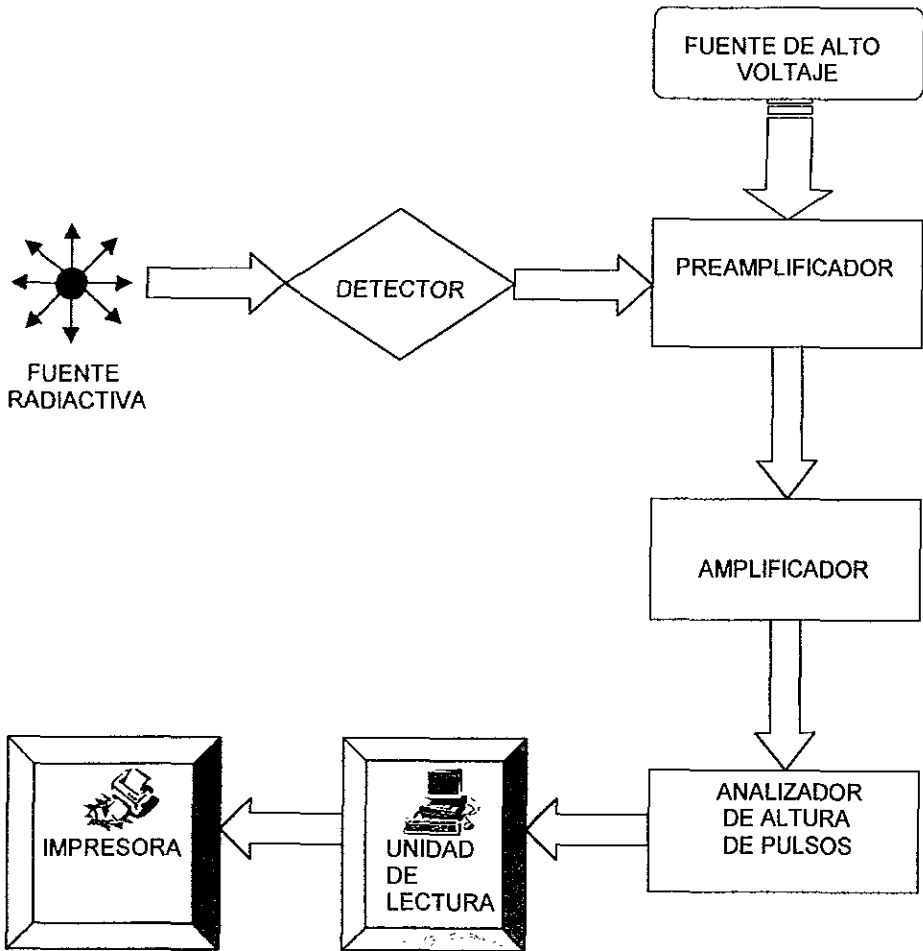


FIGURA II.6 Diagrama de bloques del sistema de detección y medición de la radiación gamma.



### III EJECUCION DEL PLAN

#### MUESTREO

##### Agua potable.

Se realizó un muestreo y para las determinaciones se utilizaron la metodología y materiales que se indican en las Normas Técnicas Mexicanas y los correspondientes al análisis por activación neutrónica.

##### Agua residual

#### CALENDARIO DEL MUESTREO.

El muestreo se realizó durante el periodo 97-1, de acuerdo al calendario descrito en la tabla II.2.

<b>DIA DE MUESTREO</b>	<b>FECHA (1997)</b>
VIERNES	17 DE MARZO
MARTES	11 DE FEBRERO
MIÉRCOLES	19 DE FEBRERO
JUEVES	27 DE FEBRERO
VIERNES	7 DE MARZO

**TABLA II.2** Calendario de muestreo del agua residual del Campus Cuautitlán Campo 1, en época de estiaje (periodo 97-1).

**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO.**

El análisis físicoquímico se realizó con los métodos de prueba descritos en las Normas Técnicas Mexicanas publicadas en el Diario Oficial de la Federación que a continuación se enlistan:

<b>NORMA</b>	<b>PARÁMETRO</b>
NMX-AA-004-1977	Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales. Método del cono Imhoff.
NMX-AA-005-1980	Determinación de grasas y aceites. Método de extracción Soxhlet.
NMX-AA-007-1980	Determinación de la temperatura. Método visual con termómetro.
NMX-AA-008-1980	Determinación de pH. Método potenciométrico.
NMX-AA-026-1980	Determinación de nitrógeno total. Método Kjendahl.
NMX-AA-028-1981	Determinación de demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Método de incubación por diluciones.
NMX-AA-030-1981	Demanda química de oxígeno. Método de reflujo de dicromato.
NMX-AA-034-1981	Determinación de sólidos en agua. Método gravimétrico.
NMX-AA-036-1980	Determinación de acidez total y alcalinidad total. Método potenciométrico y volumétrico.
NMX-AA-038-1981	Determinación de turbiedad en agua. Método turbidimétrico de la bujía patrón.
NMX-AA-039-1980	Determinación de sustancias activas al azul de metileno (detergentes). Método colorimétrico del azul de metileno.
NMX-AA-050-1982	Determinación de fenoles en agua. Método espectrofotométrico, biperina de la 4-amino-antipirina.
NMX-AA-058-1982	Determinación de cianuros. Método colorimétrico y titulométrico.
NMX-AA-072-1981	Determinación de dureza. Método volumétrico con EDTA.
NMX-AA-073-1981	Determinación de cloruros. Método argentométrico.
NMX-AA-079-1986	Determinación de nitratos. Método espectrofotométrico.
NMX-AA-093-1984	Determinación de la conductividad eléctrica.

**ANALISIS ELEMENTAL POR ACTIVACION NEUTRONICA**

Las condiciones de irradiación que se utilizaron en el análisis elemental del agua residual se enlistan en la tabla II.3.

SISTEMAS DE IRRADIACIÓN	TIEMPO DE IRRADIACIÓN	ELEMENTO	RADIONÚCLIDO	ENERGÍA keV
SIFCA  <i>0.99 X 10<sup>13</sup> Neutrones Térmicos/cm<sup>2</sup>/s</i>	0.5 horas	Ni	<sup>65</sup> Ni	366, 1482
	1 hora	Zn	<sup>65</sup> Zn - <sup>69m</sup> Zn	1115, 439
		Cr	<sup>51</sup> Cr	320
		Cu	<sup>54</sup> Cu	1346
		Sb	<sup>122</sup> Sb	564, 693
		Ba	<sup>135m</sup> Ba	268
	5 horas	Ag	<sup>110</sup> Ag	682, 771, 892
10 horas	Fe	<sup>59</sup> Fe	1099, 1292	
TUBO SECO  <i>1.32 X 10<sup>13</sup> Neutrones Térmicos/cm<sup>2</sup>/s</i>	1 minuto	Na	<sup>24</sup> Na	1368
		Br	<sup>80,82</sup> Br	1642
		Cl	<sup>38</sup> Cl	617, 554, 619
		Mn	<sup>56</sup> Mn	847, 1811
	10 minutos	Cd	<sup>115</sup> Cd	528, 492
		Co	<sup>60</sup> Co	1173, 1333

**TABLA II.3 Condiciones de irradiación utilizadas para el análisis elemental.**

## IV EVALUACIÓN

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos del muestreo, análisis elemental y fisicoquímico del agua potable y residual.

Para el agua residual se aplica un análisis estadístico a los valores de los parámetros medidos, con el fin de evaluar su calidad y variación durante el periodo de muestreo.

### **AGUA POTABLE.**

La tabla IV.1 muestra los valores encontrados del análisis fisicoquímico y elemental en el agua potable que alimenta al Campus Cuautitlán Campo1, los cuales se comparan con los indicados en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, y con los recomendados por la Organización Mundial de la Salud, y de aquí se comprueba que el agua de abastecimiento cumple con los criterios de calidad para agua potable.

De esta comparación se observa que el contenido de impurezas es bajo, ya que la cantidad de sólidos totales es menor al 50% del límite indicado por la OMS, además el valor de turbidez es de sólo 2 unidades. Su baja conductividad se relaciona con la presencia de sales disueltas, y en este caso con cloruro de sodio principalmente, ya que el sodio y el cloro son los iones que se encuentran en mayor proporción con respecto a los demás que existen en concentraciones traza, excepto por el manganeso que presenta una concentración ligeramente superior a los límites máximos permisibles.

Por otro lado, el agua de abastecimiento posee un pH ligeramente alcalino y sus características organolépticas son aceptables, pues es incolora y de olor agradable. La cantidad de cloro residual, nitritos y nitratos es significativamente más baja con respecto al valor establecido por ambas normas, y no hay presencia de nitrógeno amoniacal, lo que indica que el agua potable proviene de una fuente libre de contaminación por agua residual, materia orgánica, durante el transporte, distribución o almacenamiento de la misma

PARAMETRO mg/L excepto *	NORMA MEXICANA	NORMA OMS	CAMPUS CUAUTITLÁN
OLOR *	N.S.	Aceptable	Aceptable
TEMPERATURA (°C) *	N.S.	Aceptable	20 °C
pH (unidades de pH) *	6.5-8.5	6.5-8.5	8
SÓLIDOS TOTALES	N.S.	500 <sup>1</sup>	192
ALCALINIDAD TOTAL (como CaCO <sub>3</sub> )	400	N.S.	90
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	N.S.	N.S.	0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N.S.	N.S.	90
COLOR (unidades de Pt/Co) *	20	15	8
CONDUCTIVIDAD (µmhos/cm) *	N.S.	N.S.	180
DUREZA TOTAL (como CaCO <sub>3</sub> )	500	120 <sup>2</sup>	90
DUREZA DE CALCIO (Ca)	N.S.	N.S.	53
TURBIDEZ UTJ *	10	5	2
CLORUROS (como Cl)	250	250	1
CLORO RESIDUAL LIBRE	0.5-1.0	0.6-0.1	0.05
FLUORUROS (como F)	1.5	1.5	0.2
NITRATOS NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (como N)	10	50	2
NITRITOS NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (como N)	0.05	3	0.02
NITRÓGENO AMONIACAL (como N)	0.5	N.S.	0
ALUMINIO (Al)	0.2	0.2	1.0 µ/l
BARIO (Ba)	0.7	0.7	0.5 µ/l
CADMIO (Cd)	0.005	0.003	0.1 µ/l
CROMO (Cr)	0.05	0.05	0.1 µ/l
PLATA (Ag)	N.S.	N.S.	0.1 µ/l
HIERRO (Fe)	0.3	0.3	0.2 µ/l
ZINC (Zn)	5	3	0.04 µ/l
SODIO (Na)	200	200	55.42
CLORO TOTAL (Cl)	N.S.	N.S.	35.38
BROMO (Br)	N.S.	N.S.	0.38
MANGANESO (Mn)	0.10	0.10	0.11

1 Criterio EPA.

2 Criterios DGCOH.

N.S. No Sancionado.

**TABLA IV.1 Valores obtenidos del análisis fisicoquímico y elemental en el agua potable del Campus Cuautitlán Campo 1.**

De acuerdo a los valores que se reportan, se observa que la alcalinidad se debe a la presencia de bicarbonatos y que la dureza le confiere una característica moderadamente suave, además de que la alcalinidad es igual a la dureza carbonatada.

## **AGUA RESIDUAL**

### **Muestreo**

Los resultados de los parámetros de campo, tirante (cm), tiempo (segundos) y caudal instantáneo (L/s), para las descargas 1 y 2, se representan en la tabla IV.2.

El tirante es un dato que indica el nivel máximo y mínimo que alcanza el agua dentro de la tubería en las horas de actividad académica, siendo para la descarga 1 de 1 a 2.5 cm, y para la descarga 2 de 0.7 a 1.5 cm. Esta información es esencial pues determina el equipo que se requerirá para coleccionar el agua residual hacia la planta de tratamiento; por ejemplo, si fuera necesaria una bomba, con base en dichos valores el diseñador podrá decidir sobre la potencia que requiere.

El tiempo de recorrido del unícel a través de cierta distancia, es un parámetro necesario para calcular la velocidad de la descarga y con esto determinar el caudal instantáneo.

Por otro lado, la composición de la muestra compuesta está determinada por el caudal instantáneo, ya que el volumen de muestra simple que se utiliza para integrarla es proporcional a éste. Los volúmenes necesarios de cada muestra simple para obtener 5 litros de muestra compuesta, se encuentran señalados en la tabla IV.2.

Para la descarga 1 y 2, los resultados de caudal expresado en m<sup>3</sup>/día, temperatura ambiente (°C), temperatura de la muestra (°C) y pH; así como los parámetros estadísticos calculados; promedio, desviación estándar ( $\sigma$ ) y coeficiente de variación (C.V), se reportan en la tabla IV.3 y IV.4 respectivamente.

Los parámetros pH y temperatura influirán directamente en la estabilidad del proceso de tratamiento en el prototipo XXI-2000, de aquí la importancia de su comportamiento.

De las tablas mencionadas (IV.3 y IV.4) se observa que para ambas descargas existe un pH alcalino entre 8 y 9, que probablemente sea consecuencia de los desechos orgánicos humanos tales como urea y amoníaco. Las fluctuaciones que se presentaron son poco significativas, lo cual se ve en las gráficas IV.1 y IV.2, y se confirma con el análisis estadístico, ya que el coeficiente de variación promedio para la descarga 1 es de 3.9 y para la descarga 2 se obtiene 2.0.

De las gráficas IV.1, IV.2 y el coeficiente de variación obtenido, podemos establecer que la temperatura del agua residual (C.V. =12.2) está influenciada directamente por la temperatura ambiente (C.V.=11.6), pues su comportamiento es bastante parecido.

Las variaciones más significativas que se presentan, se deben seguramente a actividades particulares del laboratorio, por ejemplo, el uso de ácidos, bases o compuestos orgánicos que afecten el pH, o desechos de reflujos que aumenten la temperatura o baños de hielo que la disminuyan.

Al comparar gráficamente el pH, temperatura ambiente y temperatura de la muestra entre la descarga 1 y 2, como se hace en la figura IV.3, IV.4 y IV.5, se hace evidente que su comportamiento es semejante, excepto en algunos puntos. Lo anterior se explica tomando en cuenta que en ambos sectores descargan los desechos provenientes de aulas y laboratorios, lo que provoca la generación de aguas residuales de características semejantes, con variaciones debidas a actividades particulares en el laboratorio.

El coeficiente de variación del caudal instantáneo adopta valores significativamente altos (ver tabla IV.3 y IV.4), lo que demuestra que para ambas descargas se presentan fluctuaciones considerables con respecto al día y hora de muestreo.

*Lunes*

PARÁMETRO	DESCARGA 1						DESCARGA 2					
	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00
TIRANTE (cm)	1.0	1.5	1.3	1.8	1.5	1.7	1.0	1.2	1.2	1.0	0.8	1.5
TIEMPO (s)	30	20	27	29	30	28	2	1.8	1.8	2.0	2.0	1.5
CAUDAL (L/s)	0.453	1.146	0.684	1.023	0.764	0.920	0.361	0.516	0.516	0.361	0.246	0.882
% (L)	0.453	1.149	0.686	1.025	0.766	0.922	0.627	0.895	0.895	0.627	0.427	1.530

*Martes*

PARÁMETRO	DESCARGA 1						DESCARGA 2					
	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00
TIRANTE (cm)	1.5	2.3	2.5	1.5	1.3	1.0	1.8	1.0	1.0	0.7	1.0	0.8
TIEMPO (s)	25	21	29	25	28	30	1.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
CAUDAL (L/s)	0.917	2.075	1.662	0.917	0.660	0.426	1.276	0.361	0.361	0.204	0.361	0.246
% (L)	0.689	1.559	1.248	0.689	0.496	0.320	2.271	0.643	0.643	0.363	0.643	0.437

*Miércoles*

PARÁMETRO	DESCARGA 1						DESCARGA 2					
	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00
TIRANTE (cm)	1.5	1.5	1.8	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.25	1.0	1.0	1.0
TIEMPO (s)	28	30	22	26	30	31	2.4	1.5	1.6	1.7	1.7	2.0
CAUDAL (L/s)	0.819	0.764	1.349	0.882	0.764	0.412	0.301	0.482	0.614	0.361	0.361	0.482
% (L)	0.82	0.766	1.351	0.884	0.766	0.413	0.579	0.926	1.180	0.695	0.695	0.926

*Jueves*

PARÁMETRO	DESCARGA 1						DESCARGA 2					
	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00
TIRANTE (cm)	1.5	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8
TIEMPO (s)	28	25	27	25	25	30	1.7	1.8	2.0	1.5	2.6	2.0
CAUDAL (L/s)	0.819	0.809	0.749	0.917	0.917	0.764	0.425	0.401	0.361	0.401	0.189	0.246
% (L)	0.823	0.813	0.753	0.922	0.922	0.768	1.05	0.922	0.892	0.992	0.467	0.607

*Viernes*

PARÁMETRO	DESCARGA 1						DESCARGA 2					
	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00
TIRANTE (cm)	1.5	1.3	2.0	1.7	1.5	1.8	1.3	1.5	1.3	1.5	1.5	1.2
TIEMPO (s)	25	23	30	26	28	29	1.7	1.8	1.8	2.0	2.0	1.5
CAUDAL (L/s)	0.917	0.803	1.161	1.065	0.819	0.468	0.609	0.735	0.575	0.661	0.661	0.619
% (L)	0.876	0.768	1.109	1.018	0.782	0.447	0.789	0.952	0.745	0.857	0.857	0.801

El % (L) representa el volumen de muestra simple necesaria para integrar 5 litros de muestra compuesta.

**TABLA IV.2** Parámetros de campo determinados para calcular el caudal instantáneo en la descarga 1 y 2 del Campus Cuautitlán Campo 1.



TEMPERATURA AMBIENTE °C									
HORA	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00	PROMEDIO	$\sigma$	C.V.
LUNES	23	24	24	24	23	22	23.3	0.8	3.4
MARTES	20	22	24	21	19	16	20.3	2.7	13.4
MIÉRCOLES	19	21	23	23	21	16	20.5	2.6	12.9
JUEVES	23	23	23	25	23	22	23.0	0.9	4.7
VIERNES	21	21	22	21	19	15	19.8	2.5	12.9
PROMEDIO	21.2	22.2	23.2	22.8	21.0	18.2	21.4	2.5	11.6
$\sigma$	1.7	1.3	0.8	1.7	2.0	3.4			
C.V.	8.4	5.8	3.6	7.8	9.5	19.1			
TEMPERATURA DE LA MUESTRA °C									
HORA	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00	PROMEDIO	$\sigma$	C.V.
LUNES	21	22	22	22	22	22	21.8	0.4	1.8
MARTES	17	18	19	19	19	17	18.1	0.9	5.4
MIÉRCOLES	17	18	19	19	18	17	18.0	0.8	4.9
JUEVES	21	23	25	24	22	21	22.6	1.6	7.2
VIERNES	17	17	19	18	18	16	17.5	1.0	5.9
PROMEDIO	18.6	19.6	20.8	20.4	19.8	18.6	19.6	2.4	12.2
$\sigma$	2.1	2.7	2.6	2.5	2.0	2.7			
C.V.	11.7	13.7	12.9	12.3	10.3	14.5			
POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)									
HORA	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00	PROMEDIO	$\sigma$	C.V.
LUNES	9.1	9.0	9.0	9.3	9.0	9.1	9.1	0.1	1.2
MARTES	8.8	8.6	8.8	8.9	9	9.1	8.8	0.1	1.9
MIÉRCOLES	8.9	7.4	8.5	8.7	8.5	8.7	8.4	0.5	6.3
JUEVES	8.7	8.7	8.3	8.6	8.7	8.6	8.6	0.1	1.8
VIERNES	8.5	8.6	8.9	8.8	8.7	8.5	8.6	0.1	1.8
PROMEDIO	8.8	8.4	8.7	8.8	8.7	8.8	8.7	0.3	3.9
$\sigma$	0.2	0.6	0.2	0.2	0.2	0.2			
C.V.	2.5	7.2	3.3	3.0	2.4	3.2			
CAUDAL INSTANTÁNEO m <sup>3</sup> /día									
HORA	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00	PROMEDIO	$\sigma$	C.V.
LUNES	34.5	95.0	60.4	86.4	60.4	77.7	69.0	21.8	31.5
MARTES	78.6	172.8	138.2	77.7	51.8	34.5	92.2	52.8	57.2
MIÉRCOLES	69.1	69.1	112.3	77.7	69.1	34.5	71.9	24.8	34.4
JUEVES	69.1	69.1	69.1	77.7	77.7	69.1	71.9	4.4	6.1
VIERNES	77.7	69.1	103.6	86.4	69.1	86.4	82.0	13.1	15.9
PROMEDIO	65.8	95.0	96.7	81.1	65.6	60.4	77.4	14.4	18.7
$\sigma$	18.0	44.8	31.9	4.7	9.8	24.4			
C.V.	27.3	47.1	32.9	5.7	14.9	40.3			

$\sigma$  Desviación estándar.  
C.V. Coeficiente de variación.

**TABLA IV.3** Análisis estadístico de la variación de los parámetros de campo determinados en la muestra simple para la descarga 1 del Campus Cuautitlán.

TEMPERATURA AMBIENTE °C									
HORA	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00	PROMEDIO	$\sigma$	C.V.
LUNES	22	24	24	24	23	21	23	1.2	5.4
MARTES	19	22	24	24	18	16	20.5	3.3	16.2
MIÉRCOLES	21	21	23	23	21	16	20.8	2.5	12.3
JUEVES	25	24	23	22	22	21	22.8	1.4	6.4
VIERNES	20	21	22	21	18	14	19.3	2.9	15.2
PROMEDIO	21.4	22.4	23.2	22.8	20.4	17.6	21.3	2.6	12.6
$\sigma$	2.3	1.5	0.8	1.3	2.3	3.2			
C.V.	10.7	6.7	3.6	5.7	11.2	18.2			
TEMPERATURA DE LA MUESTRA °C									
HORA	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00	PROMEDIO	$\sigma$	C.V.
LUNES	21	23	22	21	21	20	21.3	1.0	4.8
MARTES	17	17	18	17	17	15	16.8	0.9	5.8
MIÉRCOLES	16	17	19	19	18	15	17.3	1.6	9.4
JUEVES	20	23	25	24	21	20	22.1	2.1	9.6
VIERNES	19	20	20	20	19	15	18.3	1.9	10.3
PROMEDIO	18.6	20	20.8	20.2	19.2	17	19.3	2.6	13.6
$\sigma$	2.0	3.0	2.7	2.5	1.7	2.7			
C.V.	11.1	15.0	13.3	12.8	9.3	16.1			
POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)									
HORA	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00	PROMEDIO	$\sigma$	C.V.
LUNES	8.5	8.8	9.0	8.9	8.8	8.8	8.8	0.1	1.9
MARTES	8.8	8.6	8.9	8.9	8.8	9.1	8.8	0.1	1.8
MIÉRCOLES	8.6	8.6	8.6	8.7	8.5	8.7	8.6	0.07	0.8
JUEVES	8.7	8.6	8.5	8.3	8.6	8.7	8.5	0.1	1.7
VIERNES	8.6	8.9	8.8	9.0	8.6	8.9	8.8	0.1	1.9
PROMEDIO	8.6	8.7	8.7	8.7	8.6	8.8	8.7	0.1	2.0
$\sigma$	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1			
C.V.	1.3	1.6	2.3	3.1	1.5	1.8			
CAUDAL INSTANTÁNEO m <sup>3</sup> /día									
HORA	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00	PROMEDIO	$\sigma$	C.V.
LUNES	146.8	43.2	43.2	146.8	17.2	69.1	77.7	55.9	71.9
MARTES	112.3	34.5	34.5	17.2	34.5	17.2	41.7	35.5	85.1
MIÉRCOLES	25.9	43.2	51.8	34.5	34.5	34.5	37.4	8.9	23.7
JUEVES	34.5	34.5	34.5	34.5	17.2	17.2	28.7	8.9	31.0
VIERNES	51.8	60.4	51.8	60.4	60.4	95.0	63.3	34.1	53.8
PROMEDIO	74.2	43.1	43.1	58.6	32.7	46.6	49.7	13.3	26.8
$\sigma$	52.7	10.5	8.6	51.6	17.7	34.3			
C.V.	71.0	24.3	19.9	88.0	54.1	73.6			

$\sigma$  Desviación estándar.

C.V. Coeficiente de variación.

**TABLA IV.4** Análisis estadístico de la variación de los parámetros de campo determinados en la muestra simple para la descarga 2 del Campus Cuautitlán.

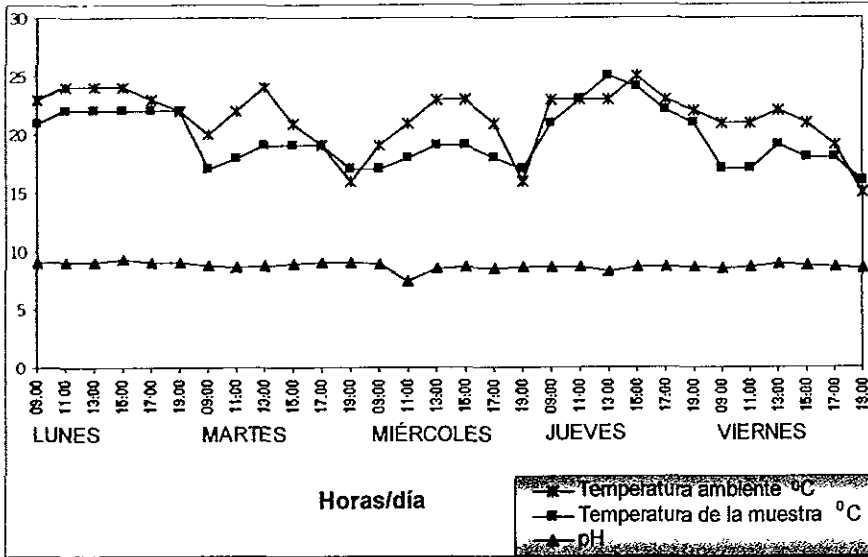


FIGURA IV.1 Gráfica de la variación horaria y semanal de los parámetros de campo medidos en la descarga 1 del Campus Cuautitlán Campo1.

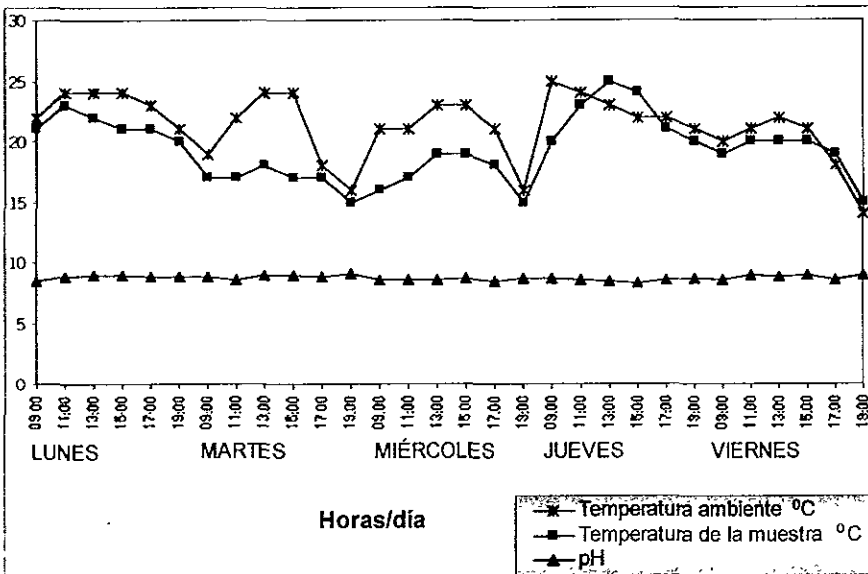


FIGURA IV.2 Gráfica de la variación horaria y semanal de los parámetros de campo medidos en la descarga 2 del Campus Cuautitlán Campo1.

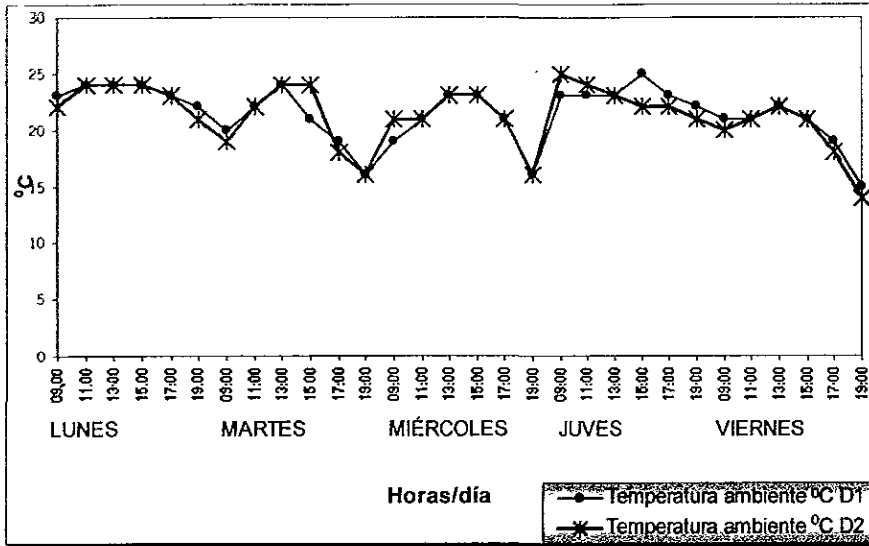


FIGURA IV.3 Gráfica de la variación horaria y semanal de la temperatura ambiente en las descargas 1 y 2 del Campus Cuautitlán Campo 1.

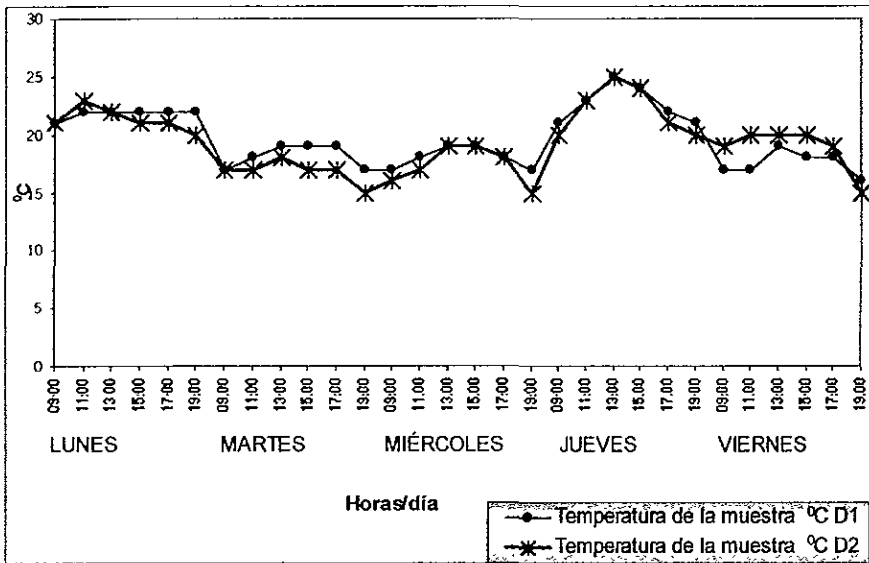
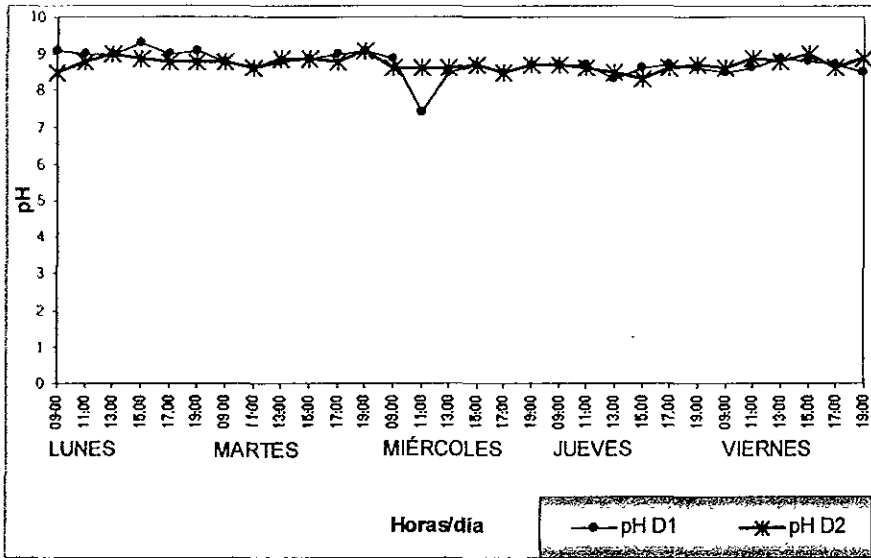


FIGURA IV.4 Gráfica de la variación horaria y semanal de la temperatura de la muestra en las descargas 1 y 2 del Campus Cuautitlán Campo 1.



**FIGURA IV.5** Gráfica de la variación horaria y semanal del pH en las descargas 1 y 2 del Campus Cuautitlán Campo 1.

Para la descarga 1, el caudal instantáneo máximo aproximado es de  $172.0 \text{ m}^3/\text{día}$ , lo cual ocurre el día martes a las 11:00, y el mínimo de  $34.5 \text{ m}^3/\text{día}$  que lo observamos el lunes a las 9:00 hrs y los días jueves y viernes a las 19:00 hrs (figura IV.6).

En la descarga 2 los caudales máximo y mínimo registrados son  $146.8 \text{ m}^3/\text{día}$  para el día lunes a las 9:00 y 15:00 hrs, y  $17.2 \text{ m}^3/\text{día}$  el día jueves a las 17:00 hrs respectivamente (figura IV.7).

Con esto se hace evidente que existe un mayor caudal en la descarga 1, lo cual es lógico tomando en cuenta que la mayoría de las instalaciones del plantel descargan en este punto.

El caudal máximo y mínimo determinan en gran medida la capacidad de las instalaciones de la planta de tratamiento, pues es importante prever el volumen máximo que podrá soportar y las posibles repercusiones ante un volumen mínimo a tratar.

De acuerdo al análisis estadístico, en promedio existe un mayor caudal entre las 11:00 y las 15:00 hrs para la descarga 1, esto se debe a que en este punto descargan oficinas administrativas, aulas y laboratorios cuya mayor actividad concuerda con el periodo de más alta descarga, pues gran parte de la comunidad estudiantil se encuentra trabajando en dichos laboratorios y es un horario en el que se registran la mayoría de las clases que se imparten en el plantel en las aulas cuyos desechos se dirigen a este sector.

Con respecto a la descarga 2, el mayor caudal se registró a las 9:00, 13:00 y 19:00 hrs, que corresponden al periodo pico de labores en el comedor (hora de desayuno, comida y limpieza respectivamente), laboratorios y aulas.

Es importante hacer notar que las actividades sociales traerán como consecuencia un aumento significativo del caudal con respecto a los demás días, como puede observarse en la figura IV.6 y IV.7 el día viernes a las 19:00 hrs, periodo en el que regularmente se llevan a cabo reuniones estudiantiles.

De lo anterior podemos señalar que el caudal está determinado por las actividades y el tamaño de la comunidad estudiantil, académica y administrativa del campus universitario.

Las variaciones influyen directamente en el diseño del tanque igualador. Las plantas de tratamiento son diseñadas considerando que tanto el gasto como las concentraciones de contaminantes son constantes, sin embargo, existen variaciones en estos parámetros que influyen negativamente en las eficiencias de los diversos procesos. La uniformización del flujo (igualación o regularización) y de las concentraciones (homegenización), se usa para corregir estas variaciones.

La utilización de tanques de igualación después del tratamiento preliminar (cribado y remoción de arenas) permite la amortiguación de las variaciones de flujo y proporciona un caudal relativamente constante a los procesos y operaciones subsecuentes del sistema mejorando el grado de tratamiento.

Cabe mencionar que la igualación, no solamente amortigua las variaciones diarias de flujo sino también la variación de las concentraciones de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos durante el día

Esta operación, será útil debido a que el periodo de descarga se da sólo durante el día, además será importante en época de lluvias, ya que el sistema de recolección es combinado

El volumen requerido para la igualación del caudal se determina mediante la utilización de una curva de masas, en la cual se grafica el volumen acumulado del caudal del influente respecto a las diferentes horas del día. Tomando en cuenta que aunque se trata de dos descargas ambas se tratarán en las mismas instalaciones, es necesario *sumar sus respectivos caudales determinados durante el periodo de muestreo*, obteniendo que el volumen máximo total se presenta el día lunes a las 15:00 hrs y el volumen total mínimo se tiene el día martes a las 19:00 hrs, ver figura IV.8 y IV.9.

Es importante hacer notar que el comportamiento de los caudales de la descarga 1 y 2 es muy semejante, sin embargo, se observa una influencia notoria del caudal del sector 1 sobre el comportamiento del caudal total instantáneo.

### **Volumen requerido del tanque de igualación**

Para determinar el volumen, se calcula el flujo promedio diario, tal y como se presenta en la tabla IV.5. y la figura IV.10. De lo anterior se observa que el caudal total promedio para el periodo comprendido entre las 9:00 y 15:00 hrs, es aproximadamente 140 m<sup>3</sup>/día, mientras que para las horas de la tarde, las 15:00 y 17:00 hrs hay una disminución, encontrándose entre 98.3 m<sup>3</sup>/día y 107 m<sup>3</sup>/día.

a) La primera etapa consiste en desarrollar la curva acumulada de masas del caudal de agua residuales. Esto se realiza convirtiendo el caudal promedio durante cada intervalo de una hora a volumen en metros cúbicos y posteriormente en forma acumulada los volúmenes de cada hora (tabla IV 6).

b) La segunda etapa consiste en preparar una gráfica de los volúmenes acumulados del caudal. La pendiente de la línea trazada del origen al punto final de la curva representa el valor del caudal promedio diario que en este caso es igual a 53.28 m<sup>3</sup>/día o bien 0.000613 m<sup>3</sup>/segundo (figura IV.11).

c) La tercera etapa consiste en determinar el volumen de almacenamiento requerido. Esto se realiza trazando una línea tangente a la curva de masas en forma paralela a la línea que representa el caudal promedio diario. El volumen requerido se representa mediante la distancia vertical existente entre el punto de tangencia y la recta que representa el caudal promedio diario. En nuestro caso, este valor es (figura IV.11):

$$\text{Volumen del tanque de igualación } V = 31 \text{ m}^3$$

En la práctica, el volumen del tanque de igualación se incrementa de un 10 a un 20% respecto al calculado en la teoría para prever incrementos de flujo y espacio libres en los bordes principalmente.

Ahora bien con base en los datos obtenidos es posible hacer el cálculo aproximado total de ambas descargas, siendo el volumen total diario de agua residual que se descargan en el plantel: **52,958 litros**.

Si tomamos en cuenta que la comunidad total aproximada de plantel en el tiempo de muestreo es de 4000 personas entre estudiantes, profesores y demás personal; es posible estimar el promedio de agua consumido por individuo: **13.2 litros /persona**.

La importancia de este cálculo radica en que puede hacerse una estimación del consumo de agua en un futuro, en caso de que aumente la densidad de la población universitaria, aspecto que debe tomarse en cuenta para las dimensiones de la planta.



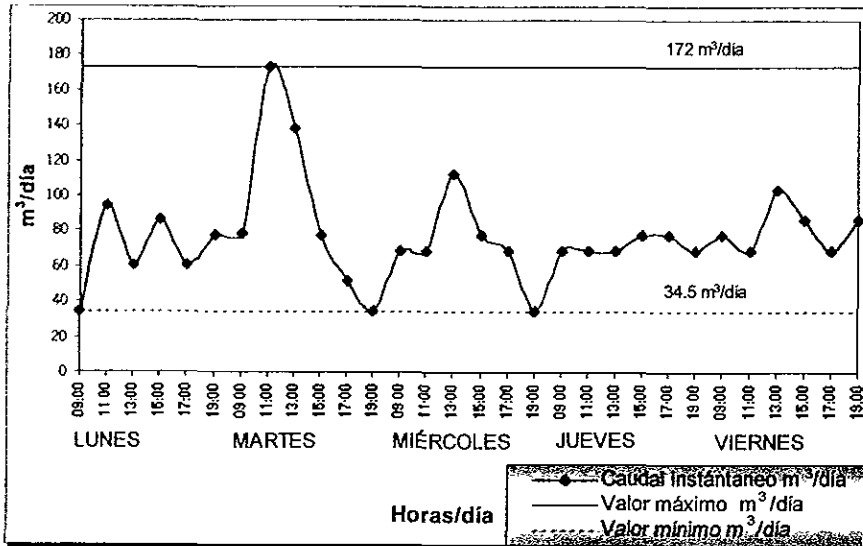


FIGURA IV.6 Gráfica de la variación horaria y semanal de los caudales del agua residual en la descarga 1 del Campus Cuautitlán Campo1.

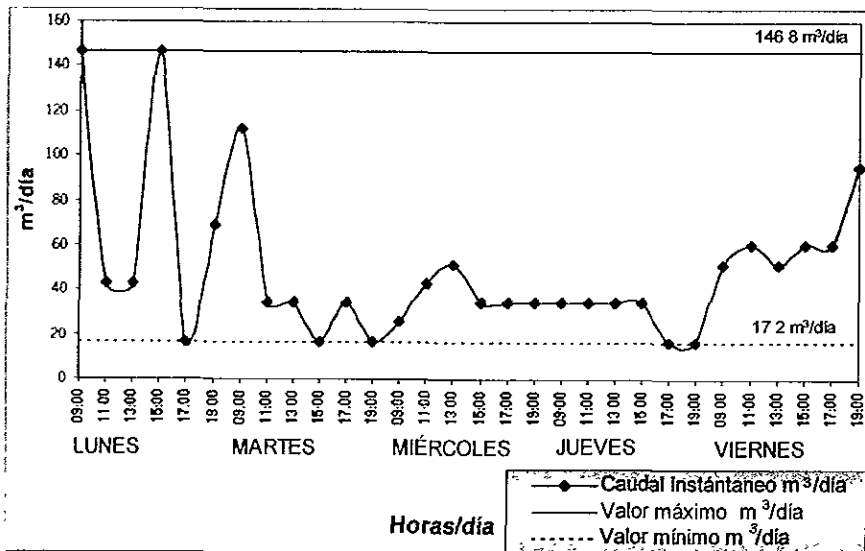


FIGURA IV.7 Gráfica de la variación horaria y semanal de los caudales del agua residual en la descarga 2 del Campus Cuautitlán Campo1.

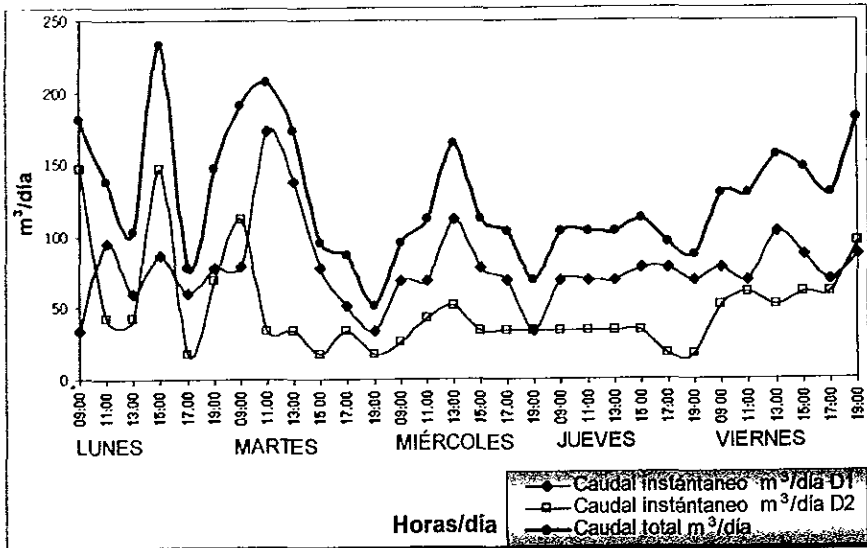


FIGURA IV.8 Gráfica de la variación horaria y semanal de los caudales del agua residual en la descarga 1 y 2 del Campus Cuautitlán Campo1.

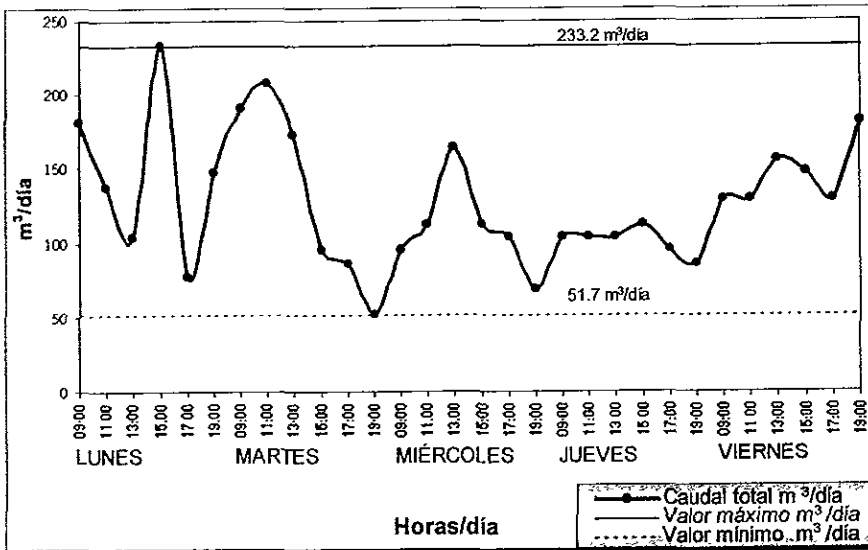


FIGURA IV.9 Gráfica de la variación horaria y semanal de los caudales totales del agua residual del Campus Cuautitlán Campo1.

HORA	CAUDAL PROMEDIO DE LA DESCARGA 1 m <sup>3</sup> /día	CAUDAL PROMEDIO DE LA DESCARGA 2 m <sup>3</sup> /día	CAUDAL TOTAL PROMEDIO m <sup>3</sup> /día	CAUDAL TOTAL PROMEDIO m <sup>3</sup> /segundo
9:00	65.8	74.2	140.0	0.00162
11:00	95.0	43.1	138.1	0.00159
13:00	96.7	43.1	139.8	0.00161
15:00	81.1	58.6	139.7	0.00161
17:00	65.6	32.7	98.3	0.00113
19:00	60.4	46.6	107.0	0.00123
21:00	0.0	0.0	0.0	0.0
23:00	0.0	0.0	0.0	0.0
01:00	0.0	0.0	0.0	0.0
03:00	0.0	0.0	0.0	0.0
05:00	0.0	0.0	0.0	0.0
07:00	0.0	0.0	0.0	0.0

TABLA IV.5 Variación del caudal promedio con respecto al tiempo del agua residual del Campus Cuautitlán Campo 1.

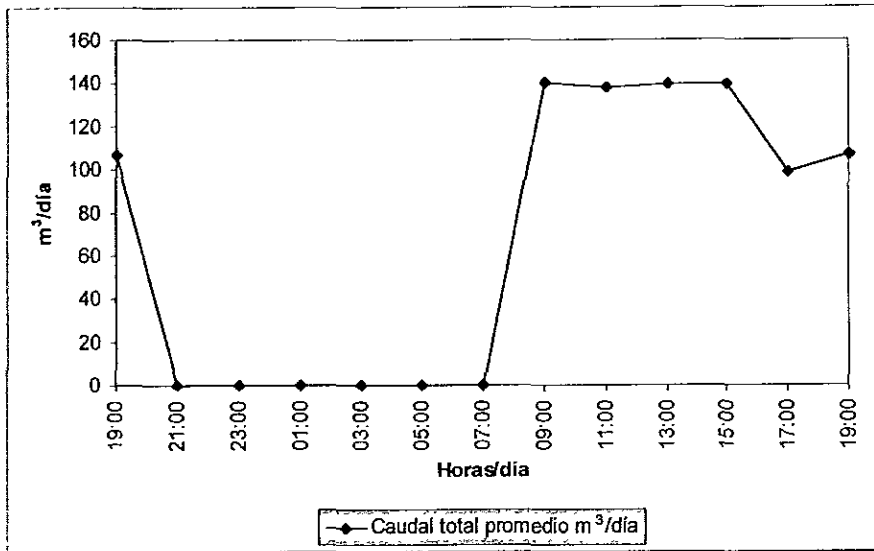


FIGURA IV.10 Gráfica de la variación del caudal promedio con respecto al tiempo del agua residual del Campus Cuautitlán Campo 1.

INTERVALO	CAUDAL PROMEDIO DURANTE EL INTERVALO m <sup>3</sup> /día	CAUDAL PROMEDIO DURANTE EL INTERVALO m <sup>3</sup> /s	VOLUMEN ACUMULADO DE FLUJO AL FINAL DEL INTERVALO m <sup>3</sup>
19:00-21:00	0.00	0.00000	0.000
21:00-23:00	0.00	0.00000	0.000
23:00-01:00	0.00	0.00000	0.000
01:00-03:00	0.00	0.00000	0.000
03:00-05:00	0.00	0.00000	0.000
05:00-07:00	0.00	0.00000	0.000
07:00-09:00	0.00	0.00000	0.000
09:00-11:00	139.05	0.00161	11.556
11:00-13:00	138.95	0.00160	23.076
13:00-15:00	139.75	0.00161	34.668
15:00-17:00	119.00	0.00137	44.532
17:00-19:00	102.65	0.00118	53.028
promedio	53.28	0.000613	

TABLA IV.6 Datos de caudal para determinar los efectos de la igualación del flujo de las descargas 1 y 2 del agua residual del Campus Cuautitlán Campo 1.

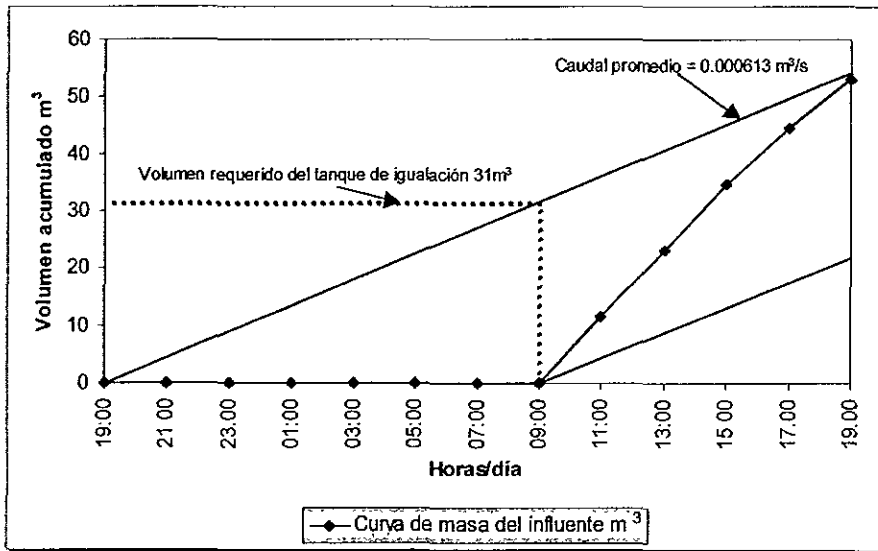


FIGURA IV.11 Curva de masas para la determinación del volumen del tanque de igualación de las descargas 1 y 2 del agua residual del Campus Cuautitlán Campo 1.

### Análisis elemental y fisicoquímico.

Del análisis elemental realizado mediante activación neutrónica, se obtuvo el espectro gamma que se muestra en la figura IV.12, el cual se refiere a la representación gráfica en donde se relacionan las energías características de los radioisótopos (eje X) con su actividad en cuentas por minuto (eje Y).

Con respecto a este análisis, no se encontraron elementos pesados como cadmio, cobre, níquel, zinc, cromo, plata, hierro, cobalto ni otros elementos como bario o antimonio. Sólo se hallaron cloro, bromo, sodio y manganeso, cuyos valores encontrados se muestran en las tablas IV.7 y IV.8 para la descarga 1 y 2 respectivamente, y se representan en forma gráfica en las figuras IV.13, IV.14, IV.15 y IV.16. El análisis estadístico aplicado a los resultados obtenidos se presentan en las tablas, IV.10, IV.11, IV.12 y IV.13.

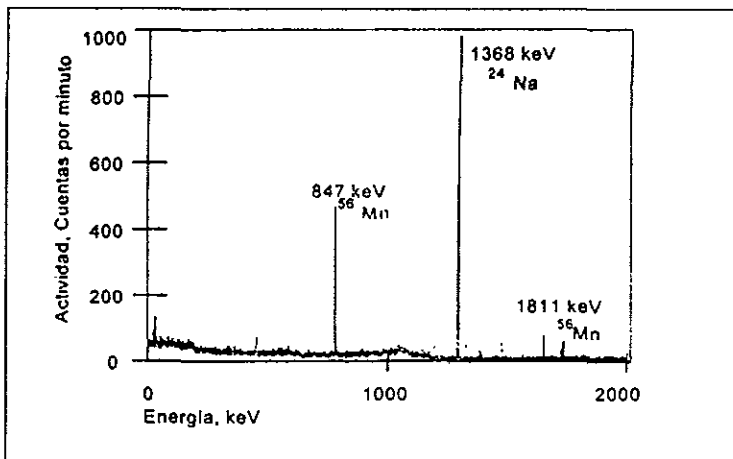


FIGURA IV.12 Espectrograma patrón donde se pueden observar los picos correspondientes a las energías características de los radioisótopos  $^{24}\text{Na}$  y  $^{56}\text{Mn}$ .

ANÁLISIS ELEMENTAL mg/L	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
SODIO (Na)	96.250	92.650	156.550	173.010	126.050
CLORO (Cl)	143.450	97.750	93.050	178.930	88.150
MANGANESO (Mn)	0.069	0.086	0.034	0.089	0.281
BROMO (Br)	0.315	0.382	1.523	0.115	0.216
NIQUEL (Ni)	ND	ND	ND	ND	ND
ZINC (Zn)	ND	ND	ND	ND	ND
CROMO (Cr)	ND	ND	ND	ND	ND
COBRE (Cu)	ND	ND	ND	ND	ND
ANTIMONIO (Sb)	ND	ND	ND	ND	ND
BARIO (Ba)	ND	ND	ND	ND	ND
PLATA (Ag)	ND	ND	ND	ND	ND
HIERRO (Fe)	ND	ND	ND	ND	ND
CADMIO (Cd)	ND	ND	ND	ND	ND
COBALTO (Co)	ND	ND	ND	ND	ND

ND No detectado.

El análisis elemental fue realizado en la muestra compuesta integrada en cada día de muestreo.

**TABLA IV.7 Resultados obtenidos del análisis elemental por activación neutrónica realizado en el agua residual de la descarga 1 del Campus Cuautitlán Campo 1.**

ANÁLISIS ELEMENTAL mg/L	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
SODIO (Na)	78.050	78.050	113.050	98.350	92.350
CLORO (Cl)	59.750	5.850	114.720	85.150	76.170
MANGANESO (Mn)	0.101	0.142	0.054	0.215	0.144
BROMO (Br)	0.215	0.078	0.405	0.245	0.265
NIQUEL (Ni)	ND	ND	ND	ND	ND
ZINC (Zn)	ND	ND	ND	ND	ND
CROMO (Cr)	ND	ND	ND	ND	ND
COBRE (Cu)	ND	ND	ND	ND	ND
ANTIMONIO (Sb)	ND	ND	ND	ND	ND
BARIO (Ba)	ND	ND	ND	ND	ND
PLATA (Ag)	ND	ND	ND	ND	ND
HIERRO (Fe)	ND	ND	ND	ND	ND
CADMIO (Cd)	ND	ND	ND	ND	ND
COBALTO (Co)	ND	ND	ND	ND	ND

ND No detectado.

El análisis elemental fue realizado en la muestra compuesta integrada en cada día de muestreo.

**TABLA IV.8 Resultados obtenidos del análisis elemental por activación neutrónica realizado en el agua residual de la descarga 2 del Campus Cuautitlán Campo 1.**

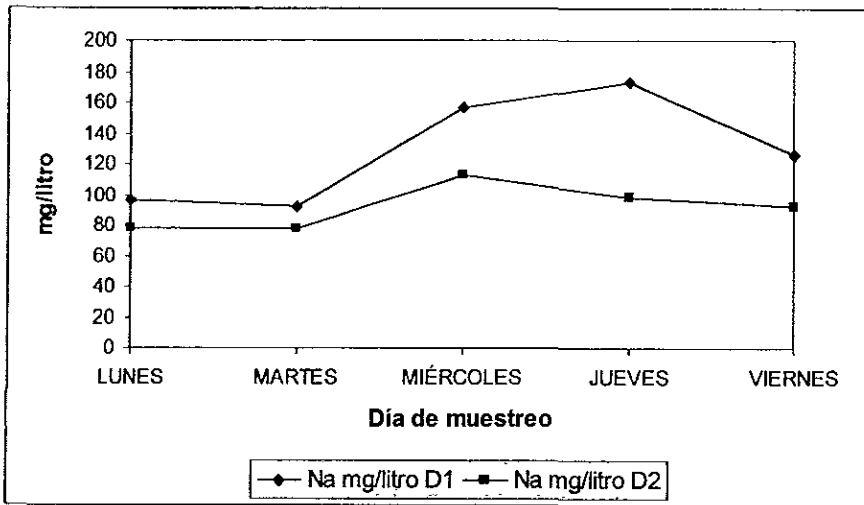


FIGURA IV.13 Gráfica de la variación de sodio (Na) en los diferentes días de muestreo para la descarga 1 y 2.

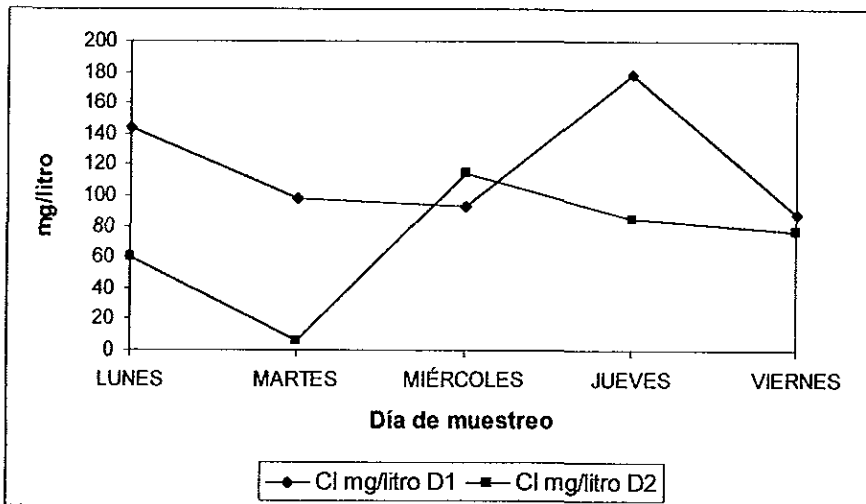


FIGURA IV.14 Gráfica de la variación de cloro (Cl) en los diferentes días de muestreo para la descarga 1 y 2.

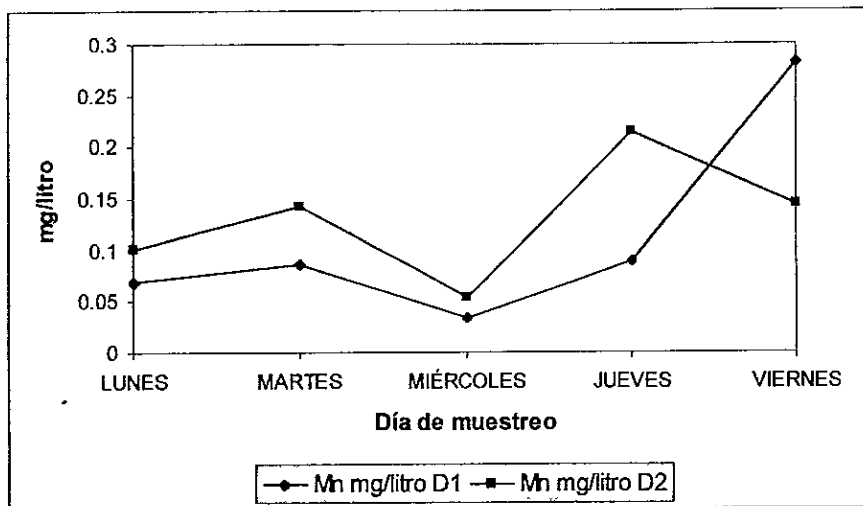


FIGURA IV.15 Gráfica de la variación de manganeso (Mn) en los diferentes días de muestreo para la descarga 1 y 2.

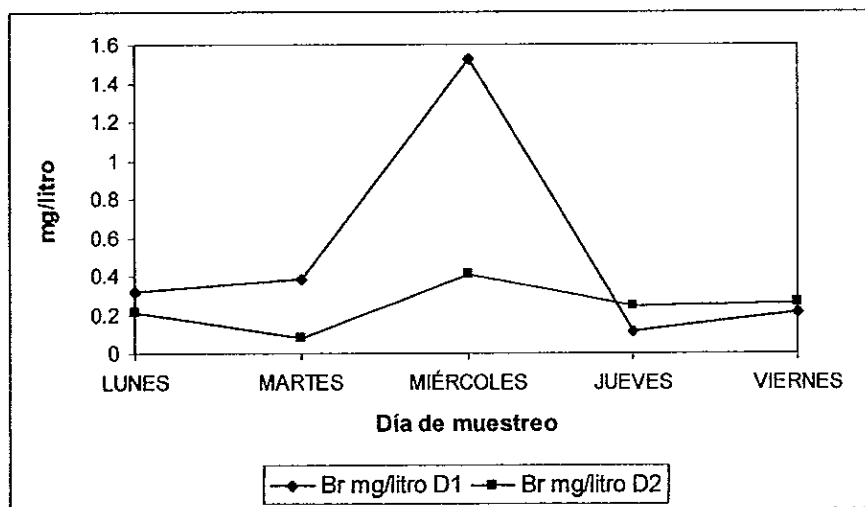


FIGURA IV.16 Gráfica de la variación de bromo (Br) en los diferentes días de muestreo para la descarga 1 y 2.



PARÁMETRO	MEDIA (Promedio mg/L)	MEDIANA	MODA	$\sigma$	CV
SODIO (Na)	128.902	126.050	NE	31.932	24.7
CLORO (Cl)	120.266	97.750	NE	35.378	29.4
MANGANESO (Mn)	0.112	0.086	NE	0.087	77.6
BROMO (Br)	0.510	0.315	NE	0.514	100.8
NIQUEL (Ni)	NC	NC	NC	NC	NC
ZINC (Zn)	NC	NC	NC	NC	NC
CROMO (Cr)	NC	NC	NC	NC	NC
COBRE (Cu)	NC	NC	NC	NC	NC
ANTIMONIO (Sb)	NC	NC	NC	NC	NC
BARIO (Ba)	NC	NC	NC	NC	NC
PLATA (Ag)	NC	NC	NC	NC	NC
HIERRO (Fe)	NC	NC	NC	NC	NC
CADMIO (Cd)	NC	NC	NC	NC	NC
COBALTO (Co)	NC	NC	NC	NC	NC

NE No existe una moda en los valores obtenidos para este parámetro.  
 NC No calculada. No es posible calcularla con los datos obtenidos.

**TABLA IV.9** Parámetros estadísticos determinados a los valores obtenidos del análisis elemental realizado en el agua residual en los diferentes días de muestreo de la descarga 1 del Campus Cuautitlán Campo 1.

PARÁMETRO	MEDIA (Promedio mg/L)	MEDIANA	MODA	$\sigma$	CV
SODIO (Na)	91.970	92.350	NE	13.212	14.3
CLORO (Cl)	68.328	76.170	NE	35.983	52.6
MANGANESO (Mn)	0.131	0.142	NE	0.053	40.5
BROMO (Br)	0.242	0.245	NE	0.105	43.3
NIQUEL (Ni)	NC	NC	NC	NC	NC
ZINC (Zn)	NC	NC	NC	NC	NC
CROMO (Cr)	NC	NC	NC	NC	NC
COBRE (Cu)	NC	NC	NC	NC	NC
ANTIMONIO (Sb)	NC	NC	NC	NC	NC
BARIO (Ba)	NC	NC	NC	NC	NC
PLATA (Ag)	NC	NC	NC	NC	NC
HIERRO (Fe)	NC	NC	NC	NC	NC
CADMIO (Cd)	NC	NC	NC	NC	NC
COBALTO (Co)	NC	NC	NC	NC	NC

NE No existe una moda en los valores obtenidos para este parámetro.  
 NC No calculada. No es posible calcularla con los datos obtenidos.

**TABLA IV.10** Parámetros estadísticos determinados a los valores obtenidos del análisis elemental realizado en el agua residual en los diferentes días de muestreo de la descarga 2 del Campus Cuautitlán Campo 1.

PARÁMETRO mg/L excepto*	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	RANGO	PROMEDIO - $\sigma$	PROMEDIO + $\sigma$
SODIO (Na)	173.010	92.650	80.360	96.97	153.602
CLORO (Cl)	178.930	88.150	90.780	84.888	149.666
MANGANESO (Mn)	0.281	0.034	0.247	0.025	0.199
BROMO (Br)	1.523	0.115	1.408	0.0	1.024
NIQUEL (Ni)	NC	NC	NC	NC	NC
ZINC (Zn)	NC	NC	NC	NC	NC
CROMO (Cr)	NC	NC	NC	NC	NC
COBRE (Cu)	NC	NC	NC	NC	NC
ANTIMONIO (Sb)	NC	NC	NC	NC	NC
BARIO (Ba)	NC	NC	NC	NC	NC
PLATA (Ag)	NC	NC	NC	NC	NC
HIERRO (Fe)	NC	NC	NC	NC	NC
CADMIO (Cd)	NC	NC	NC	NC	NC
COBALTO (Co)	NC	NC	NC	NC	NC

NE No existe una moda en los valores obtenidos para este parámetro.  
 NC No calculada. No es posible calcularla con los datos obtenidos.

**TABLA IV.11** Parámetros estadísticos determinados a los valores obtenidos del análisis elemental realizado en el agua residual en los diferentes días de muestreo de la descarga 1 del Campus Cuautitlán Campo 1.

PARÁMETRO mg/L excepto*	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	RANGO	PROMEDIO - $\sigma$	PROMEDIO + $\sigma$
SODIO (Na)	113.050	78.050	35.000	78.758	105.182
CLORO (Cl)	114.720	5.850	108.870	322.345	104.311
MANGANESO (Mn)	0.215	0.054	0.161	0.078	0.184
BROMO (Br)	0.405	0.078	0.327	0.137	43.542
NIQUEL (Ni)	NC	NC	NC	NC	NC
ZINC (Zn)	NC	NC	NC	NC	NC
CROMO (Cr)	NC	NC	NC	NC	NC
COBRE (Cu)	NC	NC	NC	NC	NC
ANTIMONIO (Sb)	NC	NC	NC	NC	NC
BARIO (Ba)	NC	NC	NC	NC	NC
PLATA (Ag)	NC	NC	NC	NC	NC
HIERRO (Fe)	NC	NC	NC	NC	NC
CADMIO (Cd)	NC	NC	NC	NC	NC
COBALTO (Co)	NC	NC	NC	NC	NC

NE No existe una moda en los valores obtenidos para este parámetro.  
 NC No calculada. No es posible calcularla con los datos obtenidos.

**TABLA IV.12** Parámetros estadísticos determinados a los valores obtenidos del análisis elemental realizado en el agua residual en los diferentes días de muestreo de la descarga 2 del Campus Cuautitlán Campo 1.

En lo que se refiere al análisis elemental, su importancia radica en la toxicidad de diversos elementos para los cuerpos receptores, riego de áreas verdes, en la salud pública y para el reactor biológico con el que cuenta el prototipo XXI-2000. Si comparamos los resultados obtenidos con los de agua potable, podemos ver que para cloro y sodio aumenta entre 7 a 8 veces su concentración inicial, lo cual puede deberse a desechos humanos principalmente (puesto que un individuo produce 6 g de sodio aproximadamente), con respecto a manganeso y bromo la concentración media es muy parecida a la encontrada inicialmente, lo cual indica que existe una baja contaminación de estos elementos. De acuerdo al comportamiento que se aprecia en las gráficas correspondientes, los 3 primeros días se tiene una tendencia similar en ambas descargas, mientras que en los últimos días regularmente hay variaciones, por otro lado es evidente, que en la descarga 1, existe mayor cantidad de estos elementos, exceptuando al cloro, que se encuentra en menor cantidad.

De acuerdo al análisis estadístico, existe un rango muy amplio de concentración de estos elementos, además de que el coeficiente de variación refleja su gran variabilidad durante el periodo de muestreo.

Respecto al análisis fisicoquímico, los valores de los parámetros determinados se reportan en las tablas IV.13 y IV.14, su comportamiento gráfico se observa de la figura IV.17 a la IV.41 y el análisis estadístico aplicado se presenta en las tablas IV.16, IV.17, IV.18 y IV.19.

De lo anterior, se observa que en la descarga 1 existe mayor dominancia de los sólidos totales fijos, que representan la fracción inorgánica, sobre los sólidos totales volátiles que equivale a la fracción orgánica; dicha situación es contraria en la descarga 2. Lo anterior se explica considerando que en la primera descarga predominan desechos de laboratorios y en la segunda de tipo domésticos.

Por otro lado, se ven incrementados notablemente con respecto al agua potable, parámetros como dureza de calcio, total, alcalinidad, y cloruros, aunado a ello la presencia de detergentes, nitratos y fenoles, se justifica la gran cantidad de sólidos disueltos y la alta conductividad presentes en ambos sectores.

La alta concentración de nitrógeno total, amoniacal y orgánico se explica por la presencia de materia orgánica en ambas descargas, la cual tiene su origen en evacuaciones humanas y por desechos del material biológico utilizado en el laboratorio. Esta característica favorecerá el proceso biológico con el que cuenta la el Prototipo

Si consideramos que un agua municipal posee regularmente una relación DBO<sub>5</sub>/DQO de hasta 1.5, el agua residual que genera el plantel posee características muy particulares por lo que no puede ser considerada como de tipo municipal, debido a las actividades académicas que se realizan, esto se confirma con la relación obtenida en la tabla IV.15 en los muestreos realizados, pues en promedio es de 2.2 para la descarga 1 y de 2.0 para la descarga 2.

Lo anterior indica que existe una gran cantidad de materia orgánica no biodegradable, para su remoción será necesario realizar las pruebas de tratabilidad correspondientes en el Prototipo XXI-2000.

De acuerdo al análisis estadístico, se observa que las características del agua residual del plantel no muestra valores constantes, pues el coeficiente de variación es bastante alto para la mayoría de los parámetros estudiados, además de que el rango de valores que presentan es muy amplio. Sin embargo, aun así pueden obtenerse medias aproximadas con el fin de conocer la calidad promedio del agua que deben ser consideradas en el diseño de la planta y para establecer comparaciones con la legislación. En lo que se refiere a los límites máximos permisibles, corresponde a la institución cumplir con la Norma Ecológica vigente NOM-002-ECOL-1996. En la tabla IV.20 se presenta la comparación de los valores obtenidos con dicha norma, encontrando que ningún parámetro rebasa los límites establecidos.

PARÁMETRO mg/L excepto*	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
pH <sup>(1)</sup>	9.0	8.8	8.4	8.6	8.6
TEMPERATURA °C <sup>(1)</sup>	21.8	18.1	18.0	22.6	17.5
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA umhos/cm*	1245	1684	1348	1327	1123
TURBIEDAD UTJ*	80	100	90	165	130
S.T.T.	700	770	814	1234	684
S.T.V.	250	290	276	796	214
S.T.F.	450	480	538	438	470
S.D.T.	589	603	631	1111	544
S.D.V.	179	157	124	696	101
S.D.F.	410	446	507	415	443
S.S.T.	111	167	183	123	140
S.S.V.	71	133	152	100	113
S.S.F.	40	34	31	23	27
S.Se. ml/L*	0.20	1.75	0.60	0.60	2.00
GRASAS Y ACEITES	6	13	20	9	18
DETERGENTES	2.14	2.56	2.46	0.46	0.37
CIANUROS	ND	ND	ND	ND	ND
FENÓLES	0.103	0.140	0.016	0.092	0.140
NITRÓGENO TOTAL	113.5	138.0	125.3	110.4	120.2
NITRÓGENO AMONIAICAL	99.3	87.4	73.1	96.3	103.8
NITRÓGENO ORGANICO	14.2	50.7	52.2	14.1	16.4
NITRATOS	4.57	2.30	2.31	4.41	2.89
DBO <sub>5</sub>	104	157	148	113	134
DQO	204	289	379	276	320
ALCALINIDAD	540	693	528	509	535
DUREZA DE CALCIO	96	40	76	80	65
DUREZA TOTAL	144	140	160	152	140
CLORUROS	180	228	270	210	352

- S.T.T. = Sólidos Totales.  
 S.T.V. = Sólidos Totales Volátiles.  
 S.T.F. = Sólidos Totales Fijos.  
 S.D.T. = Sólidos Disueltos Totales.  
 S.D.V. = Sólidos Disueltos Volátiles.  
 S.D.F. = Sólidos Disueltos Fijos.  
 S.S.T. = Sólidos Suspendidos Totales.  
 S.S.V. = Sólidos Suspendidos Volátiles.  
 S.S.F. = Sólidos Suspendidos Fijos.  
 S.Se. = Sólidos Sedimentables.  
 DBO<sub>5</sub> = Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días.  
 DQO = Demanda Química de Oxígeno.  
 ND = No detectado

(1) Valores promedio de la tabla IV.3.

Todos los parámetros excepto pH y temperatura fueron determinados en la muestra compuesta de cada día de muestreo.

**TABLA IV.13 Resultados obtenidos del análisis fisicoquímico realizado en el agua residual en los diferentes días de muestreo de la descarga 1 del Campus Cuautitlán Campo 1.**

PARÁMETRO mg/L excepto*	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
pH* (1)	8.8	8.8	8.6	8.5	8.8
TEMPERATURA* °C (1)	21.3	16.8	17.3	22.1	18.8
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA* umhos/cm*	1165	1671	1401	1455	1376
TURBIEDAD UTJ*	120	110	100	240	220
S.T.T.	652	920	720	762	2062
S.T.V.	250	334	254	270	268
S.T.F.	402	586	466	492	1794
S.D.T.	549	763	552	629	1919
S.D.V.	165	209	130	163	175
S.D.F.	384	554	422	466	1744
S.S.T.	103	157	168	133	143
S.S.V.	85	125	124	107	93
S.S.F.	18	32	44	26	50
S. Se* ml/l*	0.20	1.50	0.50	0.50	0.60
GRASAS Y ACEITES	11	18	18	15	25
DETERGENTES	2.43	5.06	2.24	4.17	0.68
CIANUROS	0.005	ND	ND	ND	ND
FENOLES	0.084	0.227	0.011	0.150	0.050
NITRÓGENO TOTAL	88.2	126.9	135.1	141.2	114.2
NITRÓGENO AMONIAICAL	76.2	94.8	90.3	87.4	78.4
NITRÓGENO ORGANICO	12.0	32.1	44.8	53.8	35.8
NITRATOS	2.12	2.76	2.58	2.91	2.71
DBO <sub>5</sub>	112	355	157	143	153
DQO	320	524	369	391	300
ALCALINIDAD	460	363	533	589	525
DUREZA DE CALCIO	53	36	60	52	88
DUREZA TOTAL	148	160	140	144	208
CLORUROS	120	290	200	252	384

- S.T.T. = Sólidos Totales.  
 S.T.V. = Sólidos Totales Volátiles.  
 S.T.F. = Sólidos Totales Fijos.  
 S.D.T. = Sólidos Disueltos Totales.  
 S.D.V. = Sólidos Disueltos Volátiles.  
 S.D.F. = Sólidos Disueltos Fijos.  
 S.S.T. = Sólidos Suspendidos Totales.  
 S.S.V. = Sólidos Suspendidos Volátiles.  
 S.S.F. = Sólidos Suspendidos Fijos.  
 S.Se. = Sólidos Sedimentables.  
 DBO<sub>5</sub> = Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días.  
 DQO = Demanda Química de Oxígeno.  
 ND = No detectado.

(1) Valores promedio de la tabla IV.4.

Todos lo parámetros excepto pH y temperatura fueron determinados en la muestra compuesta de cada día de muestreo.

**TABLA IV.14 Resultados obtenidos del análisis fisicoquímico realizado en el agua residual en los diferentes días de muestreo de la descarga 2 del Campus Cuautitlán Campo 1.**

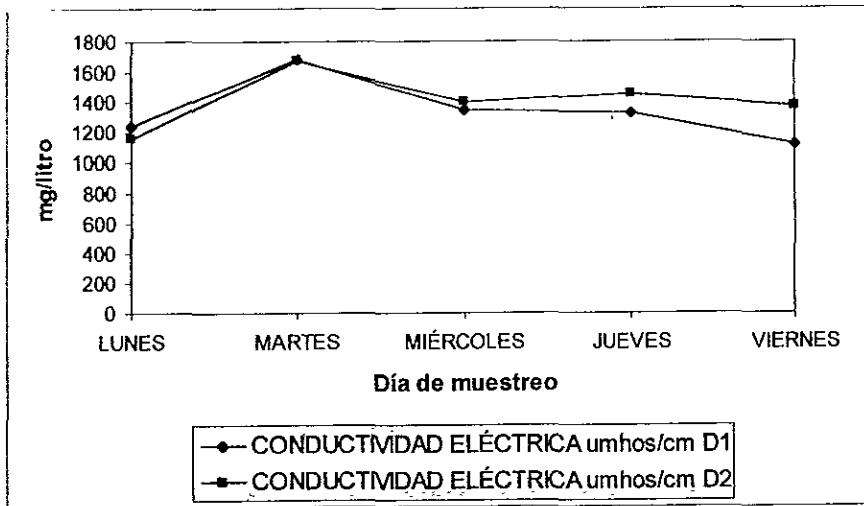


FIGURA IV.17 Gráfica de la variación de la conductividad eléctrica en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.

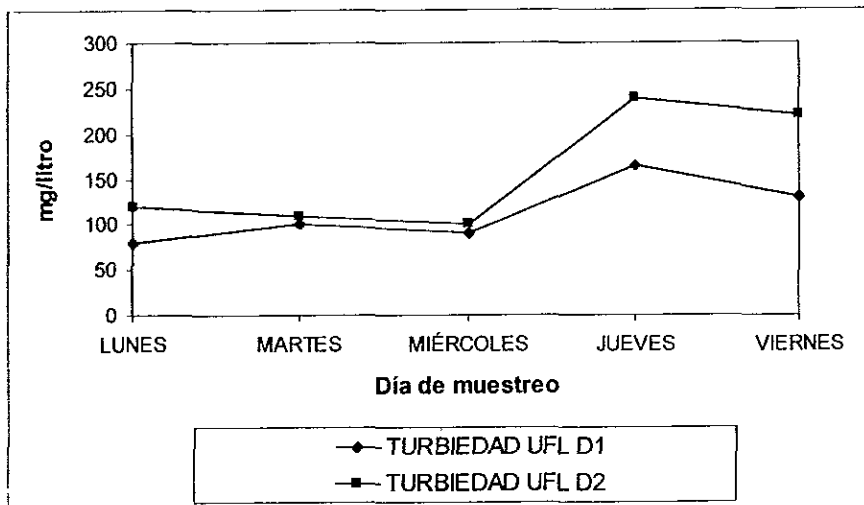


FIGURA IV.18 Gráfica de la variación de la turbiedad en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.

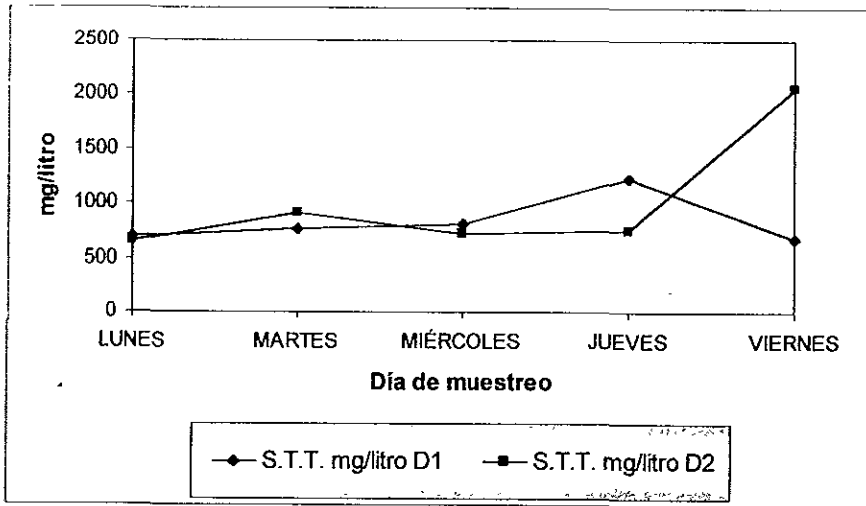


FIGURA IV.19 Gráfica de la variación de los sólidos totales en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.

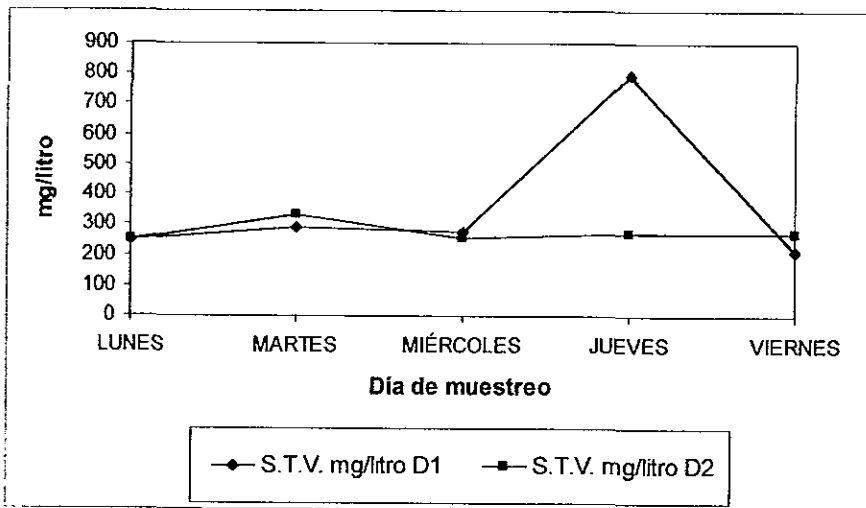


FIGURA IV.20 Gráfica de la variación de los sólidos totales volátiles en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.



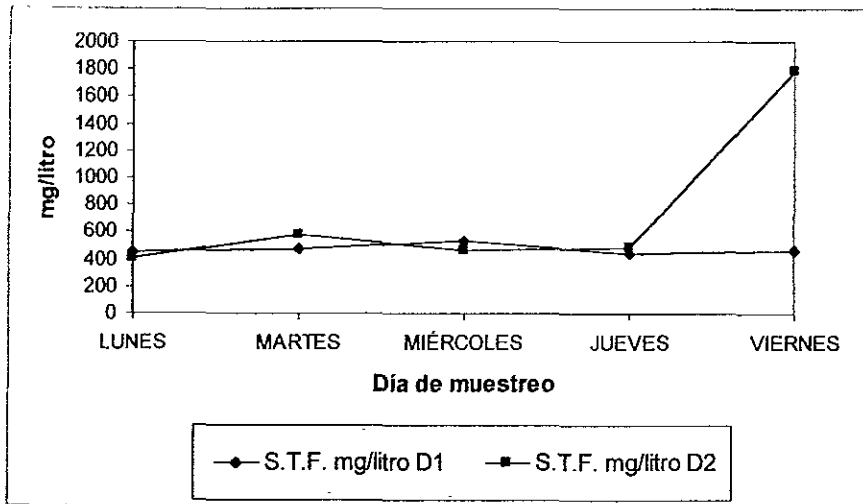


FIGURA IV.21 Gráfica de la variación de los sólidos totales fijos en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.

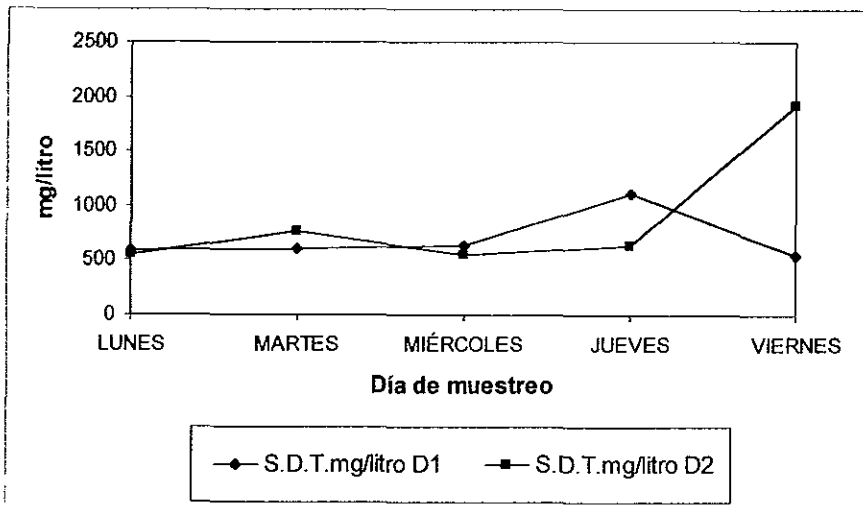


FIGURA IV.22 Gráfica de la variación de los sólidos disueltos totales en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.

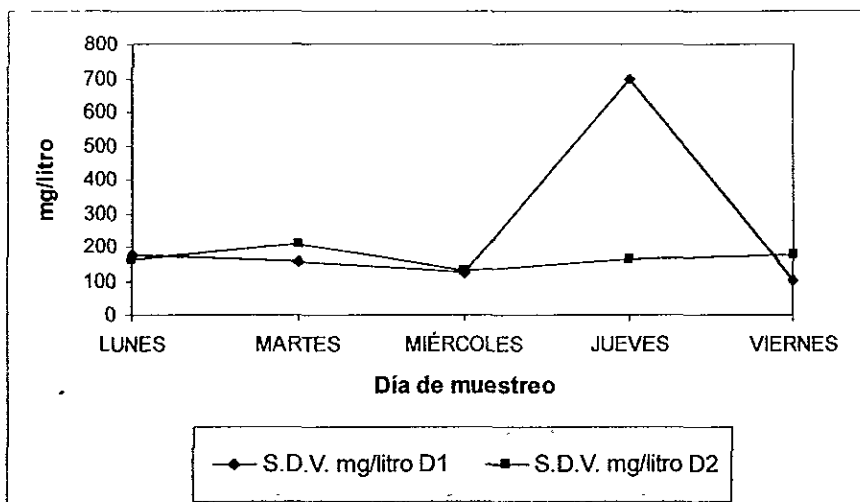


FIGURA IV.23 Gráfica de la variación de los sólidos disueltos volátiles en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.

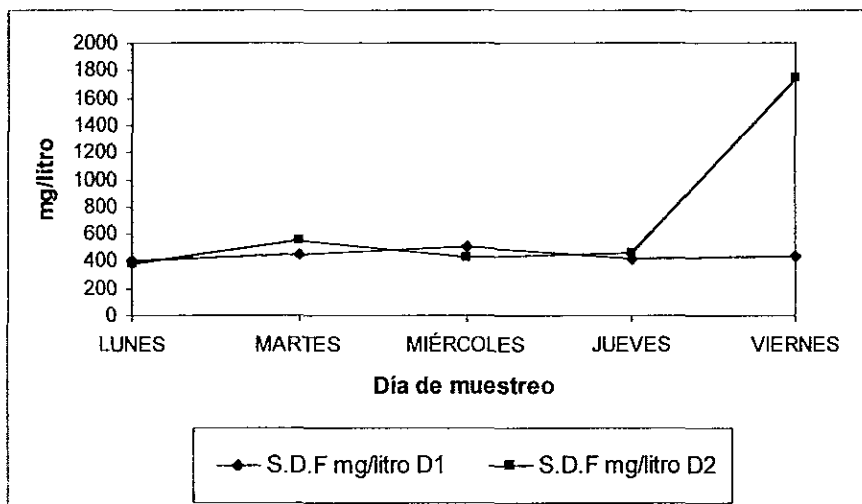


FIGURA IV.24 Gráfica de la variación de los sólidos disueltos fijos en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

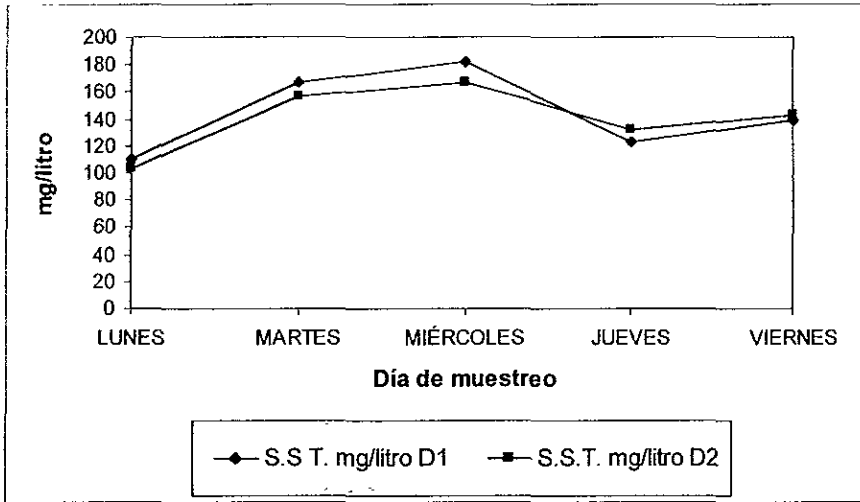


FIGURA IV.25 Gráfica de la variación de los sólidos suspendidos totales en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.

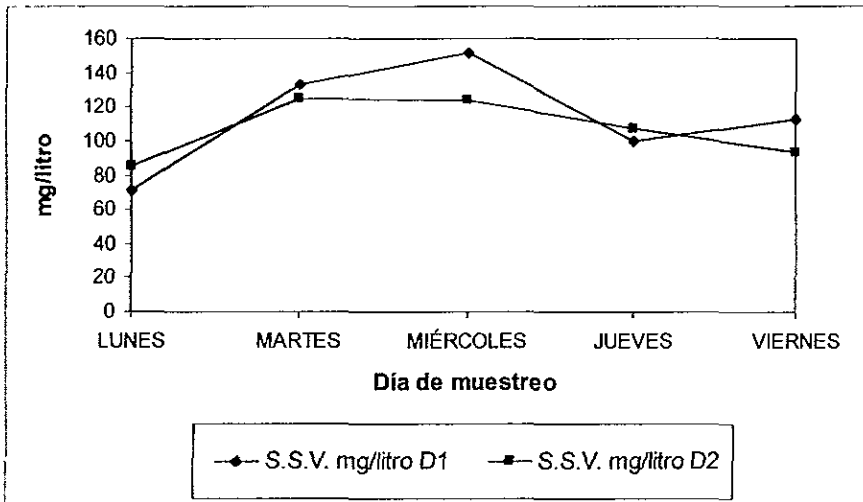


FIGURA IV.26 Gráfica de la variación de los sólidos suspendidos volátiles en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.

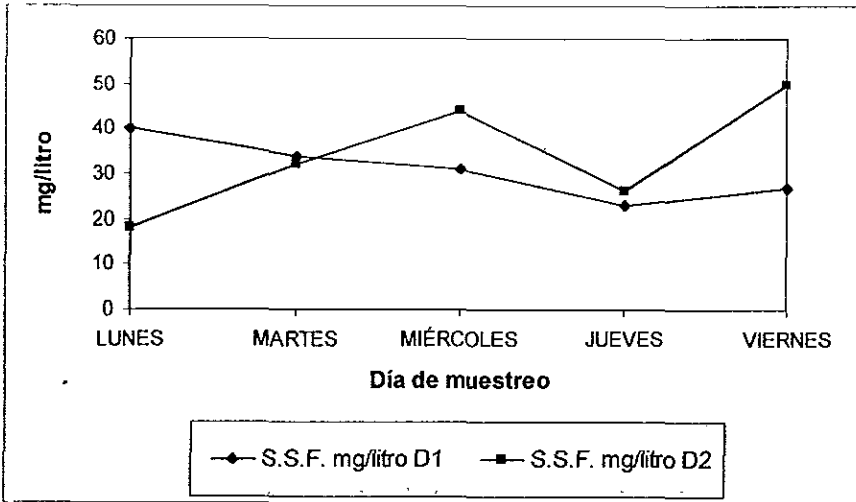


FIGURA IV.27 Gráfica de la variación de los sólidos suspendidos fijos en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.

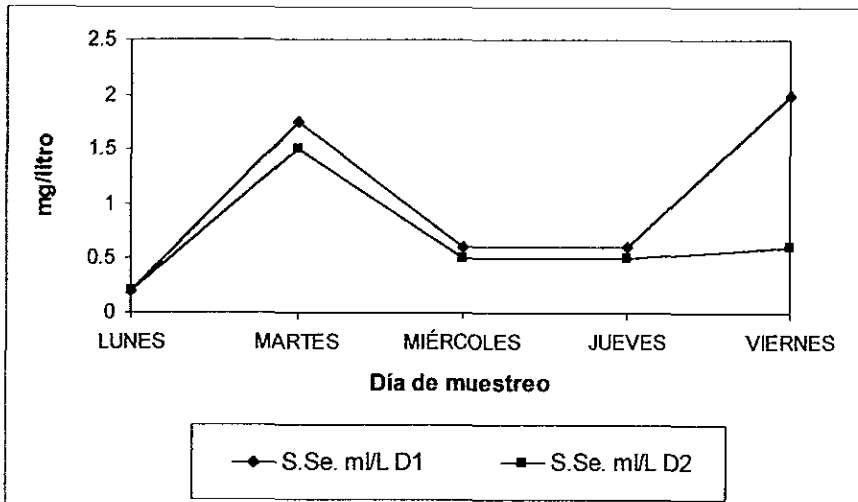


FIGURA IV.28 Gráfica de la variación de los sólidos sedimentables en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.

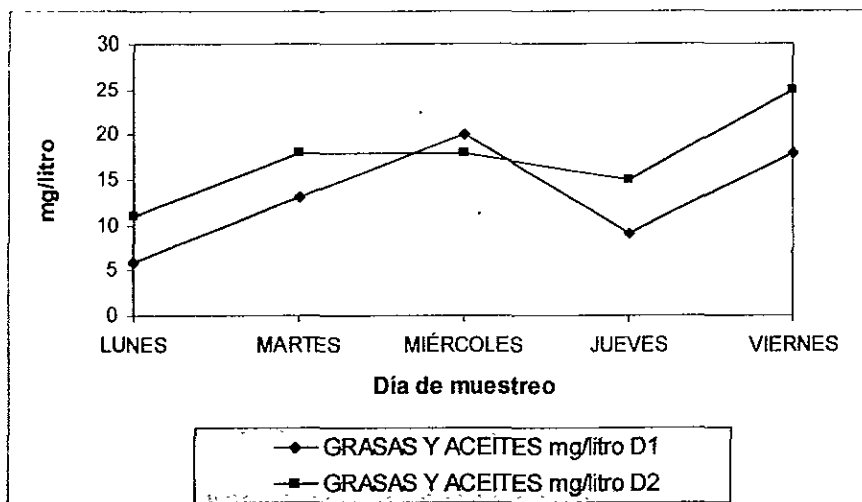


FIGURA IV.29 Gráfica de la variación de las grasas y aceites en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.

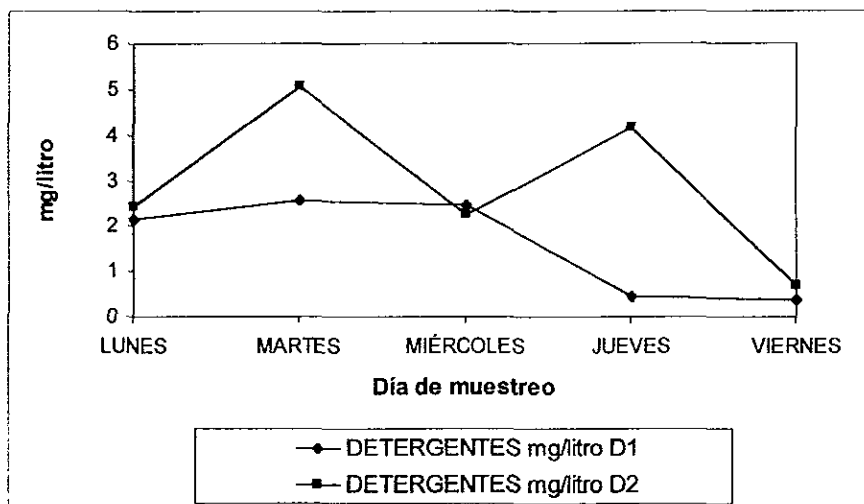


FIGURA IV.30 Gráfica de la variación de los detergentes en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.

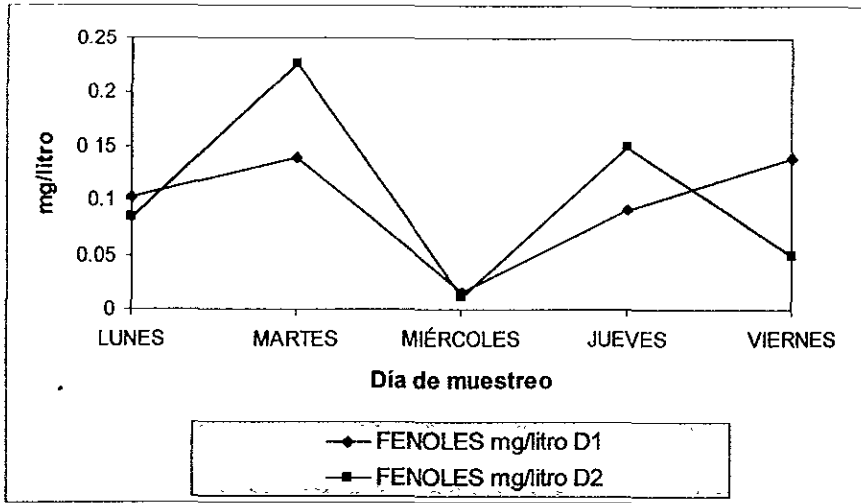


FIGURA IV.31 Gráfica de la variación de los fenoles en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.

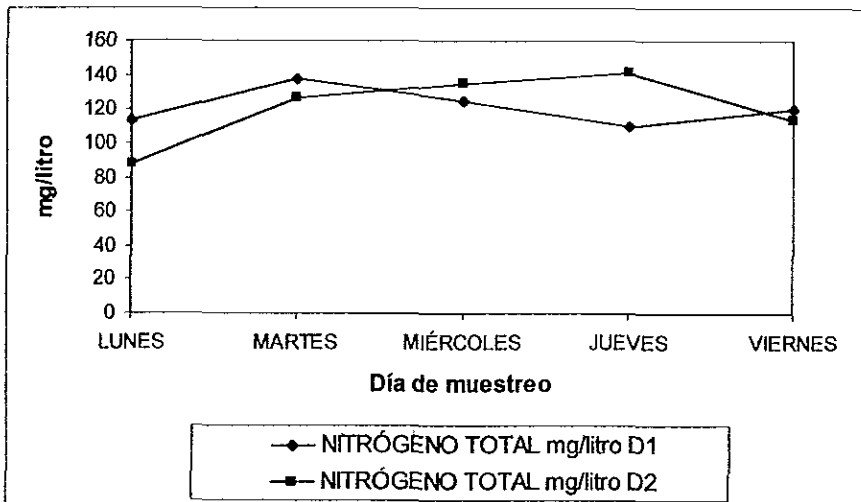


FIGURA IV.32 Gráfica de la variación del nitrógeno total en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.

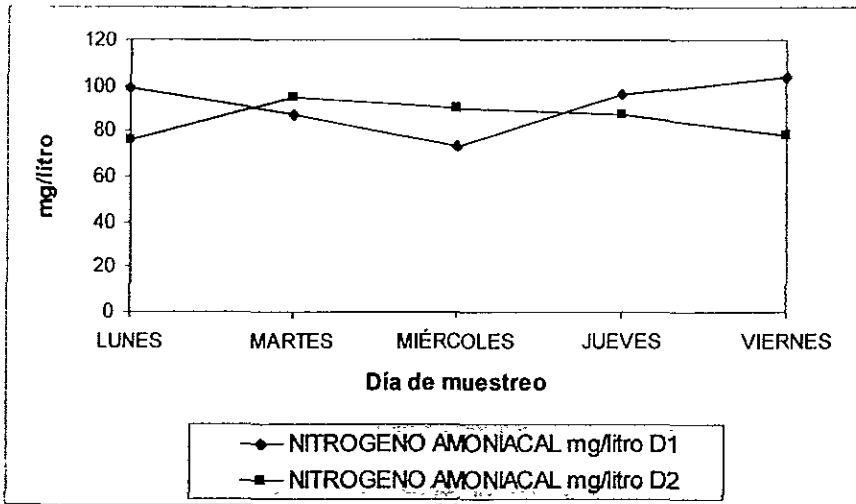


FIGURA IV.33 Gráfica de la variación del nitrógeno amoniacal en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.

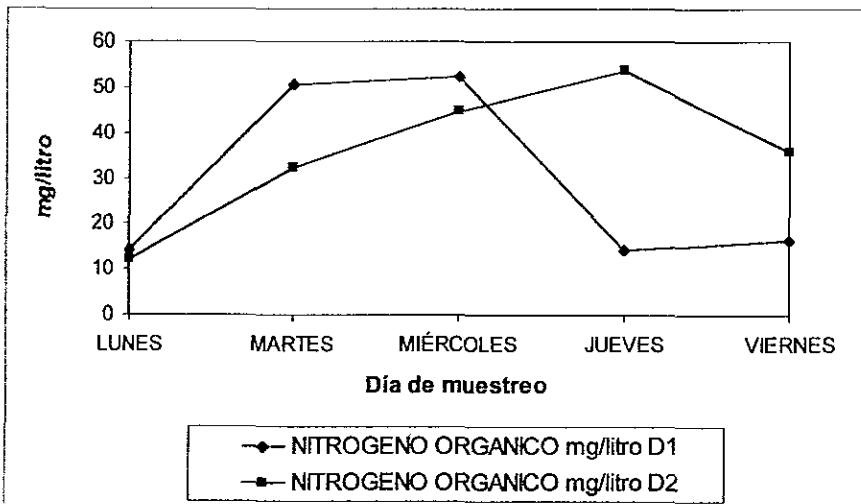


FIGURA IV.34 Gráfica de la variación del nitrógeno orgánico en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.

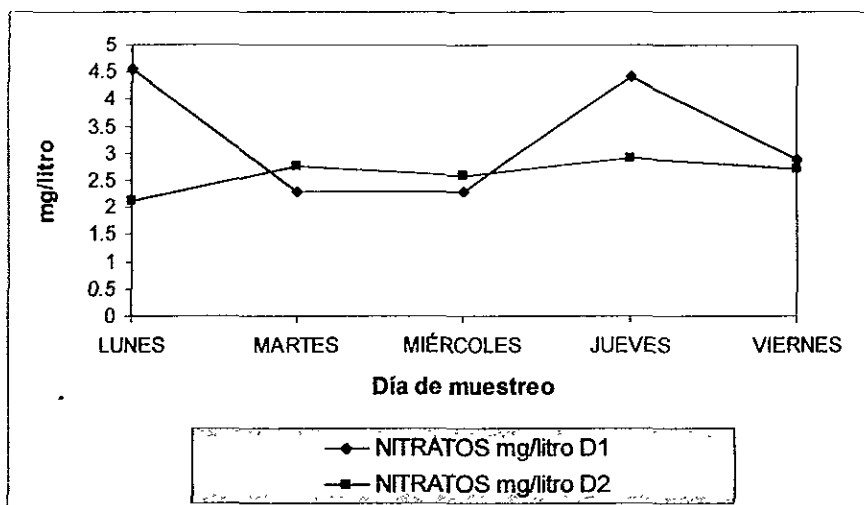


FIGURA IV.35 Gráfica de la variación de los nitratos en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.

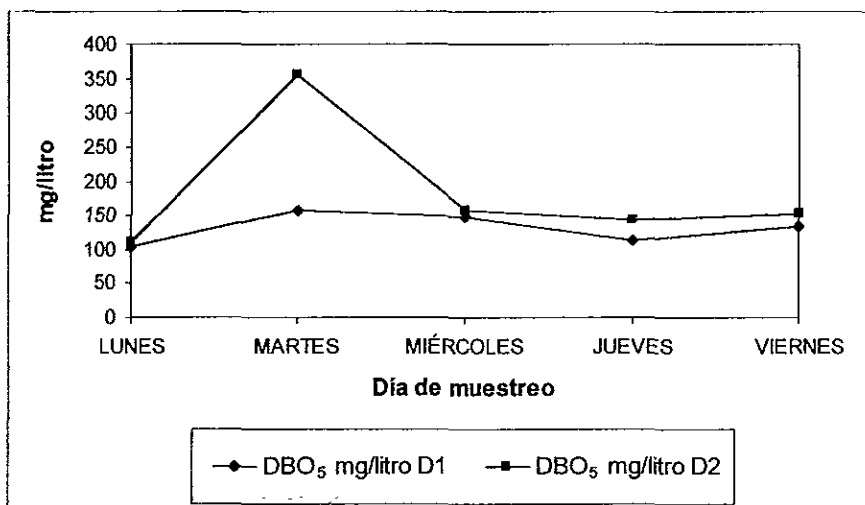


FIGURA IV.36 Gráfica de la variación de la demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.



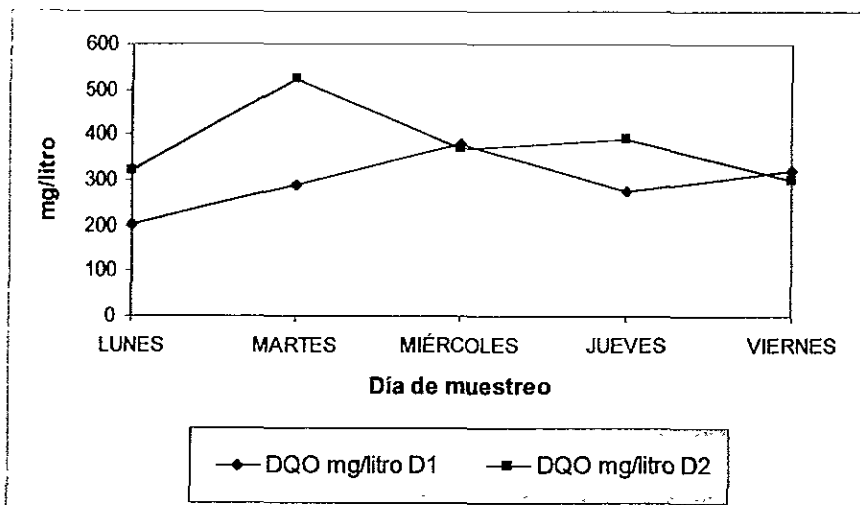


FIGURA IV.37 Gráfica de la variación de la demanda química de oxígeno en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.

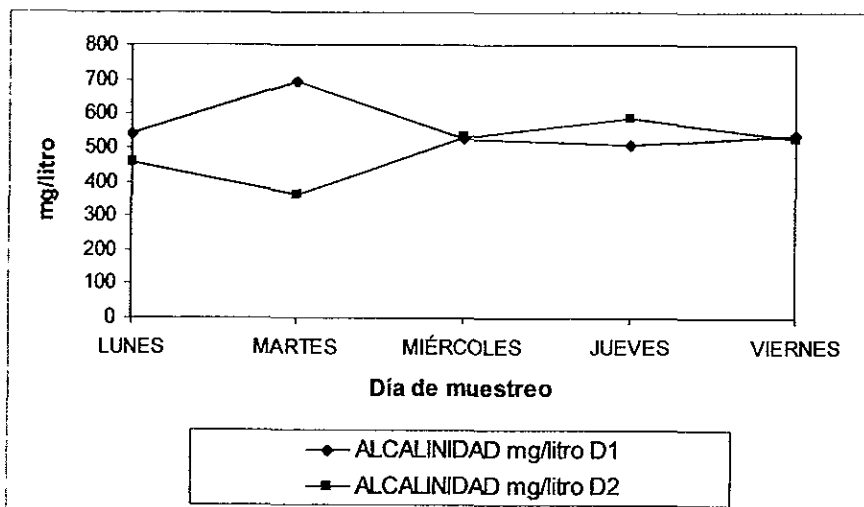


FIGURA IV.38 Gráfica de la variación de la alcalinidad en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.

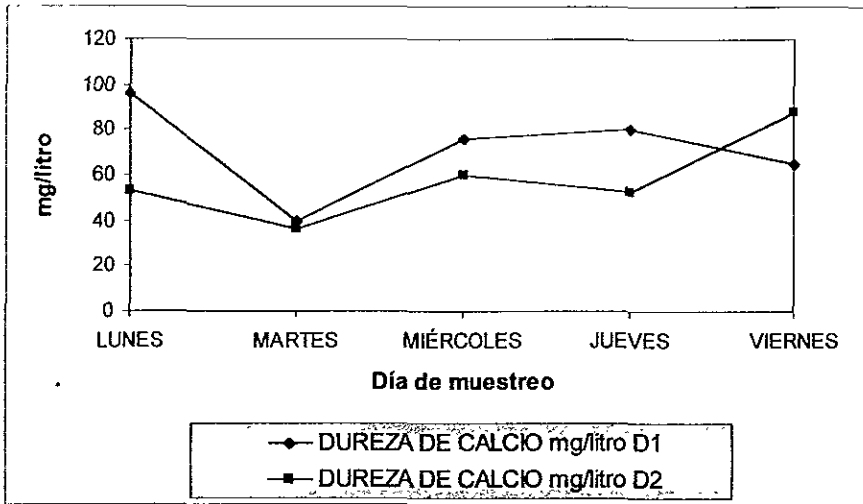


FIGURA IV.39 Gráfica de la variación de la dureza de calcio en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.

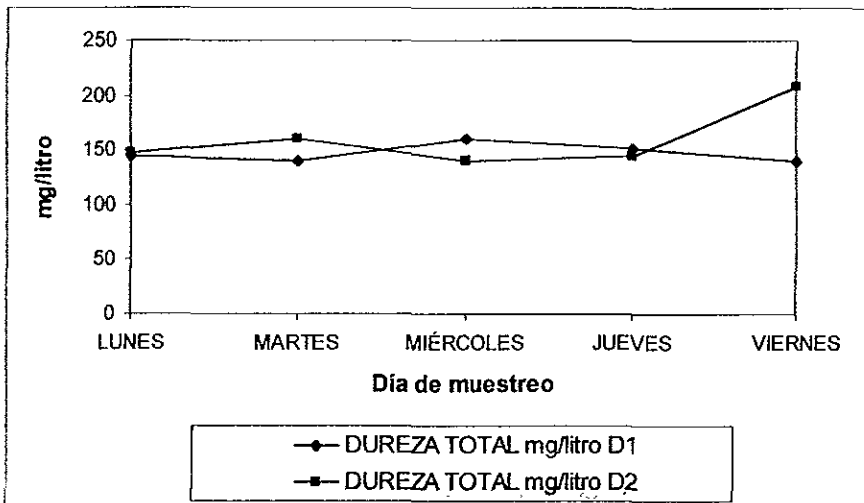


FIGURA IV.40 Gráfica de la variación de la dureza total en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.

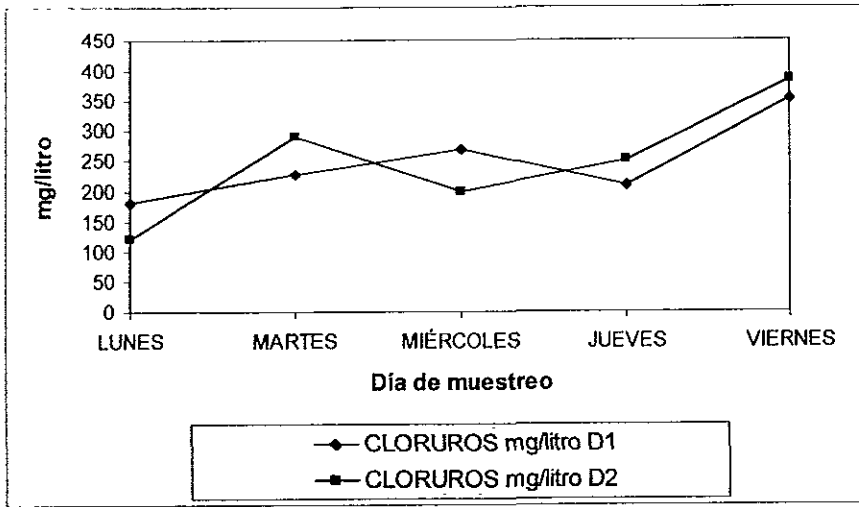


FIGURA IV.41 Gráfica de la variación de los cloruros en los diferentes días de muestreo en la descarga 1 y 2.

Relación DBO <sub>5</sub> /DQO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	PROMEDIO
DESCARGA 1	1.9	1.8	2.5	2.4	2.3	2.2
DESCARGA 2	2.8	1.4	2.3	2.7	1.9	2.0

TABLA IV.15 Relación DBO<sub>5</sub>/DQO para la descarga 1 y 2 del agua residual del Campus Cuautitlán Campo 1.

PARÁMETRO	MEDIA (Promedio mg/L excepto*)	MEDIANA	MODA	$\sigma$	CV
PH <sup>(1)</sup>	8.6	8.6	8.6	0.2	2.6
TEMPERATURA °C <sup>(1)</sup>	19.6	18.1	NE	2.1	11.0
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA umhos/cm*	1345	1327	NE	186	13.9
TURBIEDAD UTJ*	113	100	NE	30	27.4
S.T.T.	840	770	NE	202	24.1
S.T.V.	365	276	NE	216	59.4
S.T.F.	475	470	NE	34	7.3
S.D.T.	695	603	NE	209	30.1
S.D.V.	251	157	NE	223	89.1
S.D.F.	444	443	NE	34	7.8
S.S.T.	144	140	NE	26	18.5
S.S.V.	113	113	NE	3	2.6
S.S.F.	31	31	NE	5	18.8
S. Se <sup>+</sup> ml/l*	1.03	0.60	0.60	0.71	68.9
GRASAS Y ACEITES	13	13	NE	5	39.9
DETERGENTES	1.59	2.14	NE	0.97	61.1
CIANUROS	NC	NC	NC	NC	NC
FENOLES	0.098	0.103	0.140	0.045	46.2
NITRÓGENO TOTAL	121.48	120.20	NE	9.75	8.0
NITRÓGENO AMONIAICAL	91.97	96.30	NE	10.86	11.8
NITRÓGENO ORGANICO	29.52	16.40	NE	17.93	60.7
NITRATOS	3.29	2.89	NE	0.99	30.3
DBO <sub>5</sub>	131	134	NE	20	15.3
DQO	293	289	NE	57	19.5
ALCALINIDAD	561	535	NE	66	11.9
DUREZA DE CALCIO	71	76	NE	18	26.0
DUREZA TOTAL	147	144	140	7	5.3
CLORUROS	248	228	NE	59	24.0

- S.T.T. = Sólidos Totales.  
 S.T.V. = Sólidos Totales Volátiles.  
 S.T.F. = Sólidos Totales Fijos.  
 S.D.T. = Sólidos Disueltos Totales.  
 S.D.V. = Sólidos Disueltos Volátiles.  
 S.D.F. = Sólidos Disueltos Fijos.  
 S.S.T. = Sólidos Suspendidos Totales.  
 S.S.V. = Sólidos Suspendidos Volátiles.  
 S.S.F. = Sólidos Suspendidos Fijos.  
 S.Se. = Sólidos Sedimentables.  
 DBO<sub>5</sub> = Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días.  
 DQO = Demanda Química de Oxígeno.  
 ND = No detectado.  
 NE = No existe una moda en los valores obtenidos para este parámetro.  
 NC = No calculada. No es posible calcularla con los datos obtenidos.  
 (1) Valores promedio de la tabla IV.3.

Todos lo parámetros excepto pH y temperatura fueron determinados en la muestra compuesta de cada día de muestreo.

**TABLA IV.16** Parámetros estadísticos determinados a los valores obtenidos del análisis fisicoquímico realizado en el agua residual en los diferentes días de muestreo de la descarga 1 del Campus Cuautitlán Campo 1.

PARÁMETRO	MEDIA (Promedio mg/L excepto*)	MEDIANA	MODA	$\sigma$	CV
pH <sup>(1)</sup>	8.7	8.8	8.8	0.1	1.6
TEMPERATURA <sup>o</sup> C <sup>(1)</sup>	19.2	18.8	NE	2.1	11.0
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA umhos/cm*	1413	1401	NE	162	11.5
TURBIEDAD UTJ*	158	120	NE	59	37.6
S.T.T.	1023	762	NE	526	51.5
S.T.V.	275	268	NE	30	11.0
S.T.F.	748	492	NE	526	70.4
S.D.T.	882	629	NE	524	59.4
S.D.V.	168	165	NE	25	15.0
S.D.F.	714	466	NE	518	72.6
S.S.T.	140	143	NE	22	15.9
S.S.V.	106	107	NE	16	15.1
S.S.F.	34	32	NE	11	34.3
S. Se* m/l*	0.66	0.50	0.50	0.44	66.8
GRASAS Y ACEITES	17	18	NE	4	26.4
DETERGENTES	2.91	2.43	NE	1.54	52.8
CIANUROS	NC	NC	NC	NC	NC
FENOLES	0.104	0.084	NE	0.076	73.2
NITRÓGENO TOTAL	121.1	126.9	NE	18.7	15.5
NITRÓGENO AMONICAL	85.4	87.4	NE	7.0	8.3
NITRÓGENO ORGANICO	35.7	35.8	NE	14.0	39.3
NITRATOS	2.61	2.71	NE	0.27	10.3
DBO <sub>5</sub>	184	153	NE	86	47.3
DQO	380	369	NE	78	20.7
ALCALINIDAD	494	525	NE	77	15.7
DUREZA DE CALCIO	57	53	NE	17	29.5
DUREZA TOTAL	160	148	NE	24	15.6
CLORUROS	249	252	NE	88	35.4

- S.T.T. = Sólidos Totales.  
 S.T.V. = Sólidos Totales Volátiles.  
 S.T.F. = Sólidos Totales Fijos.  
 S.D.T. = Sólidos Disueltos Totales.  
 S.D.V. = Sólidos Disueltos Volátiles.  
 S.D.F. = Sólidos Disueltos Fijos.  
 S.S.T. = Sólidos Suspendidos Totales.  
 S.S.V. = Sólidos Suspendidos Volátiles.  
 S.S.F. = Sólidos Suspendidos Fijos.  
 S.Se. = Sólidos Sedimentables.  
 DBO<sub>5</sub> = Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días.  
 DQO = Demanda Química de Oxígeno.  
 ND = No detectado.  
 NE = No existe una moda en los valores obtenidos para este parámetro.  
 NC = No calculada. No es posible calcularla con los datos obtenidos.

(1) Valores promedio de la tabla IV.4.

Todos lo parámetros excepto pH y temperatura fueron determinados en la muestra compuesta de cada día de muestreo.

**TABLA IV.17** Parámetros estadísticos determinados a los valores obtenidos del análisis fisicoquímico realizado en el agua residual en los diferentes días de muestreo de la descarga 2 del Campus Cuautitlán Campo 1.

PARÁMETRO mg/L excepto*	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	RANGO	PROMEDIO -σ	PROMEDIO +σ
PH* (1)	9.0	8.4	0.6	8.4	8.8
TEMPERATURA* °C (1)	22.6	17.5	5.1	17.5	21.7
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA umhos/cm*	1684	1123	561	1159	1531
TURBIEDAD UTJ*	165	80	85	83	143
S.T.T.	1234	684	550	638	1042
S.T.V.	796	214	582	149	581
S.T.F.	538	438	100	441	509
S.D.T.	1111	544	567	486	904
S.D.V.	696	101	595	28	474
S.D.F.	507	410	97	410	478
S.S.T.	183	111	72	118	170
S.S.V.	152	71	81	110	116
S.S.F.	40	23	17	26	36
S. Se* ml/l*	2.00	0.20	1.80	0.32	1.74
GRASAS Y ACEITES	20	6	14	8	18
DETERGENTES	2.56	0.37	2.19	0.62	2.56
CIANUROS	ND	ND	NC	NC	NC
FENOLES	0.140	0.016	0.124	0.053	0.143
NITRÓGENO TOTAL	138.0	110.4	27.6	111.73	131.23
NITRÓGENO AMONIAICAL	103.8	73.1	30.7	81.111	102.83
NITRÓGENO ORGANICO	52.2	14.1	38.1	11.59	90.22
NITRATOS	4.57	2.30	2.27	2.3	4.28
DBO <sub>5</sub>	157	104	53	111	151
DQO	379	204	175	236	350
ALCALINIDAD	693	509	183	495	627
DUREZA DE CALCIO	96	40	56	53	89
DUREZA TOTAL	160	140	20	140	154
CLORUROS	352	180	172	189	307

- S.T.T. = Sólidos Totales.  
 S.T.V. = Sólidos Totales Volátiles.  
 S.T.F. = Sólidos Totales Fijos.  
 S.D.T. = Sólidos Disueltos Totales.  
 S.D.V. = Sólidos Disueltos Volátiles.  
 S.D.F. = Sólidos Disueltos Fijos.  
 S.S.T. = Sólidos Suspendidos Totales.  
 S.S.V. = Sólidos Suspendidos Volátiles.  
 S.S.F. = Sólidos Suspendidos Fijos.  
 S.Se. = Sólidos Sedimentables.  
 DBO<sub>5</sub> = Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días.  
 DQO = Demanda Química de Oxígeno.  
 ND = No detectado.  
 NE = No existe una moda en los valores obtenidos para este parámetro.  
 NC = No calculada. No es posible calcularla con los datos obtenidos.

(1) Valores promedio de la tabla IV.3.

Todos los parámetros excepto pH y temperatura fueron determinados en la muestra compuesta de cada día de muestreo.

**TABLA IV.18** Parámetros estadísticos determinados a los valores obtenidos del análisis fisicoquímico realizado en el agua residual en los diferentes días de muestreo de la descarga 1 del Campus Cuautitlán Campo 1.

PARÁMETRO mg/L excepto*	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	RANGO	MEDIA -σ	MEDIA +σ
pH* (1)	8.8	8.5	0.3	8.6	8.8
TEMPERATURA* °C (1)	22.1	16.8	5.3	17.1	21.3
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA umhos/cm*	1671	1165	506	1251	1575
TURBIEDAD UTJ*	240	100	140	99	217
S.T.T.	2062	652	1410	497	1549
S.T.V.	334	250	84	245	305
S.T.F.	1794	402	1392	222	1274
S.D.T.	1919	549	1370	358	1406
S.D.V.	209	130	79	143	193
S.D.F.	1744	384	1360	196	1232
S.S.T.	168	103	65	118	162
S.S.V.	125	85	40	90	122
S.S.F.	50	18	32	23	45
S. Se* ml/l*	1.50	0.20	1.30	0.22	1.1
GRASAS Y ACEITES	25	11	14	13	21
DETERGENTES	5.06	0.68	4.38	1.37	4.45
CIANUROS	0.005	0.005	0.00	NC	NC
FENOLES	0.227	0.011	0.216	0.028	0.18
NITRÓGENO TOTAL	141.2	88.2	53.0	102.4	139.8
NITRÓGENO AMONIAICAL	94.8	76.2	18.6	78.4	92.4
NITRÓGENO ORGANICO	53.8	12.0	41.8	21.7	49.7
NITRATOS	2.91	2.12	0.79	2.34	2.88
DBO <sub>5</sub>	355	112	243	98	270
DQO	524	300	224	302	458
ALCALINIDAD	589	363	226	417	571
DUREZA DE CALCIO	88	36	52	40	74
DUREZA TOTAL	208	140	68	136	184
CLORUROS	384	120	264	161	337

- S.T.T. = Sólidos Totales.  
S.T.V. = Sólidos Totales Volátiles.  
S.T.F. = Sólidos Totales Fijos.  
S.D.T. = Sólidos Disueltos Totales.  
S.D.V. = Sólidos Disueltos Volátiles.  
S.D.F. = Sólidos Disueltos Fijos.  
S.S.T. = Sólidos Suspendidos Totales.  
S.S.V. = Sólidos Suspendidos Volátiles.  
S.S.F. = Sólidos Suspendidos Fijos.  
S.Se. = Sólidos Sedimentables.  
DBO<sub>5</sub> = Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días.  
DQO = Demanda Química de Oxígeno  
ND = No detectado.  
NE = No existe una moda en los valores obtenidos para este parámetro.  
NC = No calculada. No es posible calcularla con los datos obtenidos.

(1) Valores promedio de la tabla IV.4.

Todos lo parámetros excepto pH y temperatura fueron determinados en la muestra compuesta de cada día de muestreo.

**TABLA IV.19** Parámetros estadísticos determinados a los valores obtenidos del análisis fisicoquímico realizado en el agua residual en los diferentes días de muestreo de la descarga 2 del Campus Cuautitlán Campo 1.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES ESTABLECIDOS POR LA NOM-002-ECOL-1996					
PARÁMETROS (mg/litro, excepto cuando se especifique otro)	Promedio mensual	Promedio diario	Instantáneo	Promedio diario de la descarga 1	Promedio diario de la descarga 2
Grasas y Aceites	50	75	100	13	17
Sólidos sedimentables (ml/litro)	5	7.5	10	1.03	0.66
Arsénico total	0.5	0.75	1	NA	NA
Cadmio total	0.5	0.75	1	ND	ND
Cianuro Total	1	1.5	2	ND	ND
Cobre total	10	15	20	ND	ND
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1	NA	NA
Mercurio total	0.01	0.015	0.02	NA	NA
Níquel	4	6	8	ND	ND
Plomo total	1	1.5	2	NA	NA
Zinc total	6	9	12	ND	ND
pH <sup>3</sup>	—	—	5.5-10	—	—
Temperatura (°C) <sup>2,3</sup>	—	—	40	—	—
Materia flotante	Ausente en las descargas de aguas residuales			NA	NA
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Los establecidos en la tabla 2 de la Norma Oficial mexicana NOM-001-ECOL-1996 (tabla 3.21 en este trabajo)			131	184
Sólidos suspendidos totales				144	140

NA No analizado

ND No detectado

1 Determinado para cada una de las muestras simples. Las unidades de pH no deberán estar fuera del intervalo permisible, en ninguna de las muestras simples.

2 Medido en forma Instantánea a cada una de las muestras simples. Se permitirá descargar con temperaturas mayores, siempre y cuando se demuestre a la autoridad competente por medio de un estudio sustentado, que no daña al sistema del mismo.

3 Los resultados obtenidos de pH y temperatura se muestran en la tabla IV.3 y IV.4 para la descarga 1 y 2

**TABLA IV.20 Límites máximos permisibles para contaminantes según la Norma NOM-002-ECOL-1996**



PARAMETROS (miligramos por litro excepto cuando se especifica)	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS*															
	RIOS						AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES	
	EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES			EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES			EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES			EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES			EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES		EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES	
	Uso de riego agrícola (A)	Uso público urbano (B)	Protección de vida acuática (C)	Uso de riego agrícola (A)	Uso público urbano (B)	Uso público urbano (C)	Uso de riego agrícola (A)	Uso público urbano (B)	Uso público urbano (C)	Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)	Recreación (B)	Estuarios (B)	Uso en riego agrícola (A)			
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura (°C)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Grasas y aceites	Au- sen- te	Au- sen- te	Au- sen- te	Au- sen- te	Au- sen- te	Au- sen- te	Au- sen- te	Au- sen- te	Au- sen- te	Au- sen- te	Au- sen- te	Au- sen- te	Au- sen- te	Au- sen- te	Au- sen- te	Au- sen- te
Materia flotante	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Sólidos sedimentables (mil/l)	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	100	175	75	125	75	125
Sólidos suspendidos totales (4)	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	100	200	75	150	75	150
Demanda biológica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25
Nitrógeno total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10
Fósforo total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10

P.D. Promedio diario.  
P.M. Promedio mensual.  
N.A. No aplicable.  
(A), (B) Y (C): Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Derechos de Descargas de Aguas Residuales.  
(1) Instantáneo.  
(2) Inyecta simple promedio ponderado.  
(3) Ausente según Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.  
(4) Límite máximo permisible indicado por la Norma NOM-002-ECOL-1986, para las descargas municipales.  
(5) Límite máximo permisible indicado por la Norma NOM-002-ECOL-1996, para las descargas municipales.

TABLA IV.21 Límites máximos permisibles para contaminantes básicos según Norma NOM-001-ECOL-1996.

## V CONCLUSIONES

- El agua de abastecimiento que recibe el Campus Cuautitlán Campo 1, es apta para consumo, ya que cumple con los criterios de calidad establecidos para agua potable
- Para evaluar el grado de contaminación que presenta el agua residual, se determinó el valor de sus características de tipo físico, químico y elemental, así como el comportamiento de sus caudales, lo cual permitió conocer los flujos máximos y mínimos que deberá operar la planta de tratamiento.
- Se analizaron las variaciones de caudal a corto plazo en época de estiaje, pero deben complementarse con un estudio que comprenda las variaciones estacionales y climatológicas, es decir llevar a cabo un análisis en época de lluvia y tener las consideraciones necesarias en periodo vacacional, pues se debe diseñar la planta con la capacidad de amortiguar las fluctuaciones que se presenten.
- Los parámetros analizados en este trabajo muestran la información que se necesita conocer al diseñar un equipo de tratamiento. Las características evaluadas, así como las que se obtendrán de las pruebas de tratabilidad en el prototipo XXI-2000, sirven para seleccionar el proceso de tratamiento más adecuado.
- Para el agua pluvial debe desarrollarse un sistema de captación adecuada, con el fin de aprovechar este recurso y así mismo minimizar los efectos sobre el proceso en épocas de lluvia.
- El agua residual que se genera en el plantel no rebasa los límites establecidos por la normatividad, sin embargo es necesario aplicar un tratamiento para el aprovechamiento de esta.
- Es de suma importancia para el diseñador de los equipos de depuración conocer las características del agua residual, ya que se identifican en forma precisa cuáles son y en que cantidades se encuentran los contaminantes presentes, información con la que se determina él o los procesos de tratamiento más adecuados para proceder a la eliminación de sustancias indeseables.

**VI BIBLIOGRAFÍA**

1. **A. PONCE M.** (1980) EL REACTOR TRIGA MARK III del Centro Nuclear de México. Serie de Divulgación, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. México.
2. **ALCÁNTARA E.** (1998) Sistema computacional para la estimación preliminar de procesos de tratamiento de aguas residuales industriales. DEPFI, UNAM, Tesis de Maestría.
3. **ALAIN Q. Y LANGRAVE J.** (1994) Curso: Caracterización y Tratamiento de Efluentes Acuáticos Industriales. Programa Universitario del Medio Ambiente. México.
4. **APHA, AWWA, WEF** (1981) Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 13<sup>th</sup> Ed., American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, Washington, D.C.
5. **CASTELLANOS, C.** (1996) Curso de Estadística Básica para el Laboratorio de Control Químico y Validación de Métodos Analíticos, CATEYSA, S.C. México.
6. **CIECCA** (1980) Manual de Análisis de Aguas y Aguas de Desecho, Vol. 1 y 2, 3<sup>a</sup> ed. México
7. **COMISIÓN ESTATAL DE AGUA Y SANEAMIENTO (CEAS)** (1996) Curso: Sistemas de Tratamiento y Diseño de Plantas para depurar Aguas Residuales Municipales e Industriales. México.
8. **CUEVAS G.** (1998) Fermentación de las aguas residuales: Una alternativa para mejorar la eliminación biológica de macronutrientes en reactores discontinuos con biomasa suspendida. DEPFI, UNAM, Tesis de Maestría.
9. **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN NMX-AA-003-1980** Aguas residuales – Muestreo.
10. **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN NMX-AA-004-1977** Aguas - Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales - Método del cono Imhoff.
11. **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN NMX-AA-005-1980** Aguas - Determinación de grasas y aceites - Método de extracción Soxhlet.
12. **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN NMX-AA-007-1980** Aguas - Determinación de la temperatura - Método visual con termómetro.
13. **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN NMX-AA-008-1980** Aguas - Determinación de pH - Método potenciométrico.

14. **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN NMX-AA-014-1980** Cuerpos receptores – Muestreo.
15. **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN NMX-AA-026-1980** Aguas- Determinación de nitrógeno total- Método Kjendahl.
16. **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN NMX-AA-028-1981** Análisis de agua - Determinación de demanda bioquímica de oxígeno (DBO)- Método de incubación por diluciones.
17. **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN NMX-AA-030-1981** Análisis de agua - Determinación de demanda química de oxígeno (DQO) - Método de reflujo de dicromato.
18. **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN NMX-AA-034-1981** Análisis de agua - Determinación de sólidos en agua - Método gravimétrico.
19. **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN NMX-AA-036-1980** Aguas – Determinación de acidez total y alcalinidad total – Método potenciométrico y volumétrico.
20. **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN NMX-AA-038-1981** Análisis de agua – Determinación de la turbiedad en agua – Método Turbidimétrico de la bujía patrón.
21. **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN NMX-AA-039-1980** Aguas – Determinación de sustancias activas al azul de metileno (detergentes) – Método colorimétrico del azul de metileno.
22. **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN NMX-AA-050-1971** Aguas - Determinación de fenoles en agua - Método espectrofotométrico bipirina de la 4-amino-antipirina.
23. **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN NMX-AA-58-1982** Análisis de agua – Determinación de Cianuros – Método Colorimétrico y Titulométrico
24. **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN NMX-AA-072-1981** Análisis de agua– Determinación de dureza – Método volumétrico con EDTA.
25. **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN NMX-AA-073-1981** Análisis de agua– Determinación de cloruros – Método argentométrico.
26. **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN NMX-AA-079-1981** Aguas – Determinación de nitratos – Método espectrofotométrico.
27. **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN NMX-AA-093-1984** Protección al ambiente – Contaminación del agua - Determinación de la Conductividad Eléctrica.
28. **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN NOM-127-SSA1-1994** Agua para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que debe someterse el Agua para su Potabilización.

29. **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN NOM-001-ECOL-1996** Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
30. **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN NOM-002-ECOL-1996** Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
31. **DREISBACH H.** (1983) Manual de Toxicología Clínica. Prevención, Diagnóstico y Tratamiento. El Manual Moderno, México.
32. **EPA** (1974) Development Document for Effluent Limitation Guidelines and New Source Performance Standar for 1974.
33. **EPA** (1992) Protection of Enviromental, 40 Code Federal of Regulations.
34. **FAIR & OKUN** (1976) Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales, Tomo II, Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales. Limusa, México.
35. **FRANK N. KEMMER & JOHN M.C. CALLION** (1990) Tomo I: Manual del Agua: su Naturaleza Tratamiento y Aplicaciones. Mc Graw Hill. México.
36. **GARCÍA R.** (1994) Caracterización total del Agua Potable y Residual de la FES-Zaragoza, Campo 2. Tesis de Licenciatura FES-Zaragoza, UNAM.
37. **GARCÍA R.** (1997). Curso de Muestreo y Preservación de Muestras de Agua Residual y Potable. Comisión Estatal de Agua y Saneamiento. México.
38. **GARCÍA I.** (1974). Dosimetría Química de una Fuente de Irradiación de alta Actividad de Cobalto-60. Tesis de Licenciatura, Universidad Veracruzana.
39. **INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM (II-UNAM)** (1996). Curso para cumplir la NOM-001-ECOL-1996. México.
40. **LEY GENERAL DE EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE (LGEEPA)** (1996), Diario Oficial de la Federación, 13 de Diciembre, México.
41. **METCALF & EDDY** (1996) Ingeniería de las Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. Tomo 1. McGraw Hill. México.
42. **ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS)** (1995) Guías para la Calidad de Aguas Potable. Volumen I, Public Scient, Núm. 481, USA.
43. **RICKARDS J. C. & CAMERAS R. R.** (1990). Las Radiaciones I. El manejo de las radiaciones nucleares. La ciencia desde México. Fondo de Cultura Económica. México.
44. **RODIER J. & RODI** (1981) Análisis de las Aguas Residuales y de Mar. Omega. Barcelona España.

- 45 **ROMERO T. E.** (1992) Recuperación de uranio en roca fosfórica y sus derivados. Tesis de Licenciatura UAEM. Toluca Estado de México.
- 46 **ROMERO QUIROZ J.** (1993) Atlas Ecológico de la Cuenca Hidrográfica del Río Lerma. Gobierno del Estado de México.
- 47 **SNOYINK V.L. & JENKIS D.** (1987) Química del agua. Limusa. México.
- 48 **SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL E INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA (SDSINE)** (1994) México. Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 1993-1994. México, D.F.
- 49 **TRAVESI A.** (1975) Análisis por Activación Neutrónica. Teoría, Práctica y Aplicaciones Publicaciones Científicas de la Junta Nuclear. Madrid.

## VII ANEXOS

## ANEXO I

## MUESTREO

*Toma de muestra simple.*

La metodología y material utilizados para la toma de muestra simple fueron los siguientes:

*Material.*

- Termómetro.
- Embudo de plástico.
- Recipientes de polietileno de 2 litros de capacidad.
- Etiquetas (con el formato que ya se indicó).
- Tijeras.
- Papel pH de escala de 0 a 14.
- Unicel (trozos de 1 cm).
- Baño de hielo.
- Marcador de tinta indeleble.
- 1 vaso de precipitado de 1000 ml.
- 2 vasos de precipitados de 250 ml.
- Una varilla métrica o flexómetro.
- Guantes.
- Lentes de seguridad.
- Cubre boca.
- Bata.
- Hoja de registro de muestreo.
- Calculadora.
- Cronómetro.
- Dispositivo para la toma de muestra.
- Papel absorbente.

*Recipientes:* se utilizaron recipientes de polietileno previamente lavados con HCl al 20 % (ligeramente caliente) y finalmente con agua destilada y desionizada.

*Etiquetas:* Las etiquetas se elaboraron sobre un material adherible a los recipientes de polietileno y utilizando tinta que no se corra al contacto con el agua (indeleble), se anotaron los siguientes datos:

- Fecha y hora
- Descarga
- Número de muestra
- Tipo de muestra.
- Diámetro de tubo (m)
- Distancia de registro a registro
- Tiempo
- Tirante
- pH
- Temperatura °C
- Nombre del responsable

*Hoja de registro:* la hoja de registro se elabora por cada muestreo simple o compuesto. Es un documento que identifica a cada una de las muestras y en el que se anotan de forma ordenada los datos que se recopilan en las etiquetas, además de los resultados de los análisis de laboratorio que se practican.

#### *Equipo.*

- pH-metro de campo.
- Equipo refrigerante con temperatura de 4 °C

#### *Reactivos.*

- Solución buffer de pH 7.
- Agua destilada.



**Procedimiento**

*Parámetros de campo medidos para calcular el caudal.*

- a) Distancia de registro a registro (m).
- b) Diámetro del tubo (m).
- c) Tiempo de recorrido del unicel de registro a registro (segundos).
- d) Tirante del agua introduciendo un flexómetro. (altura del nivel del agua en el tubo, en metros).

*Parámetros de campo estimados para calcular el caudal.*

El caudal se determinó mediante el método de sección y velocidad, para lo cual se estimó la velocidad del agua y el área del tirante:

(a) Velocidad del agua. La ecuación de velocidad es:

$$V = \frac{d}{t}$$

Donde:

*V= velocidad del agua (m/s)*

*d= distancia que recorre el agua (m)*

*t= tiempo que tarda el unicel en recorrer la distancia correspondiente (s)*

(b) Área del tirante. Primero se obtiene el siguiente cociente:

$$x = \frac{h}{D}$$

Donde:

*x= cociente (adimensional)*

*h= tirante (m)*

*D= diámetro del tubo (m)*

El valor de  $x$  se busca en una tabla de áreas de segmentos circulares en la columna  $h/D$ , y se relaciona con el valor de  $A$  (área) que corresponda, este último se multiplica por el diámetro del tubo elevado al cuadrado.

$$A = \lambda (D)^2$$

Donde:

$A =$  área del tirante en  $m^2$

*Medida del caudal.*

El cálculo del caudal se realizó con la siguiente fórmula.

$$Q = A V$$

Donde:

$Q =$  Gasto ( $m^3/s$ )

$V =$  Velocidad ( $m/s$ )

$A =$  Área del tirante ( $m^2$ )

*Toma de muestra*

La muestra se recolectó de forma manual con un dispositivo de toma de muestra que facilitó la tarea, e inmediatamente se guardó en los recipientes de polietileno auxiliándose de un embudo de plástico.

*Parámetros de campo medidos en la muestra.*

Una vez tomada la muestra se agitó para su homogenización, posteriormente se trasladó una fracción de la muestra a un vaso de precipitado de 250 ml y se midieron los siguientes parámetros:

(a) Temperatura ambiente ( $^{\circ}C$ )

(b) Temperatura de la muestra ( $^{\circ}C$ ).

(c) pH

Realizadas dichas determinaciones se regresó el agua residual colectada al recipiente de polietileno, éste se etiquetó perfectamente y colocó en un baño de hielo, guardándolo en un lugar fuera de la exposición de los rayos del sol.

Posterior a la toma de cada muestra se calculó el caudal y junto con los demás parámetros in situ ya medidos, se reportaron en la hoja de registro de muestreo.

Al terminar la toma de muestra se trasladó inmediatamente al laboratorio, donde se preparó la muestra compuesta.

#### ***Preparación de la muestra compuesta.***

Esta muestra se integró por muestras simples cuyo volumen fué proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma.

El volumen de cada una de las muestras simples ( $VMS_i$ ) para formar la muestra compuesta se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$VMS_i = VMC \cdot (Q_i / Q_t)$$

Donde:

$VMS_i$  = volumen de muestra simple.

$VMC$  = volumen de la muestra compuesta necesario para realizar los análisis de laboratorio requeridos.

$Q_i$  = caudal medido en la descarga en el momento de tomar la muestra simple

$Q_t$  = caudal total medido desde  $Q_1$  hasta  $Q_n$

#### ***Material***

- Recipiente de polietileno de capacidad de 5 litros.
- Probeta de 1000 ml.
- Recipientes de vidrio de boca ancha de 1 litro.
- Recipientes de vidrio con capacidad de 500 ml.
- Embudo de plástico.
- Pizeta con agua destilada.

*Reactivos.*

- Ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).
- Ácido nítrico concentrado.

*Procedimiento.*

La muestra compuesta se preparó en forma manual, utilizando el método tiempo constante-volumen proporcional al flujo instantáneo, y se realizó de la siguiente forma:

- a) Se calculó el volumen necesario de cada muestra simple para preparar 5 litros de muestra compuesta.
- b) Se tomó el volumen indicado de cada muestra simple y mezcló en un recipiente de polietileno previamente lavado y etiquetado.
- c) Preparada la muestra compuesta, se trasladaron 1000 ml al recipiente de vidrio de boca ancha y se le adicionó 1 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, tapándolo perfectamente y guardándolo a 4 °C hasta su análisis correspondiente a grasas y aceites.
- d) Se trasladaron 500 ml de la muestra compuesta al recipiente de vidrio de 500 ml y se adicionó 1 ml de  $\text{HNO}_3$  concentrado, se tapó perfectamente y guardó a 4 °C hasta su análisis elemental.
- e) Se conservó la muestra compuesta a 4 °C hasta su análisis fisicoquímico.

## ANEXO II

## FUNDAMENTOS BÁSICOS SOBRE RADIACIÓN

A continuación se describirán los fundamentos básicos del análisis por activación neutrónica, técnica utilizada en este trabajo para llevar a cabo el análisis elemental.

En química nuclear es necesario referirse precisamente a un núcleo más que a un átomo en general. Los isótopos son átomos del mismo elemento químico que tienen el mismo número atómico (número de protones), pero diferente número de neutrones. Cuando se desea hablar de un átomo o núcleo en particular, es decir cualquier núcleo con un número específico de protones y neutrones, se denomina núclido y se utiliza una notación sencilla como sigue:



En donde  $E$  representa el símbolo químico del elemento al cual pertenece al núclido,  $Z$  es el número de protones llamado número atómico,  $N$  es el número de neutrones y  $A$  es el número de masa igual a la suma de neutrones y protones, es decir:  $A=Z+N$ .

**Radiactividad.**

La radiactividad es la propiedad que tienen ciertos elementos de emitir espontáneamente partículas o radiaciones electromagnéticas por desintegración del núcleo atómico, se lleva a cabo en forma espontánea cuando un elemento de la naturaleza sufre una pérdida progresiva de masa, que se convierte en una cantidad equivalente de energía, quedando un núcleo de menor peso, lo cual origina un elemento distinto (transmutación).

Los primeros lugares de la tabla periódica lo ocupan los elementos ligeros en los que su relación neutrón-protón es casi la unidad, es decir, que el número de neutrones es igual al número de protones, por lo tanto son núcleos estables.

La radiactividad natural se presenta generalmente en aquellos elementos que se encuentran ocupando los últimos lugares de la tabla periódica, en donde la cantidad de protones no es igual al número de neutrones. Así por ejemplo, el radio ( $^{226}\text{Ra}$ ) se convierte en radón ( $^{222}\text{Rn}$ ) y luego en diversos isótopos de polonio, bismuto y plomo, cada vez menos pesados, hasta llegar a la forma final del plomo estable,  $^{206}\text{Pb}$ .

No hay ninguna manera de controlar este proceso, que no depende de temperatura, presión ni otras condiciones análogas y cuya velocidad se mide por el periodo de semidesintegración de cada elemento.

Un elemento puede hacerse artificialmente radiactivo cuando se altera la composición del estado de equilibrio de su núcleo, al ser bombardeado con partículas como neutrones en un reactor nuclear, o bien deuteriones, protones o núcleos de helio, en un acelerador.

**Decaimiento radiactivo.**

Los núcleos pueden transformarse unos en otros, o pasar de un estado energético a otro mediante la emisión de radiaciones. Se dice entonces que los núcleos son radiactivos, y se les nombra radionúclidos o radioisótopos. Al proceso que sufre se le denomina decaimiento radiactivo o desintegración radiactiva, que sucede de manera espontánea cuando hay un exceso de masa-energía en el núcleo y la emisión le ayuda entonces a lograr una mayor estabilidad.

Si designamos con  $N$  al número de núcleos radiactivos presentes en una muestra, la velocidad con que disminuyen en función del tiempo se representa como:

$$-\frac{dN}{dt} \dots (1)$$

donde el número de átomos radiactivos  $dN$  que decaen en un intervalo de tiempo  $dt$  es constante para cada especie radiactiva y será igual al producto de  $N$  por la fracción de átomos que se desintegren por unidad de tiempo, es decir:

$$-\frac{dN}{dt} = \alpha N \dots (2)$$

o bien,

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \dots (3)$$

El siguiente término se denomina actividad y se expresa en átomos desintegrados por unidad de tiempo:

$$A = \frac{dN}{dt} \dots (4)$$

entonces

$$A = -\lambda N \dots (5)$$

La cantidad  $\lambda$  se llama constante de decaimiento o de proporcionalidad radiactiva, es específica para cada radionúclido y representa la probabilidad de desintegración. Si se integra la ecuación (3) se expresa el número de átomos radiactivos de la siguiente forma:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \dots (6)$$

donde  $N_0$  es el número de átomos radiactivos que existen inicialmente en la muestra, y  $N$  el número de átomos que quedan después de un tiempo  $t$ . Si la ecuación (6) queda en términos de actividad tenemos que:

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \dots (7)$$

Esta ecuación se conoce como ley del decaimiento radiactivo.  $A_0$  es la actividad inicial de la muestra,  $e$  es la función exponencial, y  $t$  es el tiempo. Al principio del proceso, cuando  $t=0$ , la actividad tiene un valor  $A_0$ . Al transcurrir el tiempo, el valor de  $A$  va disminuyendo, hasta que para tiempos muy grandes casi desaparece. El valor de la constante de decaimiento  $\lambda$  determina que tan rápidamente cae la función exponencial.

#### **Unidades de radiactividad.**

La intensidad de radiactividad a sido considerada en función del número de átomos que se desintegran por unidad de tiempo. La unidad de actividad aceptada en el Sistema Internacional de Unidades es el Becquerel (Bq), que equivale a 1 desintegración/segundo. También se ha usado tradicionalmente como unidad el Curie (Ci), que se define como  $3.7 \times 10^{10}$  desintegraciones / segundo (actividad de un gramo de radio). Los submúltiplos de curie son el milicurie (mCi) y el microcurie ( $\mu$ Ci).

#### **Unidades de energía.**

De acuerdo con la teoría de la relatividad de Einstein, se sabe que existe una equivalencia entre masa y energía dada por la ecuación siguiente:

$$E = mc^2$$



Donde  $E$  es la energía total en un sistema,  $m$  es la masa de 1 u.m.a (unidad de masa atómica,  $1.66 \times 10^{-24}$  g) y  $c$  es la velocidad de la luz ( $3 \times 10^{10}$  cm/s). Al hablar entonces de la masa de un núcleo, nos podemos referir también a su energía equivalente. Una unidad conveniente de energía es el electrón-volt (eV), que se define como la cantidad de energía que adquiere un electrón cuando acelera a través de una diferencia de potencial de un voltio. También se emplea el kiloelectrón-volt (keV) y el megaelectrón-volt (MeV).

$$1 \text{KeV} = 10^3 \text{ eV}$$

$$1 \text{MeV} = 10^6 \text{ eV}$$

### ***Tiempo de vida media.***

Para representar la duración de fuentes radiactivas se ha definido el concepto de vida media, y se representa como  $t_{1/2}$ . La vida media de un radioisótopo, es el tiempo que tarda en reducirse su actividad a la mitad.

Dada la naturaleza de la función exponencial, esta vida media es la misma sin importar el instante en que empieza a contar. Es decir al transcurrir una vida media, la actividad se reduce a la mitad, al transcurrir dos vidas medias se reduce a la cuarta parte, al transcurrir tres vidas medias, se reduce a una octava parte. En general si transcurren " $n$ " vidas medias, la actividad se reduce a una fracción  $1/2^n$  del valor. La constante de decaimiento  $\lambda$  representa la probabilidad de desintegración, por lo tanto, es de esperar que si  $\lambda$  es grande, la vida media es corta, y viceversa, o sea que hay una relación inversa entre la constante de decaimiento y la vida media. Esta relación es la siguiente:

$$t_{1/2} = 0.693/\lambda$$

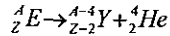
Cada núcleo tiene su vida media propia, y está es otra cantidad que no puede ser alterada por ningún factor externo. Las vidas medias de los isótopos pueden ser desde fracciones de segundos hasta miles de millones de años.

### **Tipos de radiaciones.**

Tres tipos de radiaciones son las emitidas con mayor frecuencia por núcleos radiactivos cuando estos decaen, estas son radiaciones alfa, beta y gamma.

a) *Decaimiento alfa* ( $\alpha$ ).

Un grupo importante de elementos pesados puede decaer emitiendo partículas alfa, que consisten de un agregado de dos protones y dos neutrones. Estas partículas alfa son idénticas a núcleos de helio ( ${}^4\text{He}$ ), por lo que su carga es  $+2e$  y su número de masa es 4. Cuando un núcleo emite una partícula alfa, pierde 4 unidades de masa y 2 de carga, transformándose en otro núcleo. Los números atómicos y de masa deben sumar lo mismo antes y después de la emisión. O sea,

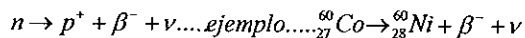


Las partículas alfa emitidas por cualquier radionúclido en particular poseen la misma energía. Debido a este carácter monoenergético, todas las partículas alfa correspondientes a un mismo grupo tienen el mismo alcance o penetración máxima en cualquier medio y son emitidas con energías típicas del orden de 5 MeV.

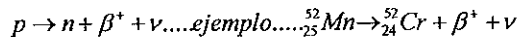
b) *Decaimiento beta* ( $\beta$ ).

Hay dos tipos de decaimiento el de la partícula negativa y el de la partícula positiva. En todo decaimiento beta se emite una nueva partícula, el neutrino ( $\nu$ ). Esta partícula no tiene ni masa ni carga, y por lo tanto no afecta el balance de masa y energía, sin embargo, se lleva parte de la energía disponible en el proceso, quedando la partícula beta con sólo una parte de ésta.

La partícula beta negativa (negatrón) que se emite, es un electrón con su correspondiente masa y carga indistinguible de los electrones de las capas atómicas, la explicación de esta emisión es que un neutrón del núcleo se convierte en un protón y un electrón; el protón resultante permanece dentro del núcleo en virtud de la fuerza nuclear, y el electrón escapa como partícula beta. El número de masa del núcleo resultante es el mismo que el del núcleo original, pero su número atómico se ve aumentando en uno, conservándose así la carga.



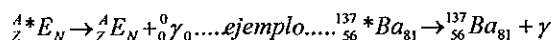
Algunos núcleos emiten partículas beta positivas (positrones) que tienen la misma masa de los electrones, y carga +e, o sea carga electrónica pero positiva. Estas partículas son las antipartículas de electrones. Se crean en el núcleo cuando un protón se convierte en un neutrón. El nuevo neutrón permanece en el núcleo y el positrón es emitido, en consecuencia, el núcleo pierde una carga positiva.



Las partículas beta, tanto positivas como negativas de cualquier radioisótopo, no son emitidas en grupos monoenergéticos, como sucede con las partículas alfa, sino forman un espectro continuo de energías, es decir, los distintos átomos de un radioisótopo emiten partículas beta con energías comprendidas entre 0 y un valor máximo característico, que se acostumbra llamar energía beta máxima ( $E_{\beta\text{máx}}$ ). Las energías de las partículas beta son del orden de 1 MeV.

c) *Decaimiento gamma ( $\gamma$ ).*

Los rayos gamma son fotones, o sea paquetes de radiación electromagnética como la luz visible, ultravioleta, infrarroja, rayos X, microondas y ondas de radio, de los cuales se diferencia únicamente en su longitud de su onda y origen. No tienen masa ni carga, y solamente constituyen energía emitida en forma de onda. En consecuencia cuando un núcleo emite un rayo gamma, se mantiene como el mismo núcleo, pero en un estado de menor energía. Este proceso es análogo a la emisión de luz visible o ultravioleta cuando átomos excitados retornan a su estado base:



Los rayos gamma se emiten con energías perfectamente determinadas, pero en muchos casos se tienen espectros muy complejos debido a que a menudo un mismo radioisótopo emiten varios rayos gamma de diferentes energías. Los rayos gamma son del orden de 1 MeV.

## REACTOR NUCLEAR TRIGA MARK III DEL CENTRO NUCLEAR DE MÉXICO

Un reactor nuclear es un sistema generador de energía, neutrones, rayos gamma y de otro tipo de radiaciones, en donde una reacción en cadena es iniciada y controlada. Se basa en el proceso de fisión nuclear, que consiste en la división en dos partes del núcleo de algunos átomos pesados como uranio y plutonio, cada una de las cuales constituye un nuevo núcleo y va acompañado por la emisión de una gran cantidad de radiactividad y calor. Una vez roto el núcleo, los fragmentos son repelidos por la fuerza eléctrica de sus grandes cargas positivas y se separan con velocidades inmensas. Con este mecanismo se inicia una reacción en cadena en la que cada núcleo fisionado proporciona los neutrones para la siguiente fisión y así sucesivamente.

Los componentes básicos de todos los reactores nucleares son los mismos, estos incluyen:

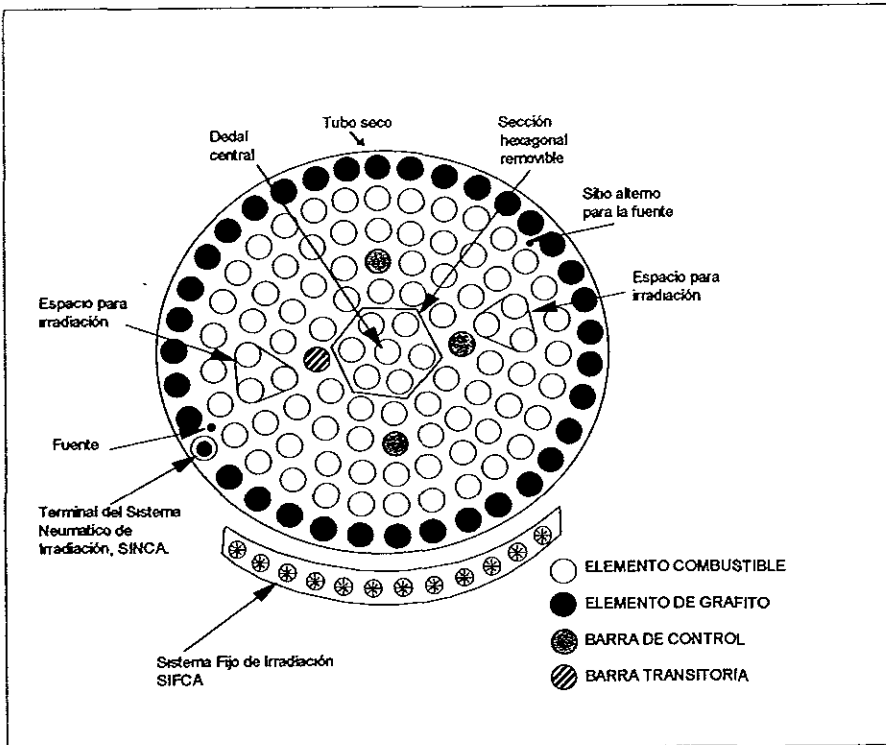
1. Combustible. Contiene cantidades significativas de los isótopos fisionables, como  $^{235}\text{U}$ ,  $^{233}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ , de los cuales el  $^{235}\text{U}$  es el único isótopo natural.
2. Fuente de neutrones.
3. Núcleo contenedor de elementos combustibles.
4. Moderador para termalizar los neutrones. Este puede ser grafito o agua, que frena los neutrones producidos en el proceso de fisión.
5. Refrigerante del combustible. Se usa para extraer el calor generado por la fisión. Este es un fluido para la transferencia de calor, como el agua, sodio líquido, o un gas a presión, que extrae el calor del reactor y lo transfiere a un sistema generador de vapor.
6. Sistema de transporte del refrigerante.
7. Barras de seguridad de control para regular la reacción en cadena. Son aleaciones de acero con cadmio o boro que absorben los neutrones y que se pueden introducir o retirar del reactor a fin de controlar la velocidad de las reacciones.
8. Protectores. Constan de una plantilla térmica interna que protegen las paredes del reactor de los daños de la radiación, y un protector biológico, construido de concreto de alta densidad, para proteger de la radiación a los operadores.
9. Edificio del reactor.

El reactor TRIGA MARK III (Training= entrenamiento, Research=investigación, Isotope production= producción de isótopos, GA= General Atomic) del Centro Nuclear de México, es un reactor tipo piscina, el cual utiliza uranio enriquecido al 20% en  $^{235}\text{U}$  combinado homogéneamente con hidruro de circonio como moderador. La fuente de neutrones es una mezcla de americio-berilio que suministra el nivel necesario de neutrones durante el arranque del reactor. Como reflectores de neutrones, se cuenta con una sección perimetral de elementos de grafito.

Dentro del núcleo del reactor se cuenta con las siguientes posiciones experimentales de irradiación:

- El sistema fijo de irradiación de cápsulas (SIFCA): es útil cuando se requiere irradiar un número grande de muestras simultáneamente a tiempos largos, es decir horas o días. El flujo aproximado es de  $0.99 \times 10^{13}$  neutrones térmicos/cm<sup>2</sup>s.
- El sistema neumático de irradiación de cápsulas (SINCA): se utiliza por la rapidez en que las muestras pueden retirarse del flujo de neutrones, pudiéndose medir radionúclidos con tiempos de vida media de varios segundos. El flujo aproximado es de  $1.32 \times 10^{13}$  neutrones térmicos/cm<sup>2</sup>s.
- El tubo seco: permite irradiar muestras sin tomar demasiadas precauciones para asegurar su hermeticidad, tiene un flujo aproximado de  $1.32 \times 10^{13}$  neutrones térmicos/cm<sup>2</sup>s.

En la figura 1 se presenta un corte transversal del núcleo del reactor donde se encuentran indicadas las posiciones de irradiación anteriormente descritas.



**FIGURA 1** Diagrama de corte transversal del núcleo del reactor TRIGA MARK III indicando las posiciones de irradiación.

## ESPECTROMETRÍA GAMMA.

Las radiaciones corpusculares (partículas alfa y beta) y electromagnéticas (rayos gamma) en posesión de una alta energía adquirida, como consecuencia de una transformación radiactiva, disipan rápidamente su energía por interacción con los átomos del medio que atraviesan.

Las partículas alfa al penetrar la materia producen ionización de estos átomos, pierden una pequeña fracción de su energía en cada ionización producida, frenándose gradualmente hasta llegar al reposo. Cuando su velocidad ya se ha reducido de manera sensible, atrapan electrones del material y finalmente se detienen, constituyendo átomos

de helio. Debido a que son fuertemente ionizantes, pierden su energía cinética pronto, y su alcance en cualquier material es mucho menor que el de las otras radiaciones.

En el caso de las partículas beta, también van perdiendo energía al ionizar y excitar los átomos del material hasta frenarse totalmente, pero con la diferencia de que su alcance no está bien definido como el caso de las alfas.

Los rayos gamma, al no tener carga, no pueden ser fácilmente detenidos al atravesar un material, en consecuencia, dependiendo de su energía, pueden atravesar varios centímetros de un sólido, o cientos de centímetros de aire y depositan allí gran parte de su energía.

La espectrometría gamma consiste en la obtención de un espectro de energías de las radiaciones gamma emitidas por los radionúclidos. En este caso los mecanismos de detección de las radiaciones nucleares se basa en la interacción de los rayos gamma con la materia (figura 2, 3 y 4), los más importantes son:

- a) *Efecto fotoeléctrico.*
- b) *Producción de pares.*
- c) *Efecto Compton.*

a) **Efecto fotoeléctrico (figura 2).** Ocurre cuando un fotón de una energía dada interactúa con un orbital del átomo absorbente. Durante este proceso se pierde toda la energía del fotón, parte de esta energía es usada para desalojar el electrón del átomo y el resto pasa a ser energía cinética del electrón, el cual causa la ionización y excitación posterior en el medio absorbente. Este efecto es el predominante de los rayos gamma con energías menores a 60 keV cuando atraviesa aluminio y menores a 600 keV en plomo.

b) **Producción de pares (figura 3).** En este caso el fotón se transforma en un par electrón-positrón. Como la suma de las masas del par es 1.02 MeV, no puede suceder si la energía del fotón es menor que esta cantidad. Si la energía del fotón original es mayor que 1.02 MeV, el excedente se lo reparten el electrón y el positrón como energía cinética, pudiendo ionizar el material. Por otra parte, los positrones son

partículas inestables y en presencia de materia interaccionan rápidamente con un electrón para aniquilarse mutuamente. Con ello dan lugar a la creación de un par de fotones gamma, cada uno con una energía de 0.511 Mev, emitidos en direcciones opuestas. Cuando los rayos gamma son absorbidos por la materia, su energía es transferida al absorbedor, teniendo lugar los efectos antes descritos. Si se utiliza un detector adecuado, esta energía es transformada en pulsos de corriente eléctrica, cuya altura es proporcional a la energía del rayo absorbido.

c) **Efecto compton (figura 4).** En este proceso un rayo gamma interacciona con un electrón orbital y cede parte de su energía, el fotón se dispersa con una energía menor a una dirección diferente a la de incidencia. Este proceso se lleva a cabo de tal manera que el momento y la energía se conservan, el electrón perderá su energía cinética ionizando los átomos del medio. Este efecto predomina para energías entre 60 keV y 1.5 Mev en aluminio y entre 600 keV y 5 Mev en plomo.

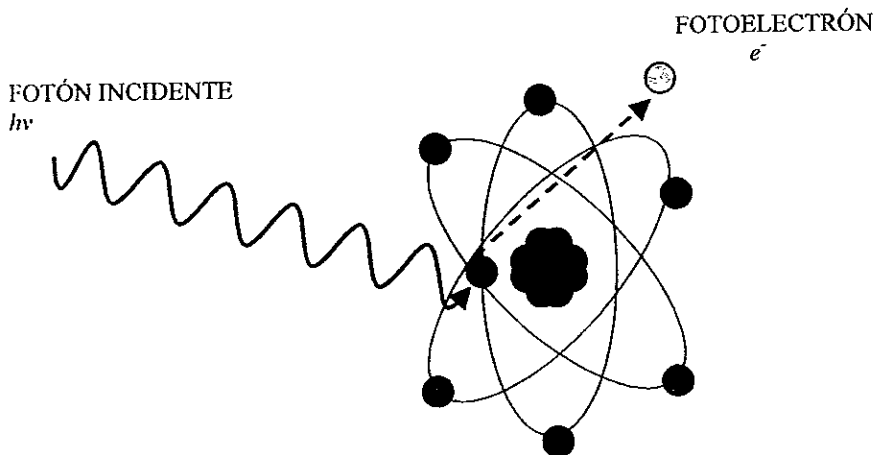


FIGURA 2 Efecto fotoeléctrico



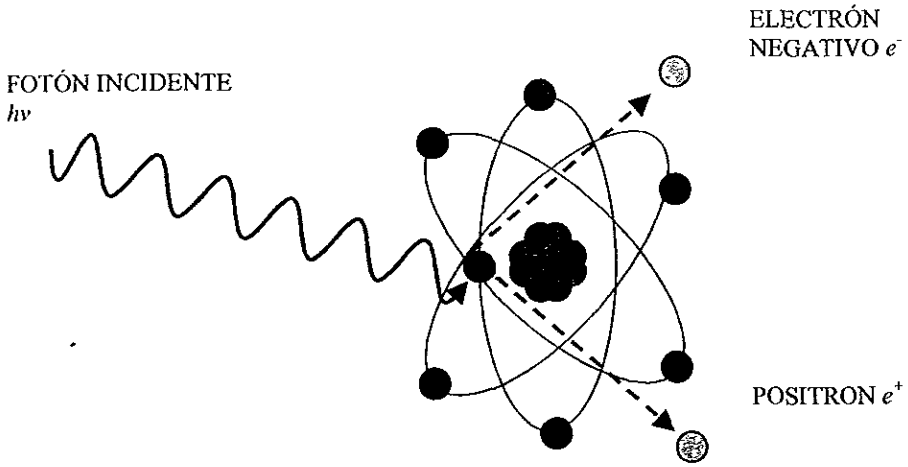


FIGURA 3 Producción de pares

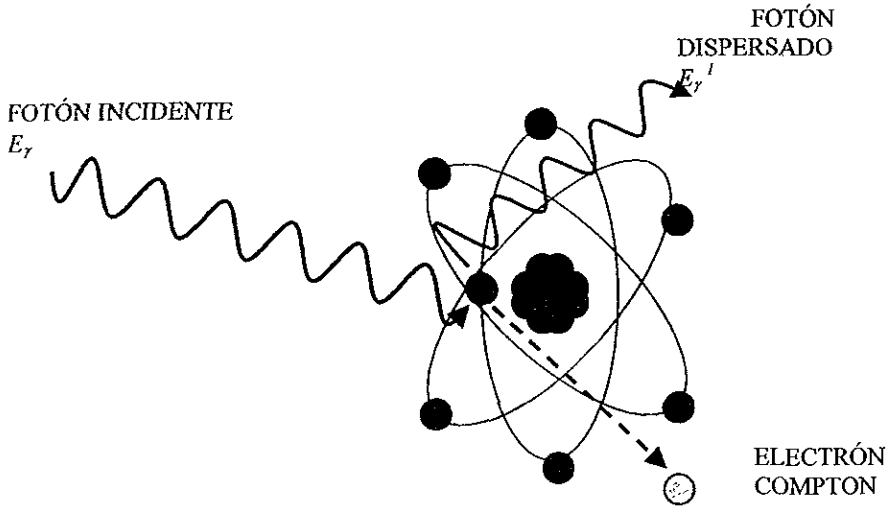


FIGURA 4 Efecto Compton.

## ANÁLISIS POR ACTIVACIÓN NEUTRÓNICA.

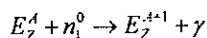
El análisis por activación neutrónica es un método que presenta la ventaja de ser rápido y permitir las determinaciones de varios elementos con una sola activación sobre muestras relativamente pequeñas. Además, el análisis de los elementos puede practicarse cualquiera que sea la forma química bajo la que se encuentra. El análisis por activación se caracteriza por una gran sensibilidad y una buena precisión. Debido a la necesidad de emplear medios importantes, su utilización en hidrología es relativamente reciente. Como se dispone con los medios habituales de posibilidades analíticas muy satisfactorias para la determinación de los elementos presentes en cantidades significativas, su empleo es más particularmente interesante para la determinación de los elementos en estado de trazas, para los que los métodos clásicos alcanzan su límite. Este método es muy útil en ciertos casos delicados de particular contaminación.

### *Principio.*

Método analítico basado en la producción y medida de la radiactividad inducida en los elementos mediante el bombardeo con neutrones. Los isótopos radiactivos específicos que se forman, se pueden identificar y cuantificar por medio de sus propiedades nucleares características, como son el tipo y energía de la radiación emitida y periodo de semidesintegración.

Si un elemento monoisotópico se bombardea con un flujo de neutrones de una energía determinada se produce una reacción nuclear característica con una cierta probabilidad dada por su sección eficaz correspondiente. En el caso de la existencia de varios isótopos del mismo elemento, cada uno de los isótopos sufre la reacción nuclear correspondiente con su respectiva sección eficaz y produciendo un radionúclido de características propias y bien determinadas.

La ecuación de la activación con neutrones de un elemento  $E$  número atómico  $Z$  y de peso atómico  $A$ , se puede escribir así.



O sea, se produce un isótopo del elemento  $E$ , con el mismo número atómico  $Z$ , y de peso atómico una unidad mayor, se dice entonces que es una reacción nuclear ( $n, \gamma$ ).

Los factores que influyen en el valor de la actividad producida y en consecuencia en la sensibilidad del método, se puede dividir en dos tipos:

- Aquellos son independientes del analista, dado que son características de los núclidos que intervienen en el proceso.
- Aquellos que pueden ser variados por el analista para mejorar la sensibilidad.

Entre los primeros están:

(a) La sección eficaz ( $\sigma$ ) de activación característica del isótopo que se bombardea e influye enormemente en la sensibilidad. En consecuencia aquellos elementos con elevadas  $\sigma$  de activación serán capaces de ser determinados con mucha más sensibilidad que aquellos que presentan secciones eficaces bajas.

(b) La abundancia isotópica natural del isótopo que sufre la reacción nuclear, también influye en el mismo sentido que la sección eficaz de activación aunque su margen de variación tiene un límite infinitamente más pequeño, y por tanto su efecto en la sensibilidad es menor.

(c) La cantidad de neutrones bombardeantes, se determina por el flujo existente en las posiciones de irradiación del reactor. El flujo disponible es un factor importante en la sensibilidad analítica.

(d) El peso atómico del elemento irradiado tiene escasa influencia en la sensibilidad, dado que sus variaciones son pequeñas.

El segundo tipo, que depende del analista sólo puede operar con dos factores, el tiempo de irradiación de la muestra y el tiempo de desintegración, es decir el tiempo que transcurre entre el final de la irradiación y la medida de la actividad. Ambos están relacionados con el periodo de semidesintegraciones del radionúclido, que a su vez es independiente del analista y característico del radionúclido producido

En el análisis por activación neutrónica es posible medir la actividad individual de cada núclido en una mezcla de ellos a través de su energía gamma, consta fundamentalmente de dos etapas principales:

- Producción de la actividad mediante la irradiación con neutrones.
- Identificación y medida de la actividad mediante los detectores adecuados.

***Método del comparador o estándar.***

Las medidas cuantitativas se efectúan utilizando el método comparador o estándar que consiste en irradiar simultáneamente con las muestras desconocidas, un peso conocido del elemento a determinar y medir la actividad de la muestra y el comparador, con el mismo detector y en las mismas condiciones de trabajo.

En estas condiciones podemos ver que los parámetros nucleares y de la irradiación son análogos para la muestra y el comparador, así mismo dado que las muestras se han irradiado simultáneamente el mismo tiempo, el flujo neutrónico será el mismo para ambas muestras, debido a que la irradiación se realiza en las mismas posiciones. Considerando lo anterior se obtiene la relación de Boyd:

$$\frac{A_m}{A_c} = \frac{W_m}{W_c}$$

Siendo  $A_m$  y  $A_c$  las actividades relativas, correspondientes a la muestra desconocida y al comparador.  $W_m$  y  $W_c$  son el peso del elemento blanco en la muestra y en el comparador respectivamente.

El método de análisis por activación, utilizando comparadores o estándares es el más utilizado y generalmente aceptado, debido a su simplicidad e independencia de las constantes nucleares del núclido bombardeado y del producto de reacción. Requiere únicamente irradiar simultáneamente los comparadores de peso conocido y la muestra en posiciones donde reciban el mismo flujo neutrónico, y procesar y medir las muestras y los comparadores con el mismo detector y en las mismas condiciones de geometría.

## **ANEXO III**

### **LEGISLACIÓN AMBIENTAL EN MATERIA DE AGUAS RESIDUALES.**

La reglamentación actual sobre las características de las descargas industriales y municipales a los cuerpos receptores, es uno de los principales factores para la selección de uno u otro de los tipos de tratamiento existentes.

En este capítulo se presenta la legislación vigente en México sobre las características de las descargas de aguas residuales, ya que al conocer los límites de las descargas de los distintos contaminantes presentes en un agua residual particular, se puede seleccionar en forma más precisa el proceso de tratamiento para alcanzar la calidad deseada.

### **LEYES Y REGLAMENTOS VIGENTES EN MÉXICO.**

El programa del medio ambiente 1995-2000 tiene como objetivo, frenar las tendencias del deterioro del medio ambiente, ecosistemas, recursos naturales y sentar las bases para un proceso de restauración y recuperación ecológica que permita promover el desarrollo económico y social de México con criterios de sustentabilidad, además de elevar los niveles de cumplimiento de la legislación ambiental a través de una estrategia que se oriente al logro de metas ambientales y que combine una mayor cobertura de las acciones de inspección, vigilancia, el fomento al cumplimiento voluntario de la normatividad y participación social.

Entre los elementos de mayor importancia para determinar hasta que grado debe llevarse a cabo la depuración de un agua residual, ya sea para verterlo a un cuerpo receptor, infiltrarla en el suelo o hacer uso de ella para diversos fines, se encuentran las leyes, reglamentos, acuerdos, técnicas, normas y métodos administrativos contemplados dentro de la Legislación en materia de protección al ambiente.

La legislación existente en México sobre Protección al Ambiente, y específicamente sobre contaminación en materia de agua se rige principalmente por:

- Reglamento para prevenir y controlar la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias (23 de enero, 1979).

- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) (13 de diciembre, 1996).

(a) Título Tercero, Capítulo I: Aprovechamiento racional del agua y los ecosistemas acuáticos.

(b) Título Cuarto, Capítulo II: Prevención y contaminación del agua y ecosistemas acuáticos.

- NOM-001-ECOL-1996 (publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1997). Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales. Que tiene por objeto proteger la calidad de las aguas nacionales y posibilitar su uso benéfico.

- NOM-002-ECOL-1996 (publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de junio de 1998). Que establece los límites máximos permisibles para las aguas residuales tratadas que se rehusen en servicios públicos. Que tiene por objeto controlar los contaminantes no convencionales, para proteger la infraestructura de drenaje y saneamiento, abatir los costos de saneamiento, abatir los costos de tratamiento de agua y lodo residual municipal, proteger la salud humana y prevenir los siniestros.

- NOM-003-ECOL-1996 (publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de septiembre de 1998). Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que rehusen en servicios públicos. Que tiene por objeto proteger la salud de los prestadores de servicios y de los usuarios de dichas aguas.

- Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

Corresponde a los gobiernos de los Estados y Municipios, por sí o a través de sus órganos públicos la aplicación de estas normas

## **Ley General de Equilibrio Ecológico.**

La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, es una ley reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

Esta ley se apoya en diversas entidades y dependencias para la expedición de la normatividad que debe ser pieza básica de una política de regulación ambiental. En forma general, esta legislación abarca los siguientes aspectos sobre el control de la contaminación del agua.

Título Tercero, Capítulo I: Aprovechamiento racional del agua y los ecosistemas acuáticos. Se indican los criterios de aprovechamiento de los recursos hidráulicos existentes en el País así como la explotación racional y controlada de los recursos acuáticos vivos y no vivos; se menciona la necesidad de promover los sistemas de tratamiento de las aguas residuales para asegurar la disponibilidad del agua y abatir los niveles de contaminación.

Título Cuarto, Capítulo II: Prevención y contaminación del agua y ecosistemas acuáticos. Se indican los criterios que deben tomarse en cuenta para la prevención y control de la contaminación del agua, así como las entidades públicas y privadas encargadas de ello. En este Título se establece la necesidad de formular y publicar Normas Técnicas que deberán satisfacer los sistemas de tratamiento de aguas residuales, considerando los criterios sanitarios particulares.

La Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) fija las condiciones particulares de descarga de aquellos que generan aguas residuales captados por sistemas de alcantarillado. Ha expedido, en coordinación con la Secretaría de Agricultura y Recursos hidráulicos (SARH) hoy Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR) y la Secretaría de Salubridad (SSA), las Normas técnicas Ecológicas para el uso o aprovechamiento de las aguas residuales y emite su opinión acerca de las obras destinadas a purificar las aguas residuales de procedencia industrial.

Hace referencia a las condiciones necesarias que las aguas residuales deben reunir para prevenir la contaminación de los cuerpos receptores, interferencias en los procesos de depuración de las aguas y trastornos, impedimentos o alteraciones en el aprovechamiento y la capacidad hidráulica de los cuerpos de agua

En aquellos casos en que el origen de la descarga contaminante provenga de fuentes móviles o plataformas fijas en el mar territorial, la SEMARNAP debe coordinarse con la Secretaría de Marina para la autorización de descarga de las aguas residuales.

### **Reglamento para prevenir y controlar la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias**

Este reglamento tiene por objeto controlar las descargas de desechos al mar, otorgando a la Secretaría de Marina, a través de la armada de México, el poder para el cumplimiento de las disposiciones marcadas, tanto en los aspectos técnicos como en el otorgamiento en los permisos de descarga que sean autorizados.

Las descargas que están reglamentadas, en este caso, son aquellas hechas por buques, aeronaves y plataformas o estructuras similares.

Aquellos permisos de vertimiento que sean autorizados, deben comprobar que las sustancias descargadas se degraden rápidamente en sustancias inocuas, considerando que los procedimientos físicos, químicos o biológicos aplicados previamente, no contaminen ni alteren el sabor de los organismos marinos comestibles, con la finalidad de que no representen un peligro a la salud del hombre o a la de los animales domésticos.

### **Normas Mexicanas (NMX) y Normas Oficiales Mexicanas (NOM).**

En la Legislación Mexicana se contempla la elaboración y aplicación de las llamadas normas NOM y las NMX, las cuales tienen como finalidad, entre otras funciones, establecer la forma de muestreo de las aguas residuales, la calibración de los aparatos de medición usados, los métodos de análisis aplicados y los límites máximos de descarga para las aguas residuales municipales e industriales en función del uso y del tipo del cuerpo receptor.



## ANEXO IV

## DEFINICION DE TERMINOS

**Aguas pluviales:** Aquellas que provienen de las lluvias, se incluyen las que provienen de la nieve y el granizo.

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

**Aguas residuales de proceso:** Las resultantes de la producción de un bien o servicio comercializable.

**Aguas residuales domésticas:** Las provenientes del uso particular de las personas y del hogar.

**Autoridad competente:** Los Gobiernos de los Estados, del Distrito Federal, y de los Municipios, por sí o a través de sus organismos públicos que administren el agua.

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

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

**Cuerpo receptor:** Corrientes, depósitos naturales de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas, cuando puedan contaminar el suelo o los acuíferos.

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

**Efluente:** fluido que ingresa a un sistema.

**Eutroficación:** Envejecimiento acelerado de un cuerpo de agua.

**Influente:fluido** que sale de un sistema

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

**Muestra compuesta:** La que resulta de mezclar el número de muestras simples, según en lo indicado de la especificación de las Normas Oficiales Mexicanas, NOM-001-ECOL-1996 y NOM-001-ECOL-1996.

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

**Parámetro:** variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad física, química y biológica del agua.

**Promedio diario (P.D.):** Es el valor que resulta del análisis de una muestra compuesta, tomada en un día representativo del proceso generador de la descarga.

**Promedio mensual (P.M.):** Es el valor que resulte de calcular el promedio ponderado en función del caudal de los valores que resultan del análisis de laboratorio practicados al menos a dos muestras compuestas, tomadas en días representativos de la descarga en un período de un mes.

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

**Sistemas de alcantarillado urbano o municipal:** Es el conjunto de obras y acciones que permiten la prestación de un servicio público de alcantarillado, incluyendo el saneamiento, entendiendo como tal la conducción, tratamiento, alejamiento y descarga de las aguas residuales.

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