



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

## REMOCIÓN DE COLIFORMES Y METALES EN AGUAS RESIDUALES MEDIANTE DIATOMEAS.

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A:

PLÁCIDO MEZA BAZÁN



DIRECTOR DE TESIS:  
DRA. MARÍA DEL ROSARIO ITURBE  
ARGÜELLES

Ciudad Universitaria, México, 2013





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



**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

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
FING/DICyG/SEAC/UTIT/108/13

Señor  
PLÁCIDO MEZA BAZÁN  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso la profesora DRA. MARÍA DEL ROSARIO ITURBE ARGÜELLES, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

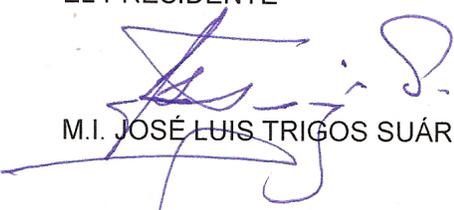
**"REMOCIÓN DE COLIFORMES Y METALES EN AGUAS RESIDUALES MEDIANTE DIATOMEAS"**

- I. INTRODUCCIÓN
- II. OBJETIVOS
- III. MARCO TEÓRICO
- IV. METODOLOGÍA
- V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN
- VI. CONCLUSIONES
- VII. RECOMENDACIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 28 de agosto del 2013.  
EL PRESIDENTE

  
M.I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JLTS/MTH\*gar.

## ***AGRADECIMIENTOS***

A mis PADRES, Gloria Bazán Rico y Plácido Meza Estrada, que han sido una inspiración y que me han brindado de su cariño durante toda mi vida, ustedes que siempre me han dado su apoyo incondicional para poder alcanzar mis metas, ustedes que han realizado un arduo esfuerzo para hacer de mí una persona de bien y que con su ejemplo me han guiado para formarme profesionalmente.

A mis AMIGOS y COMPAÑEROS, quienes me brindaron un gran apoyo y con ello fueron partícipes de la consecución de mis objetivos durante mi vida de estudiante, principalmente a aquellos quienes estuvieron durante los buenos y malos momentos que compartimos dentro y fuera del aula.

A mis PROFESORES, quienes son los pilares de todo profesionista y cuya labor no puede pasar desapercibida, en especial a todos aquellos quienes formaron mi carácter y me hicieron ser mejor profesionista y sobre todo mejor persona.

A Jesús Flores, quien me ofreció su apoyo, dirección y amistad, por haberme dado la oportunidad de trabajar con él, y poder conocer como persona, he impulsarme a seguir adelante.

A mi tutora la Dra. Rosario Iturbe Argüelles por dejarme ser parte de su equipo de trabajo y por apoyarme en todos los aspectos para hacer posible mi titulación. No tengo más que halagos a su persona y un infinito agradecimiento por todas las facilidades que me ofreció durante mi estancia en el Instituto de Ingeniería.

Al Instituto de Ingeniería de la UNAM, por impulsar a los estudiantes a realizar y llevar a cabo proyectos de investigación, donde podemos participar libremente y aprender gracias al apoyo académico que nos proporcionan.

Al Instituto de Geología de la UNAM, por contribuir con los análisis de laboratorio necesarios para la realización de esta tesis y su imprescindible labor como apoyo académico.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) por su apoyo a los estudiantes y principalmente a este proyecto de investigación que fue la base de mi tesis de licenciatura.

Finalmente las palabras no me alcanzan para agradecer a mi casa de estudios la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) que desde que me recibió como alumno es un orgullo ser parte de ella y a la cual asumo el compromiso ineludible de representarla de manera honrosa y siempre poner su nombre en lo mas alto. Es por eso que hoy y siempre...



***“Empieza haciendo lo necesario, después lo posible, y de repente te encontrarás haciendo lo imposible.” – San Francisco de Asís***

# ÍNDICE

CONTENIDO	PÁGINAS
Índice	I
Lista de Imágenes	IV
Lista de Tablas	V
Resumen	VII
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1. OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
1.1 Objetivo general	3
1.2 Objetivos específicos	3
1.3 Alcances	4
1.4 Hipótesis	4
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>5</b>
2.1 Antecedentes	5
2.2 Agua y su calidad en México	7
2.3 Aguas residuales	12
2.3.1 Definición y clasificación de aguas residuales	12
2.3.2 Contaminantes de las aguas residuales	14
2.3.3 Sistemas de tratamiento de aguas residuales en México	14
2.3.4 Usos de las aguas residuales	17
2.3.5 Normatividad en materia de aguas residuales	18
2.4 Indicadores microbiológicos de la calidad del agua	19
2.4.1 Límites permisibles de las características bacteriológicas	20
2.5 Metales pesados en agua	21
2.5.1 Plomo	21
2.5.2 Cobre	22
2.5.3 Cadmio	23
2.5.4 Arsénico	23

---

2.5.5 Principales fuentes de emisión	23
2.5.6 Límites permisibles para metales en agua potable	25
2.6 Efectos para la salud y el medio ambiente	27
2.7 Tierra de diatomeas (Diatomita)	29
2.7.1 Origen	29
2.7.2 Modificaciones y componentes	32
2.7.3 Mn- Diatomita	33
2.7.4 Utilización para purificar agua	34
2.7.5 Utilización para remoción de metales pesados	35
2.7.6 Filtros de Diatomita	36
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA</b>	<b>39</b>
3.1 Experimentación en el laboratorio	39
3.1.1 Materiales y equipos	42
3.1.2 Procedimiento	45
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>51</b>
4.1 Análisis de resultados . Primera parte ( Coliformes)	51
4.2 Análisis de resultados. Segunda parte ( Metales pesados)	59
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES</b>	<b>67</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>69</b>

---

---

Bibliografía	71
Anexo 1 “Técnica de la membrana filtrante”	75
Anexo 2 “Técnica de Mn-diatomita”	81
Anexo 3 “Normas mexicanas”	83
Anexo 4 “Resultados de Laboratorio por ICP- OES”	106

---

## LISTA DE IMÁGENES

<b>Imagen No.</b>	<b>Contenido</b>	<b>Páginas</b>
<b>Imagen 2.1.</b>	Valores medios anuales de los componentes del ciclo hidrológico de México.	7
<b>Imagen 2.2.</b>	Acuíferos sobreexplotados y no sobreexplotados del territorio nacional (2009).	10
<b>Imagen 2.3.</b>	Distribución de volúmenes concesionados para usos agrupados consuntivos 2011.	10
<b>Imagen 2.4.</b>	Calidad del agua según el indicador de DBO <sub>5</sub> .	11
<b>Imagen 2.5.</b>	Principales procesos de tratamiento de aguas residuales en México (2010).	16
<b>Imagen 2.6.</b>	Micrografía de la tierra de diatomeas (magnificación 1960X).	30
<b>Imagen 3.1.</b>	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Edificio 12 del Instituto de Ingeniería.	39
<b>Imagen 3.2.</b>	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Edificio 12 del Instituto de Ingeniería.	40
<b>Imagen 3.3.</b>	Influente de la toma de muestras. Fosa séptica de la (PTAR Edificio 12)	41
<b>Imagen 3.4.</b>	Probeta #1 con un empaque de Mn-diatomita de 5 cm.	41
<b>Imagen 3.5.</b>	Propiedades geométricas de la probeta de experimentación.	45
<b>Imagen 3.6.</b>	Reactor de PVC que funge la función de depósito del agua residual cruda.	46
<b>Imagen 3.7.</b>	Se muestran las 3 probetas del experimento de filtración.	47
<b>Imagen 3.8.</b>	Conteo de Coliformes fecales mediante diluciones.	48
<b>Imagen 3.9.</b>	Conteo de Coliformes totales mediante diluciones.	48
<b>Imagen 4.1.</b>	Comparación de remoción de Coliformes fecales.	57
<b>Imagen 4.2.</b>	<i>Comparación de remoción de Coliformes totales.</i>	58
<b>Imagen 4.3.</b>	<i>Comparación NOM-003-SEMARNAT-1997 (parametro Arsénico)</i>	64
<b>Imagen 4.3.</b>	<i>Comparación NOM-003-SEMARNAT-1997 (parametro Cadmio)</i>	64
<b>Imagen 4.3.</b>	<i>Comparación NOM-003-SEMARNAT-1997 (parametro Cobre)</i>	65
<b>Imagen 4.3.</b>	<i>Comparación NOM-003-SEMARNAT-1997 (parametro Plomo)</i>	65

**LISTA DE TABLAS**

<b>Tabla No.</b>	<b>Contenido</b>	<b>Páginas</b>
<b>Tabla 2.1.</b>	Valores medios anuales de los componentes del ciclo hidrológico de México.	8
<b>Tabla 2.2.</b>	Análisis típico del agua residual municipal.	13
<b>Tabla 2.3.</b>	Principales procesos de tratamiento de aguas residuales en México (2010).	15
<b>Tabla 2.4.</b>	Reúso del agua residual en México, 2009	17
<b>Tabla 2.5.</b>	Límites permisibles de características bacteriológicas	20
<b>Tabla 2.6.</b>	Límites permisibles de características químicas. Los límites se expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad.	25
<b>Tabla 2.7.</b>	Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros.	26
<b>Tabla 2.8</b>	Composición típica de la Tierra de diatomeas	33
<b>Tabla 2.9.</b>	Tipos de materiales filtrantes	37
<b>Tabla 4.1.</b>	Resultados para 30 minutos de filtrado y 5 cm de empaque	51
<b>Tabla 4.2.</b>	Eficiencias de remoción para 30 minutos de filtrado y 5 cm de empaque	52
<b>Tabla 4.3.</b>	Resultados para 2 horas de filtrado y 5 cm de empaque	52
<b>Tabla 4.4.</b>	Eficiencias de remoción para 2 horas de filtrado y 5 cm de empaque	53
<b>Tabla 4.5.</b>	Resultados para 8 horas de filtrado y 5 cm de empaque	53
<b>Tabla 4.6.</b>	Eficiencias de remoción para 8 horas de filtrado y 5 cm de empaque	53
<b>Tabla 4.7.</b>	Resultados para 30 minutos de filtrado y 10 cm de empaque.	54
<b>Tabla 4.8.</b>	Eficiencias de remoción para 30 minutos de filtrado y 10 cm de empaque.	54

---

<b>Tabla 4.9.</b>	Resultados para 2 horas de filtrado y 10 cm de empaque.	55
<b>Tabla 4.10.</b>	Eficiencias de remoción para 2 horas de filtrado y 10 cm de empaque.	55
<b>Tabla 4.11.</b>	Resultados para 8 horas de filtrado y 10 cm de empaque.	55
<b>Tabla 4.12.</b>	Eficiencias de remoción para 8 horas de filtrado y 10 cm de empaque.	55
<b>Tabla 4.13.</b>	Limites de detección instrumentales para cada elemento solicitado.	59
<b>Tabla 4.14.</b>	“Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público <b>NOM-003-SEMARNAT-1997.</b> ”	59
<b>Tabla 4.15.</b>	Resultados de la columna 1 con empaque de Tierra de diatomeas natural de 5 cm de espesor.	60
<b>Tabla 4.16.</b>	Resultados de la columna 2 con empaque de Tierra de diatomeas natural de 5 cm de espesor.	60
<b>Tabla 4.17.</b>	Resultados de la columna 3 con empaque de Tierra de diatomeas natural de 5 cm de espesor.	61
<b>Tabla 4.18.</b>	Resultados de la columna 1 con empaque de Mn-diatomita de 5 cm de espesor	62
<b>Tabla 4.19.</b>	Resultados de la columna 2 con empaque de Mn-diatomita de 5 cm de espesor	62
<b>Tabla 4.20</b>	Resultados de la columna 1 con empaque de Mn-diatomita de 5 cm de espesor	63
<b>Tabla 4.21</b>	Resumen de resultados del empaque de Mn-diatomita de 5 cm de espesor	63

---

## RESUMEN

El agua es considerada un recurso importante y escaso en muchos países alrededor del mundo, en particular; la contaminación del agua superficial y subterránea debida a contaminantes microbiológicos y con metales pesados son una preocupación. Las descargas descontroladas a la red municipal son la principal fuente de organismos patógenos tales como coliformes totales y fecales; mientras que industrias como la metalúrgica, cerámica, vidriera, minera y la manufactura de acumuladores son consideradas las principales fuentes de metales pesados hacia el medio ambiente, los cuales son una preocupación a la salud publica.

Actualmente existen una gran cantidad de procesos de tratamiento de aguas residuales para remoción de microorganismos patógenos y metales pesados, tales como; precipitación química, filtros de membrana, intercambio iónico, coagulación y carbón activado entre otros, pero es debido a su alto costo asociado con su producción e implementación que no pueden ser implementados en los lugares necesarios. Es debido a estas circunstancias que se investigo las características físicas y químicas de la tierra de diatomeas como medio filtrante.

En el presente trabajo se evaluó la calidad del agua del influente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Edificio 12 del Instituto de Ingeniería de la UNAM y los efluentes de los filtros de tierras de diatomeas mediante parámetros microbiológicos establecidos en las normas **NOM-127-SSA1-1994** y **NOM-001-SEMARNAT-1996**.

Otra parte de la experimentación consistió en evaluar la calidad del efluente de los filtros de tierra de diatomeas natural y tierra de diatomeas modificada con Manganeso (Mn- Diatomita) mediante parámetros químicos establecidos en la norma **NOM-003-SEMARNAT-1997**.

Los resultados obtenidos en los parámetros microbiológicos nos muestran un porcentaje de remoción de coliformes totales y fecales de 90 a 99.9 % en los primeros 30 minutos de filtrado, sin importar el grosor del empaque de tierra de diatomeas. Con el paso del tiempo se observo una ligera perdida de su capacidad de remoción arrojando valores de

remoción de 85.38 a 99.9 % en coliformes fecales y de 89.68 a 99.9 % en coliformes totales, esto para un grosor de empaque de 5 cm de tierra de diatomeas; ya que con un empaque de 10 cm los porcentajes son más constantes y van de 96.69 a 99.8 % .

Finalmente pasadas 8 horas de filtración el empaque de 5cm de tierra de diatomeas presenta una perdida considerable en su capacidad de remoción para coliformes fecales con porcentajes de remoción de 7.93 a 57.14 %, y se mantiene mas constante en remoción de coliformes totales con porcentajes de remoción de 70.37 a 89.63 %. En el caso del empaque de 10 cm, este presenta muy buenos porcentajes de remoción para ambos parámetros microbiológicos que van de 82 a 91.85%.

El análisis indica que la tierra de diatomeas tiene una alta capacidad de remoción de coliformes totales y fecales pero es necesario más de un proceso de filtración para lograr alcanzar los limites máximos permisibles de las normas **NOM-127-SSA1-1994** y **NOM-001-SEMARNAT-1996**, ya que el 100 % de los resultados esta muy por encima de estas.

En cuanto al análisis de los resultados de la parte de metales pesados, se investigo la adsorción de los iones  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  y  $As^{3+}$  en los efluentes de las columnas para comprobar la eficiencia teórica que posee la Tierra de diatomeas.

Los resultados de la adsorción de la Tierra de diatomeas natural nos mostraron una gran capacidad para adsorber el ion  $As^{3+}$  con un porcentaje de remoción superior al 99.9 % con lo que 2 de las 3 columnas están por debajo de la norma **NOM-003-SEMARNAT-1997**, los demás iones presentan gran capacidad de adsorción, pero insuficiente para alcanzar los limites de la norma; los iones  $Cu^{2+}$  y  $Pb^{2+}$  presentan porcentajes de adsorción del 81.41 al 87.08 % y del 78.98 al 93.75 % respectivamente y el ion  $Cd^{2+}$  es el que posee el menor porcentaje ya que va del 61.59 a 62.91 % .

Los mejores resultados se presentaron con la Tierra de diatomeas modificada químicamente con manganeso (Mn-Diatomita) ya que en las 3 columnas de experimentación se presentaron porcentajes de adsorción superiores al 99.98 % y solo el ion  $As^{3+}$  de la columna 1 no cumple con los limites de la norma **NOM-003-SEMARNAT-1997**. Por lo que se demuestra que la modificación química realizada a la Tierra de diatomeas con manganeso, realmente incrementa su capacidad de adsorción y la coloca como un nuevo medio filtrante muy efectivo y económico.

# INTRODUCCIÓN

La escasez de agua afecta a todos los continentes y a cuatro de cada diez personas en el mundo (OMS). La situación está empeorando debido al crecimiento de la población, el desarrollo urbanístico, el aumento del uso del agua con fines industriales y domésticos y sobre todo por la falta de tratamientos eficaces que remuevan en gran medida los contaminantes que afectan la salud humana y el medio ambiente.

En México, se enfrentan problemas de disponibilidad no solo por la falta de agua sino también debido a la mala calidad de sus fuentes. La calidad se ve afectada por el fenómeno de la contaminación. Los principales contaminantes son los de origen antropogénico, en estos se incluye la materia orgánica y los organismos patógenos que están presentes en las descargas de aguas residuales municipales. Los contaminantes inorgánicos, en particular los iones de metales pesados, están constituyendo un serio problema para la población humana debido a que la mayoría de los metales pesados son conocidos por ser tóxicos y poseer agentes cancerígenos.

Es debido a la contaminación que se plantea el objetivo de investigar el uso de nuevos materiales y técnicas de remoción de organismos patógenos (coliformes) y iones de metales pesados en agua residual y medios acuosos, bajo el concepto de mantener un equilibrio y siendo amigables con el medio ambiente.

En las últimas décadas, la adsorción ha ganado importancia como una técnica efectiva de purificación y separación. Los sistemas de adsorción están siendo utilizados como procesos de tratamiento, debido a que producen un agua de buena calidad, conteniendo una baja concentración de componentes orgánicos e inorgánicos disueltos. Un problema que se presenta es que los materiales adsorbentes convencionales tales como carbón activado, silica gel, junto con otros, no son materiales biodegradables.

La tierra de diatomeas es un adsorbente biodegradable y se encuentra en depósitos minerales. La tierra de diatomeas están formadas de los restos de las algas diatomáceas, las cuales crecieron y fueron depositados en mares y lagos.

La tierra de diatomeas posee características físicas únicas. Su alta permeabilidad, porosidad y gran superficie específica son las principales características que la hacen

especial para un sistema de tratamiento. Aunque, posee una única combinación de propiedades físicas y químicas, su uso como adsorbente en el tratamiento de aguas residuales no ha sido investigado ampliamente.

La tierra de diatomeas puede ser una opción para el tratamiento del agua residual debido a su bajo costo y fácil manejo en comparación con el carbón activado, cuyo uso como medio adsorbente para un gran número de materiales orgánicos e inorgánicos, incluyendo metales pesados, no es adecuado en lugares con problemas de agua contaminada, debido a los altos costos y regeneración del carbón.

En esta investigación, la tierra de diatomeas fue ocupada como medio filtrante de aguas residuales.

Es debido a la falta de tratamientos accesibles y de fácil aplicación que se llevó a cabo esta investigación, donde el uso alternativo de los nuevos materiales de bajo costo para remover contaminantes están siendo requeridos con urgencia, como una solución para resolver el problema de disponibilidad de agua a nivel mundial.

# CAPÍTULO 1

## OBJETIVOS

### 1.1 Objetivo General

---

Evaluar la influencia de la tierra de diatomeas a nivel laboratorio en la remoción de coliformes totales y fecales en aguas residuales, así como de cuatro metales pesados.

### 1.2 Objetivos específicos

---

- ❖ Evaluar experimentalmente la tierra de diatomeas en la remoción de dos microorganismos patógenos en un agua residual.
- ❖ Evaluar experimentalmente la tierra de diatomeas en la remoción de cuatro metales: cobre, cadmio, plomo y arsénico.
- ❖ Verificar que los parámetros a estudiar en el presente proyecto cumplan con los límites máximos permisibles de la norma correspondiente.

### 1.3 Alcances

---

Se analizarán los resultados de los parámetros estudiados con base en la concentración final después de la experimentación y se calculará la eficiencias de remoción.

Se implantará este sistema filtrante en un medio real para corroborar los resultados obtenidos experimentalmente

### 1.4 Hipótesis

---

La tierra de diatomeas es un medio filtrante adecuado de aguas residuales debido a sus características físicas, como su elevada superficie específica.

La tierra de diatomeas adsorbe los metales  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  y  $Cd^{2+}$  debido a su capacidad de adsorción.

# CAPÍTULO 2

## MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

---

El agua ha sido, desde la creación del mundo, un elemento imprescindible para todos los seres vivos, necesaria para su mantenimiento, para formar parte de su composición o como medio ambiente de múltiples especies.

A medida que se ha desarrollado nuestra civilización y que esta ha crecido en todas las áreas de la superficie terrestre, al mismo tiempo nuestro desarrollo ha obstaculizado cada vez más el uso del agua a causa del vertido desordenado de diferentes tipos de residuos y desechos a los cursos de agua y a las zonas costeras.

Como consecuencia de sus propios actos el ser humano se ha visto en la necesidad de idear a lo largo de la historia diferentes sistemas de aprovechamiento y de tratamiento de las aguas, tanto en su aspecto energético como bajo el punto de vista de su uso vital en nuestra alimentación y en aplicaciones agrarias (Rivero y Ponciano Rodríguez, 1996, p.20)

En las décadas recientes, el fenómeno de la contaminación del agua se ha ido convirtiendo en más y más frecuente y se está convirtiendo en un problema crítico debido al crecimiento considerable de habitantes, incrementándose de manera importante el consumo de agua y, consecuentemente, la generación de una mayor cantidad de aguas residuales.

En México en el año 2010, INEGI indica que se registraron 2 mil 354 sitios de descarga de aguas residuales sin tratamiento; el 54% de éstas se localiza en ríos y arroyos. Ocasionando la contaminación de suelos y aguas superficiales, tanto en las zonas rurales como urbanas, creando un riesgo obvio para la salud humana y el medio ambiente (p. 2).

Jalisco, Michoacán, México, Veracruz y Chiapas tienen cada uno más de 100 puntos de descarga de aguas residuales sin tratamiento en ríos y arroyos, concentrando 49% del total nacional.

La preocupación por las descargas de las aguas residuales y sus efectos al medio ambiente ha dado lugar a la promulgación de leyes como la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; uno de los objetivos de esta ley es prevenir y controlar la contaminación del agua y proteger los recursos hídricos.

Por ello, es necesario recurrir al tratamiento de las aguas residuales antes de que estas sean descargadas a algún cuerpo receptor y poder controlar las descargas directas a los sistemas de alcantarillado municipal, tal como está establecido en el conjunto de Normas Oficiales Mexicanas aplicables (**NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1996, NOM-003-SEMARNAT-1997 y NOM-004-SEMARNAT-2002**)(Robledo, 2012, p.32).

El manejo efectivo de las aguas residuales debe dar como resultado un efluente reusable, con un bajo nivel de especies microbianas dañinas, o que pueda ser descargado de manera segura en el medio ambiente como lo indica la legislación mexicana en materia de aguas residuales.

Si bien es cierto, existen ya una gran cantidad de procesos de tratamiento de aguas residuales los cuales utilizan procesos biológicos, químicos o físicos, pero muchas veces no se dispone de los medios apropiados para su implementación por lo que las descargas de aguas residuales se lleva a cabo sin ningún tipo de tratamiento, afectando las corrientes de agua y poniendo en riesgo la conservación del medio ambiente. En este aspecto se busca un tratamiento alternativo que sea fácilmente aplicable, con un bajo costo de inversión y que además sea efectivo en la remoción de las principales características dañinas para el ser humano y el ambiente.

Por medio del tratamiento de las aguas residuales también se persigue reducir la influencia de enfermedades de origen hídrico al contribuir a crear y fortalecer un medio armónico de convivencia entre la población y la naturaleza.

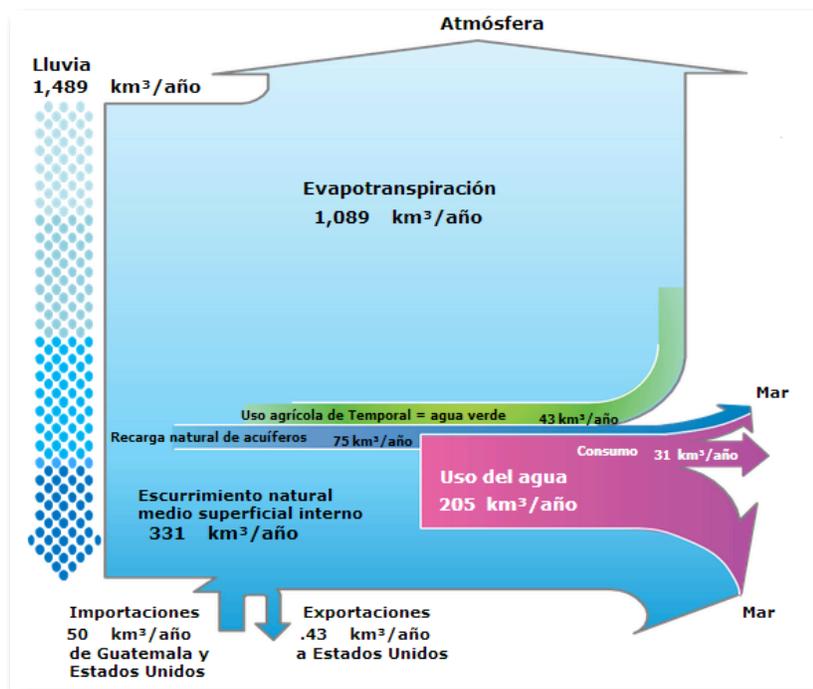
## 2.2 Agua y su calidad en México

Nuestro país posee aproximadamente el 0.1% del total de agua dulce disponible a nivel mundial, lo que determina que un porcentaje importante del territorio esté catalogado como zona semidesértica. Esto implica, también, la necesidad de considerar al agua no sólo como un elemento vital, sino como un factor estratégico para el desarrollo global del país (Carabias y Landa, 2005, p.15).

En México existe una gran variedad de climas. La ubicación geográfica y el relieve inciden directamente sobre la disponibilidad del recurso hídrico. En la clasificación mundial, México está considerado como un país con baja disponibilidad de agua.

Anualmente México recibe del orden de 1,489 miles de millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. Se estima que el 73.1% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 21.1% escurre por los ríos y arroyos, y el 4.8% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos (CONAGUA, 2011).

*Imagen.2.1. Valores medios anuales de los componentes del ciclo hidrológico de México (miles de millones de metros cúbicos, km<sup>3</sup>).*



*Fuente: Sistema Nacional de Información del agua (SINA). México 2012*

Tabla 2.1. Valores medios anuales de los componentes del ciclo hidrológico de México

Componentes del ciclo hidrológico en México	Valores medios naturales en km <sup>3</sup> /año
Volumen de precipitación media histórica	1,489.00
Evapotranspiración	1,089.00
Agua verde	43.00
Recarga natural media de acuíferos	75.00
Esguerrimiento natural medio superficial interno	331.00
Importaciones	50.00
Exportaciones	.43
Consumo	31.00
Uso del agua	205.00

Fuente: Sistema Nacional de Información del agua (SINA). México 2012

En México existe un problema en cuanto a la distribución del agua, ya que dos terceras partes del territorio se consideran áridas o semiáridas, con precipitaciones anuales menores a los 500 mm, mientras que el sureste es húmedo con precipitaciones promedio que superan los 2,000 mm por año. Cabe aclarar que se debe analizar desde tres perspectivas:

- Distribución temporal, ya que en México existen grandes variaciones del agua a lo largo del año. La mayor parte de la lluvia ocurre en el verano (68 %), mientras que el resto del año es relativamente seco.
- Distribución espacial. Porque en algunas regiones del país ocurre precipitación abundante y existe una baja densidad de población, mientras que en otras sucede el efecto contrario.
- Área de análisis. Porque la problemática del agua y su atención es predominantemente de tipo local. Los indicadores calculados a gran escala esconden las fuertes variaciones que existen a lo largo y ancho del país (CONAGUA, 2011, p. 20)

México cuenta con una red hidrográfica de 633 mil kilómetros de longitud, en la que destacan cincuenta ríos principales por los que fluye el 87% del escurrimiento superficial del país y cuyas cuencas cubren el 65% de la superficie territorial continental del país.

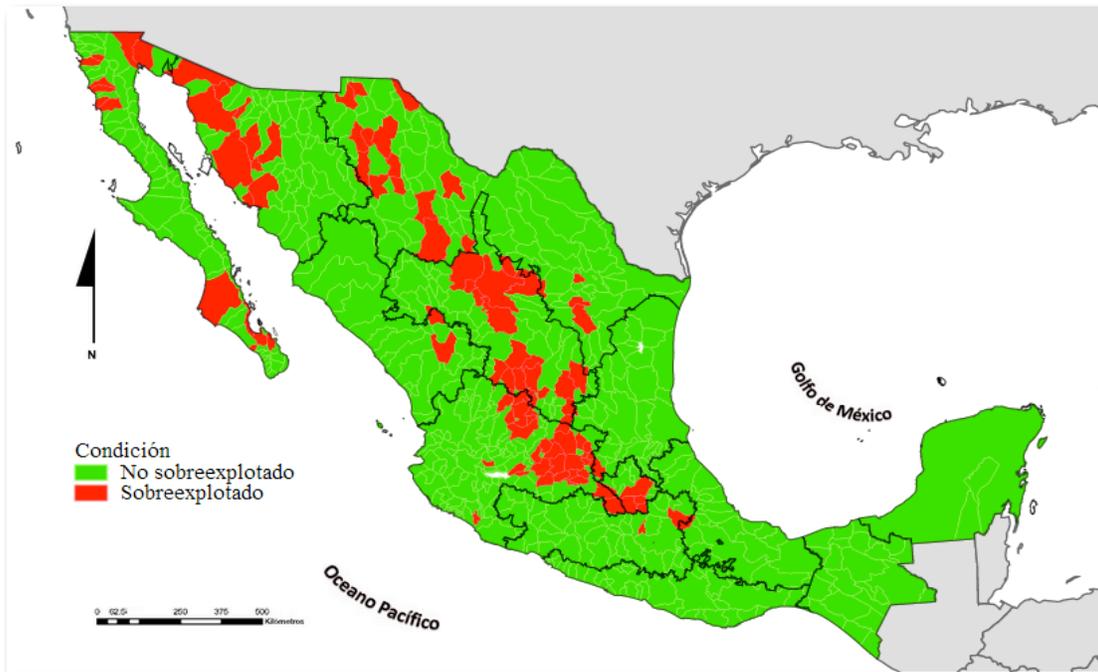
Por la superficie que abarcan, destacan las cuencas de los ríos Bravo y Balsas, y por su longitud, destacan los ríos Bravo y Grijalva-Usumacinta. Los ríos Lerma, Nazas y Aguanaval pertenecen a la vertiente interior.

Dos tercios del escurrimiento superficial se dan en los cauces de siete ríos: Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Coatzacoalcos, Balsas, Pánuco, Santiago y Tonalá, a la vez que sus cuencas representan el 22% de la superficie de nuestro país. (CONAGUA, 2011, p. 28)

Por otra parte, la importancia del agua subterránea se manifiesta en la magnitud del volumen utilizado por los principales usuarios. Alrededor del 37% (30.1 miles de millones de metros cúbicos por año al 2010) del volumen total concesionado para usos consuntivos, pertenece a este origen. De los 653 acuíferos en los que está dividido el país, a diciembre de 2009 se tenían publicadas las disponibilidades de 282 acuíferos (403 a diciembre de 2010).

Se consideran sobreexplotados los acuíferos cuya extracción es mayor que su recarga total en un periodo determinado, en esta condición para el año 2010 existían 101 acuíferos explotados (ver imagen). De los acuíferos sobreexplotados se extrae aproximadamente el 49% del agua subterránea para todos los usos. Para finales del año 2010 se habían identificado 32 acuíferos con presencia de suelos salinos y agua salobre, localizados principalmente en la Península de Baja California y en el altiplano mexicano. En tanto que para 2010 se presentaba intrusión marina en 17 acuíferos costeros a nivel nacional (CONAGUA, 2011, p. 33-35).

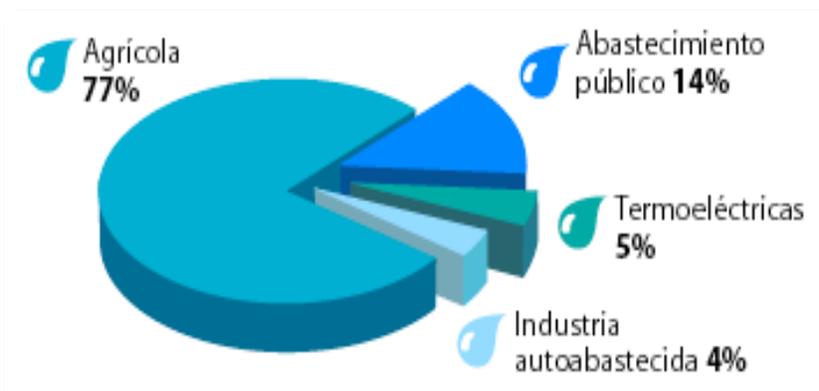
Imagen 2.2. Acuíferos sobreexplotados y no sobreexplotados del territorio nacional (2009).



Fuente: Atlas Digital del Agua México 2012. Sistema Nacional de Información del Agua.

Finalmente de toda el agua disponible, se utiliza un 77% para el desarrollo de la agricultura y la ganadería; 14%, en el abastecimiento municipal y domestico; 5%, en las termoeléctricas y 4%, en la industria autoabastecida, que son aquellas empresas que toman el agua directamente de los ríos, los arroyos, lagos y acuíferos del país (CONAGUA, 2011, p. 45).

Imagen 2.3. Distribución de volúmenes concesionados para usos agrupados consuntivos 2011.



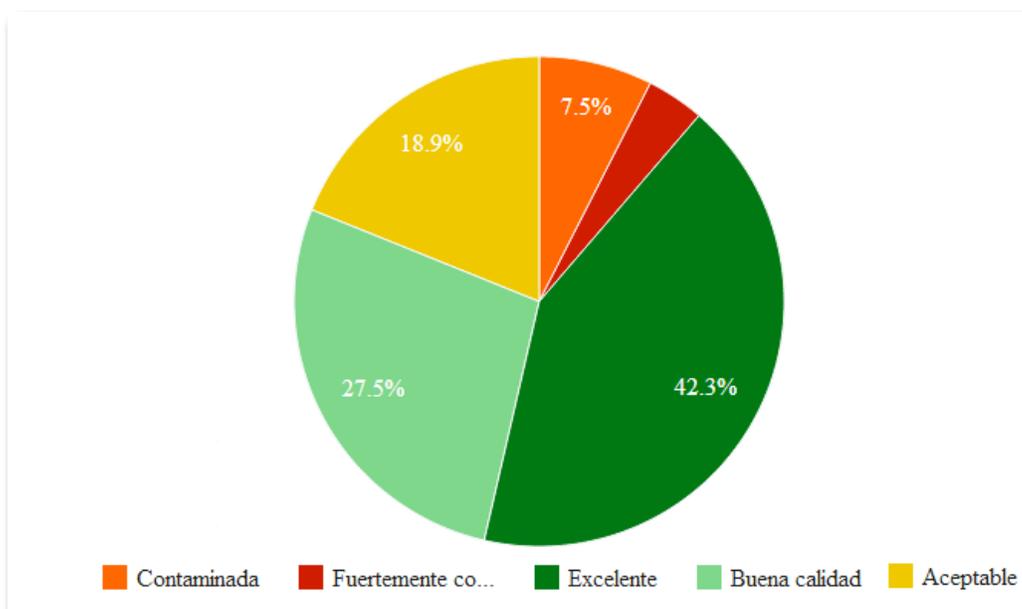
Fuente: SEMARNAT. Estadísticas del agua en México 2011.

En el 2009 se contaba con 1,510 sitios de monitoreo de la calidad del agua operados por CONAGUA en todo el país, considerándose principalmente tres indicadores: Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO<sub>5</sub>), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST). Estos sitios están ubicados en zonas con una alta influencia antropogénica. El monitoreo de dichos parámetros es muy importante para monitorear los niveles de contaminación por aguas residuales tanto domésticas e industriales, así como desechos agrícolas y procesos erosivos en tierras de cultivo y zonas deforestadas.

- Calidad de agua según indicador DBO<sub>5</sub>

De los sitios muestreados, un 42.3% mostró calidad excelente, un 27.5% tuvo buena calidad y un 18.9% fue de calidad aceptable, lo que nos da un 88.7% de sitios con calidad por encima de lo aceptable. El restante 11.3% estuvo por debajo de lo aceptable, con un 7.5% contaminado y un 3.8 % fuertemente contaminado. Los valores más altos de DBO<sub>5</sub> se encuentran en las zonas altamente pobladas, principalmente en la zona centro del país (Carabias y Landa, 2005, p. 74).

*Imagen 2.4. Calidad del agua según el indicador de DBO<sub>5</sub>.*



*Fuente: Atlas Digital del Agua México 2012. Sistema Nacional de Información del Agua*

## 2.3 AGUAS RESIDUALES

### 2.3.1 Definición y clasificación de aguas residuales

---

Se consideran Aguas Residuales a los líquidos que han sido utilizados en las actividades diarias de una ciudad (domésticas, comerciales, industriales y de servicios) y que ahora están contaminadas con sustancias fecales, orina, procedentes de desechos orgánicos de origen antropogénica, animales, además de residuos procedentes de la actividad industrial. Comúnmente las aguas residuales suelen clasificarse como:

- Aguas Residuales Municipales. Residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal.
- Aguas Residuales Industriales. Las Aguas Residuales provenientes de las descargas de Industrias de Manufactura.

Otra forma de denominar a las Aguas Residuales es en base al contenido de contaminantes que esta porta, así se conocen como:

- Aguas negras a las Aguas Residuales provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales
- Aguas grises a las Aguas Residuales provenientes de tinajas, duchas, lavamanos y lavadoras, que aportan sólidos suspendidos, fosfatos, grasas y coliformes fecales, esto es, aguas residuales domésticas, excluyendo las de los inodoros
- Aguas negras industriales a la mezcla de las aguas negras de una industria en combinación con las aguas residuales de sus descargas. Los contaminantes provenientes de la descarga están en función del proceso industrial, y tienen la mayoría de ellos efectos nocivos a la salud si no existe un control de la descarga ([www.cuidoelagua.com](http://www.cuidoelagua.com), 2009).

Tabla 2.2. Análisis típico del agua residual municipal.

Constituyente	Concentración, mg/L		
	<i>Fuerte</i>	<i>Media</i>	<i>Débil</i>
Sólidos, totales:	1200	720	350
Disueltos totales	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Suspendidos totales	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	165	80
Sólidos sedimentables ( ml/l)	20	10	5
Demanda Bioquímica de Oxígeno, 5 días 20° C(DBO5)	400	220	110
Carbono Orgánico Total (COT)	290	160	80
Demanda Química de oxígeno (DQO)	1000	500	250
Nitrógeno Total	85	40	20
Fosforo Total	15	8	4
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	200	100	50
Grasas	150	100	50

Fuente: Tratamiento y depuración de las aguas residuales. Metcalf & Eddy, inc.

### 2.3.2 Contaminantes de las aguas residuales

---

Las aguas residuales, poseen una composición altamente compleja, debido a la incorporación al agua de contaminantes como microorganismos, desechos químicos e industriales y de otros tipos. En consecuencia, se requiere una variedad de procesos de tratamiento para separar los diversos contaminantes que con seguridad se encontrarán (César Valdez y Vázquez González, 2003, p.26)

Los contaminantes pueden estar presentes como:

- Sólidos suspendidos flotantes o grandes: arenas, trapos y papel entre otros.
- Sólidos suspendidos pequeños y coloidales: moléculas orgánicas grandes, partículas de suelo y microorganismos entre otros.
- Sólidos disueltos: compuestos orgánicos y sales inorgánicas entre otros.
- Gases disueltos: Sulfuro de Hidrógeno, entre otros.
- Líquidos no mezclables: grasas y aceites.
- Compuestos orgánicos biodegradables: proteínas, carbohidratos y lípidos.
- Microorganismos patógenos: coliformes
- Nutrientes
- Compuestos orgánicos refractarios
- Metales pesados: Plomo, cobre, cadmio, etc.

### 2.3.3 Sistemas de tratamiento de aguas residuales en México

---

Con el objeto de preservar la calidad del agua, se construyen plantas para tratar el agua antes de su descarga a los ríos y cuerpos de agua. En el año 2010, las 2,186 plantas en operación en el país trataron 93.6 m<sup>3</sup>/s, es decir el 44.76% de los 209.1 m<sup>3</sup>/s recolectados en los sistemas de alcantarillado (CONAGUA, 2011, p.74).

Los procesos de tratamiento se dividen en primario, que son todas las operaciones unitarias: cribado, desmenuzado y sedimentación en los que se remueve material de gran variedad de formas, tamaños y densidades. (César Valdez y Vázquez González, 2003, p.95).

El secundario que son medios de diferente origen como físico-químico, químico o biológico principalmente en los cuales se remueve la fracción orgánica suspendida como la disuelta. Finalmente en algunos casos se lleva a cabo el tratamiento terciario que son medios más especializados para tratar y purificar el agua llevándola a excelentes condiciones.

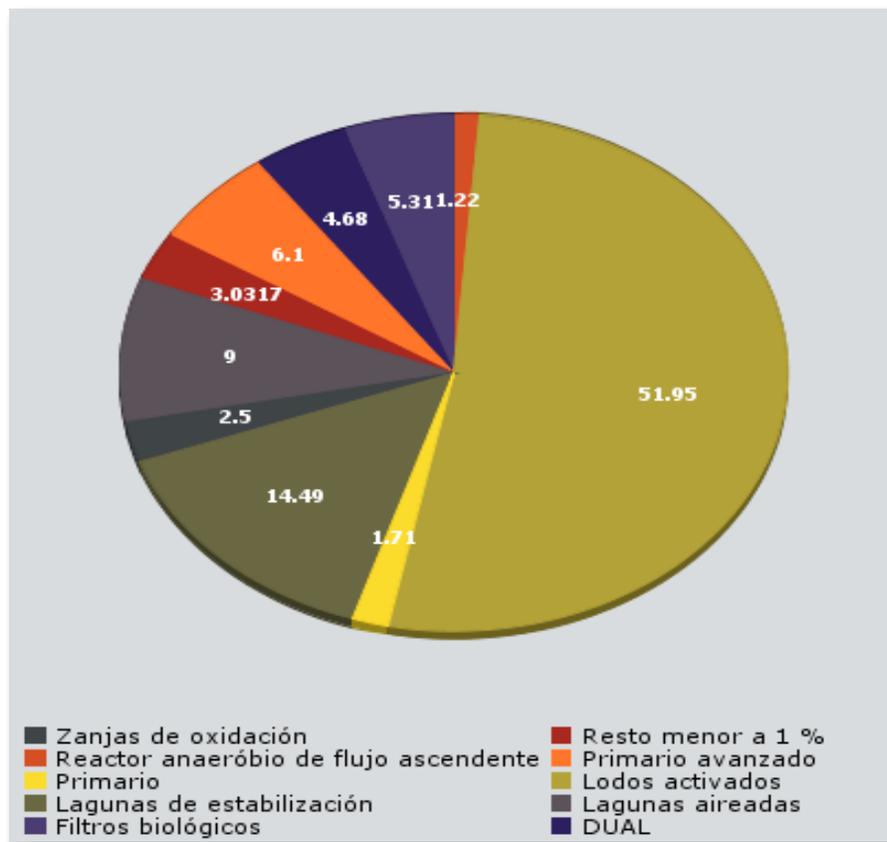
Tabla 2.3. Principales procesos de tratamiento de aguas residuales en México (2010).

Tipo de tratamiento	Nombre de proceso	Caudal tratado (%)
PRIMARIO	Tanque Imhoff	.46
	Tanque séptico	.12
SECUNDARIO	Aerobio	.14
	Anaerobio	.57
	Biodiscos	.35
	Biológico	.35
	DUAL	4.68
	Filtros biológicos	5.31
	Fosa Séptica + Filtro Biológico	.02
	Fosa Séptica + Wetland	.11
	Humedal	.45
	Lagunas aireadas	9.00
	Lagunas de estabilización	14.49
	Lodos activados	51.95
	Primario	1.71
	Primario avanzado	6.10
	RAFA + Filtro Biológico	.09
	RAFA, WASB + HUMEDAL	.04
	Reactor anaeróbico de flujo ascendente	1.22

	Reactor enzimático	.14
	Tanque Imhoff + Filtro Biológico	.02
	Tanque Imhoff + Wetland	.09
	Zanjas de oxidación	2.50
TERCIARIO	Sedimentación + Wetland	.03
	Terciario	.03
NO ESPECIFICADO	OTROS	.03

Fuente: Atlas Digital del Agua México 2012.Sistema Nacional de Información del Agua

Imagen 2.5. Principales procesos de tratamiento de aguas residuales en México (2010).



Fuente: Atlas Digital del Agua México 2012.Sistema Nacional de Información del Agua

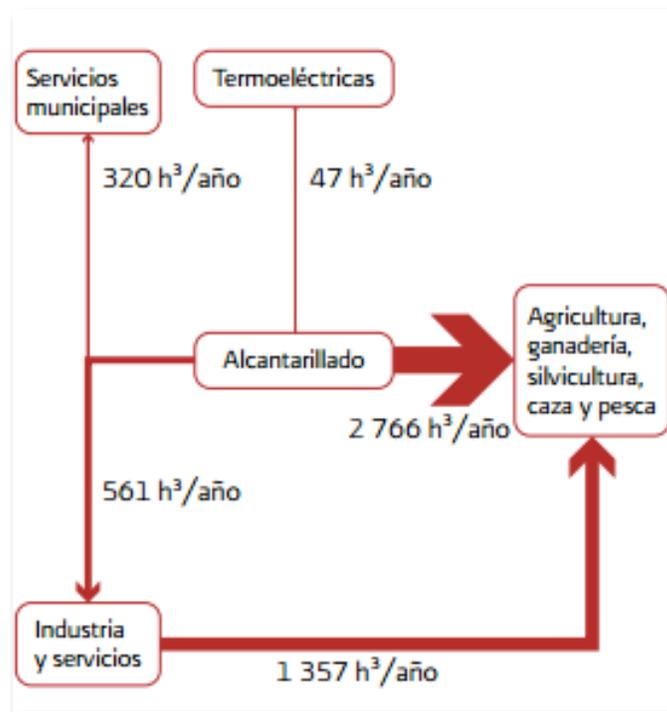
### 2.3.4 Usos de las aguas residuales

Se estima que en el año 2008 en México se reutilizaron 5,051 millones de metros cúbicos de agua (equivalente a un caudal de 160 m<sup>3</sup>/s). En el reúso de agua de origen municipal destaca la transferencia de aguas residuales colectadas en las redes de alcantarillado hacia cultivos agrícolas. En una menor proporción se reutilizan dichas aguas en las industrias, así como en las termoeléctricas, como es el caso de la central termoeléctrica de Villa de Reyes en San Luis Potosí (CONAGUA, 2011, p.76).

En el reúso de agua de origen industrial (no municipal) destacan las aguas residuales de los ingenios azucareros en el cultivo de caña en el estado de Veracruz.

En la tabla 3.6 se pueden identificar las diferentes transferencias de agua entre los usos.

Tabla 2.4. Reúso del agua residual en México, 2009



Fuente: CONAGUA. Subdirección General de Programación

Nota: h<sup>3</sup>/año = 1 millón de metros cúbicos al año

### 2.3.5 Normatividad en materia de aguas residuales

---

Las Normas Mexicanas Oficiales son un conjunto de reglas científicas o tecnológicas emitidas por la Secretaría del medio Ambiente y Recursos Naturales, donde se establecen los requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, parámetros y límites permisibles que se deben observar en el desarrollo de actividades o uso y destino de bienes nacionales que causen o puedan causar desequilibrio ecológico o daños al medio ambiente.

El objetivo de las normas es establecer los principios y criterios de las políticas y estrategias en materia ambiental (Robledo, 2012, p.20).

**NOM-001-SEMARNAT-1996.** Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. El objetivo es el proteger la calidad y posibilitar su uso benéfico, esta norma fue publicada el 6 de enero de 1997.

Especifica las concentraciones de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales el cual no debe de exceder el valor establecido como límite máximo indicado.

**NOM-002-SEMARNAT-1996.** Establece los límites máximos permisibles de los contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Con el fin de prevenir y mitigar la contaminación en las aguas o bienes nacionales así como la de proteger la infraestructura de dichas estructuras, esta norma no es aplicable a aquellas descargas domésticas, pluviales y de la industria que sean distintas a las aguas residuales de proceso y sean conducidas por drenajes separados. Esta norma fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de junio de 1998.

**NOM-003-SEMARNAT-1997.** Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de septiembre de 1998. Con el objeto

de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reúso.

**NOM-004-SEMARNAT-2002.** Esta norma oficial mexicana establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos y biosólidos provenientes del desazolve de los sistemas del alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de posibilitar su aprovechamiento o disposición final y proteger al medio ambiente y la salud humana.

Para el manejo de los biosólidos se observaran los principios de esta norma. Esta norma fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 15 de agosto del año 2003.

## 2.4 Indicadores microbiológicos de la calidad del agua.

---

Todas las formas de microorganismos patógenos se pueden encontrar en las aguas residuales domésticas e incluyen: bacterias, virus, protozoarios y helmintos. Algunos de estos microorganismos son descargados al ambiente por portadores. Aunque es raro que estén presentes los microorganismos que causan algunas de las enfermedades más severas, por seguridad se asume que lo están en número significativo y que representan un peligro para la salud (César y Vázquez, 2003, p.39).

Las heces de las personas sanas contienen una gran cantidad de bacterias de una enorme variedad de especies, utilizándose algunas de ellas como indicadores de contaminación fecal, cuya presencia indica la posibilidad de que estén presentes organismos patógenos intestinales, mientras que su ausencia manifestara con toda probabilidad que no habrá organismos patógenos (Cicerone et al., 2005, p.45)

Los microorganismos indicadores contemplados por la Norma Oficial Mexicana **NOM-127-SSA1-1994**, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano..." y por la **NOM-001-SEMARNAT-1996** son dos: organismos coliformes totales y organismos coliformes fecales.

- **Coliformes totales.** Son bacterias de morfología bacilar, Gram negativas, aerobias y/o anaerobias facultativas, oxidasa negativas, no esporuladas y capaces de fermentar la lactosa, con producción de ácido y gas, a 37° C en un tiempo de incubación máximo de cuarenta y ocho horas. Este grupo de bacterias comprende los géneros Escherichia, Citrobacter, Klebsiella y Esterobacterias, todos ellos pertenecientes a la familia Enterobacteriaceae.
- **Coliformes fecales.** Este grupo está integrado por las bacterias comprendidas en el aparato anterior, que además sean capaces de fermentar la lactosa, con producción de ácido y gas, cuando se incuban, en el medio apropiado, a 44 °C durante un tiempo máximo de veinticuatro horas.

### 2.4.1 Límites permisibles de las características bacteriológicas

Conforme al punto 4 de la **NOM-127-SSA1-1994** “El contenido de organismos resultante del examen de una muestra simple de agua, debe ajustarse a lo establecido en la siguiente tabla”.

Tabla 2.5. Límites permisibles de características bacteriológicas

CARACTERÍSTICA	LIMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	2 NMP/100 ml
	2 UFC/100 ml
Organismos coliformes fecales	No detectable NMP/100 ml
	Cero UFC/100 ml

*Fuente: NOM-127-SSA1-1994.*

*Nota: Los resultados de los exámenes bacteriológicos se deben reportar en unidades de NMP/100 ml (número más probable por 100 ml), si se utiliza la técnica del número más probable o UFC/100 ml (unidades formadoras de colonias por 100 ml), si se utiliza la técnica de filtración por membrana.*

Mientras que en cuestión de aguas residuales la **NOM-001-SEMARNAT-1996** menciona que “El límite máximo permisible para la concentración de contaminantes patógenos para las descargas de aguas residuales vertidas a cuerpos receptores es de 1000 y 2000 el número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario, respectivamente”.

## **2.5 METALES PESADOS EN AGUA**

---

El agua es considerada muy importante y escasa en muchos países alrededor del mundo. En particular, la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales con metales pesados es concerniente a todos. Industrias tal como la Minera, cerámica, vidriera, manufactura de baterías, teñido de telas son considerados como los principales generadores de metales pesados, por ejemplo; cadmio, cromo y mercurio, en las descargas de aguas locales es donde mayor importancia tiene en relación a la salud pública (Yahya et al., 2000, p. 2300).

Contaminantes inorgánicos, en particular los iones de metales pesados, constituyen un número mayor de contaminantes de agua. La mayoría de los metales pesados son conocidos por ser tóxicos y ser agentes cancerígenos y, cuando son descargados en las aguas residuales, representan un serio problema a la población humana. (Moslehi y Nahid, 2007, p.142).

Recurrentemente muchas industrias usan metales pesados en sus líneas de producción de materiales y consecuentemente descargan tales metales a los cuerpos de agua, en el caso de las fuentes de agua para consumo humano estas descargas han empezado a ser estrictamente controladas

### **2.5.1 PLOMO (Pb)**

---

La mayor parte del plomo que se encuentra en las aguas es de origen industrial, si bien en las aguas tratadas la concentración es menor debido a que muchos de los tratamientos clásicos eliminan parcialmente el plomo, aunque los niveles se pueden ver

incrementados por procesos de solubilización del plomo de las conducciones, sobre todo cuando las aguas son agresivas.

El plomo es conocido como un veneno del metabolismo general con tendencia a la acumulación: afectación muscular y nerviosa, órganos hematopoyéticos, sistema cardiovascular, sistema renal, etc.

Aunque el plomo ingerido tiene otras procedencias, además del agua, se ha observado que un aumento medio de 25 µg por litro de sangre, correspondería a una concentración media de 100 µg/l de agua de bebida. Se estima que el nivel de exposición al plomo no debería originar en la población concentraciones en sangre superiores a los 200 µg/l, por lo que la presencia de plomo en el agua debe ser la menor cantidad posible (Cervantes y Moreno, 1999, p. 16).

## **2.5.2 COBRE (Cu)**

---

Es un elemento esencial del metabolismo del hombre, jugando un papel en la formación de los eritrocitos, la liberación del hierro tisular, el desarrollo del hueso, del sistema nervioso central y del tejido conjuntivo. Está generalmente unido a las proteínas: la hemocupreina de los eritrocitos y la ceruloplasmina del plasma sanguíneo contienen cobre. La metalotionina acumula el cobre y un cierto número de enzimas, tales como la citocromo-oxidasa, ácido ascórbico-oxidasa y la uricasa.

Como este metal está muy extendido en los alimentos, es poco probable que el hombre sufra una carencia de cobre. La ingestión de dosis excesivas se traduce en una irritación y corrosión grave de las mucosas, con afectación de los capilares, lesiones hepáticas y renales, y una irritación del sistema nervioso central seguida de depresión. Sin embargo, el envenenamiento por cobre es muy raro en el hombre a causa de sus potentes propiedades eméticas (Cervantes y Moreno, 1999, p. 12).

### **2.5.3 CADMIO (Cd)**

Suele estar presente en las aguas de bebida en pequeñas cantidades, del orden de 1  $\mu\text{g/l}$  o menos, a veces 5  $\mu\text{g/l}$  y más raramente hasta 10  $\mu\text{g/l}$ . El contenido es probablemente más alto en las regiones abastecidas con aguas de bajo pH. En cuanto a los efectos sobre la salud, se pueden señalar hipertensión, efectos tóxicos y gonadotóxicos, efectos mutagénicos, teratogénicos y cancerogénicos, aunque la mayor parte de estos efectos no están suficientemente demostrados (Cervantes y Moreno, 1999, p. 12).

### **2.5.4 ARSÉNICO (As)**

El arsénico es un elemento ubicuo y abundante. En la naturaleza se encuentra distribuido en una gran variedad de minerales formando por lo común sales de Cu, Ni, Fe o sulfatos y óxidos. En el agua puede encontrarse como arsenato ( $\text{AsO}_4^{3-}$ ,  $\text{As}^{5+}$ ) o como arsenito ( $\text{AsO}_2^{1-}$ ,  $\text{As}^{3+}$ ). También existen compuestos metilados, pesticidas y emisión de As en el ambiente como resultado de la actividad biológica. Además, las fuentes antropogénicas tales como fertilizantes, pesticidas, emisión de fundiciones y combustión de energéticos fósiles, contribuyen de manera importante a la liberación de As al ambiente (Cervantes y Moreno, 1999, p. 15).

### **2.5.5 PRINCIPALES FUENTES DE EMISIÓN**

Los metales pesados se encuentran en forma natural en la corteza terrestre. Estos se pueden convertir en contaminantes si su distribución en el ambiente se altera mediante actividades humanas. En general esto puede ocurrir durante la extracción minera, el refinamiento de productos mineros o por la liberación al ambiente de efluentes industriales y emisiones vehiculares. Además, la inadecuada disposición de residuos metálicos también ha ocasionado la contaminación del suelo, agua superficial y subterránea y de ambientes acuáticos.

Tanto las fuentes naturales como antropogénicas pueden contribuir importantemente a la emisión de elementos metálicos a la atmósfera. Cabe señalar que al comparar las emisiones globales, la emisión de elementos como selenio, mercurio y manganeso se realizan en su mayoría por fuentes naturales; sin embargo, en el plano regional las fuentes antropogénicas pueden contribuir de manera importante y estos metales se convierten en contaminantes en la escala local ( Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México, 2012).

Las industrias que presentan mayores emisiones de metales pesados según el elemento son:

- **Plomo (Pb):** la combustión de gasolina con Pb, plantas de fundición de metales, pesticidas con arsenato de Pb (ya casi en desuso), fertilizantes fosfatados y pinturas con Pb; también el empleo de barro vidriado para cocinar o guardar alimentos (Cervantes y Moreno, 1999, p. 4).
- **Arsénico (As):** fertilizantes, pesticidas y la combustión de energéticos fósiles; también existen grandes yacimientos naturales de as en China, India, Taiwán, Chile y México (Cervantes y Moreno, 1999, p. 5).
- **Cadmio (Cd):** procesadores de baterías y acumuladores, cables eléctricos, celdas fotoeléctricas, cloruro de polivinilo, colorantes, equipos para ruedas, fusibles, joyería, laminados a vapor y soldadura. Otras fuentes atmosféricas de contaminación por Cd son el procesamiento de metales (aleaciones con Cd), la combustión del diésel y petróleo, los fertilizantes fosfatados y los pesticidas. La distribución de las micro partículas que contienen Cd es afectada por el viento prevaleciente y la precipitación (Cervantes y Moreno, 1999, p. 4).

## 2.5.6 LIMITES PERMISIBLE PARA METALES EN AGUA

Conforme al punto 4.3 de la **NOM-127-SSA1-1994** “El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en la siguiente Tabla”.

Tabla 2.6. Límites permisibles de características químicas. Los límites se expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad.

CARACTERÍSTICA	LIMITE PERMISIBLE
Aluminio	0.20
<b>Arsénico</b>	<b>0.05</b>
Bario	0.70
<b>Cadmio</b>	<b>0.005</b>
Cianuros (como CN <sup>-</sup> )	0.07
Cloro residual libre	0.2-1.50
Cloruros (como Cl <sup>-</sup> )	250.00
<b>Cobre</b>	<b>2.00</b>
Cromo total	0.05
Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> )	500.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001
Fierro	0.30
Fluoruros (como F <sup>-</sup> )	1.50
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos (como N)	0.05
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5
Plaguicidas en microgramos/l: Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.30
DDT (total de isómeros)	1.00
Gamma-HCH (lindano)	2.00
Hexaclorobenceno	0.01
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Metoxicloro	20.00
2,4 - D	50.00
<b>Plomo</b>	<b>0.025</b>
Sodio	200.00
Sólidos disueltos totales	1000.00
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> )	400.00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.50
Trihalometanos totales	0.20
Zinc	5.00

*NOTA: Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.*

Mientras que en cuestión de aguas residuales la **NOM-001-SEMARNAT-1996** “establece la concentración de contaminantes básicos y tóxicos para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, estos últimos pueden ser ríos, embalses naturales y artificiales, aguas costeras, suelo y humedales naturales. La concentración de contaminantes puede variar dependiendo del uso del cuerpo receptor” (Tabla 3.7.).

*Tabla 2.7. Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros.*

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS																				
PARÁMETROS (miligramos por litro)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO Uso en riego agrícola (A)		HUMEDALES NATURALES (B)	
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		SUELO Uso en riego agrícola (A)		HUMEDALES NATURALES (B)	
	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.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.20	0.40	0.10	0.20	0.10	0.20	0.20	0.40	0.10	0.20	0.10	0.20	0.20	0.40	0.10	0.20	0.20	0.40	0.10	0.20
Cadmio	0.20	0.40	0.10	0.20	0.10	0.20	0.20	0.40	0.10	0.20	0.10	0.20	0.20	0.40	0.10	0.20	0.05	0.10	0.10	0.20
Cianuros	1.00	3.00	1.00	2.00	1.00	2.00	2.00	3.00	1.00	2.00	1.00	2.00	2.00	3.00	1.00	2.00	2.00	3.00	1.00	2.00
Cobre	4.00	6.00	4.00	6.00	4.00	6.00	4.00	6.00	4.00	6.00	4.00	6.00	4.00	6.00	4.00	6.00	4.00	6.00	4.00	6.00
Cromo	1.00	1.50	0.50	1.00	0.50	1.00	1.00	1.50	0.50	1.00	0.50	1.00	1.00	1.50	0.50	1.00	0.50	1.00	0.50	1.00
Mercurio	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
Níquel	2.00	4.00	2.00	4.00	2.00	4.00	2.00	4.00	2.00	4.00	2.00	4.00	2.00	4.00	2.00	4.00	2.00	4.00	2.00	4.00
Plomo	0.50	1.00	0.20	0.40	0.20	0.40	0.50	1.00	0.20	0.40	0.20	0.40	0.50	1.00	0.20	0.40	5.00	10.00	0.20	0.40
Zinc	10.00	20.00	10.00	20.00	10.00	20.00	10.00	20.00	10.00	20.00	10.00	20.00	10.00	20.00	10.00	20.00	10.00	20.00	10.00	20.00

*(A), (B) y (C): tipo de cuerpo receptor según la Ley federal de Derechos*

## 2.6 EFECTOS PARA LA SALUD Y EL MEDIO AMBIENTE

---

La contaminación por metales puede derivar en diversos efectos a la salud y al ambiente, dependiendo del elemento en particular. Los efectos a la salud y al ambiente para los elementos metálicos de mayor preocupación en México se enlistan a continuación:

El plomo (Pb) se acumula en la sangre y disminuye la audición, disminución del crecimiento, disminución del coeficiente intelectual, baja los niveles de vitamina D disminuye la conducción nerviosa periférica.

La exposición prolongada en seres humanos al Arsénico (As) causa cirrosis hepática y cáncer, además de hepatomegalia. (Cervantes y Moreno, 1999, p. 18).

En animales, el Arsénico (As) se concentra principalmente en el hígado, piel, riñones, bazo, pulmones y tracto intestinal. La intoxicación aguda produce diversas alteraciones dérmicas (melanosis), neurológicas (convulsiones, coma), intestinales (diarrea, vomito anorexia), hepáticas (cirrosis), renales, sanguíneas (anemia) y cardíacas (fibrilación ventricular y taquicardia)

Para la mayoría de los organismos vivos el Cobre (Cu) es un micronutriente esencial, ya que es constituyente de muchas metaloenzimas y de otras proteínas implicadas en los procesos de transporte de electrones y en otras reacciones de óxido- reducción.

Los requerimientos de Cobre (Cu) por parte de los microorganismos por lo general se satisfacen con muy bajas concentraciones del metal, pero cuando este elemento se encuentra en su forma iónica libre ( $\text{Cu}^{2+}$ ) en altas concentraciones, es tóxico para las células microbianas, así como para ciertas algas, hongos e incluso animales (Cervantes y Moreno, 1999, p. 18).

La toma por los humanos de Cadmio (Cd) tiene lugar mayormente a través de la comida. Los alimentos que son ricos en Cadmio (Cd) pueden en gran medida incrementar la concentración de Cadmio en los humanos. Otra alta exposición puede ocurrir con gente que vive cerca de los vertederos de residuos peligrosos o fábricas que liberan Cadmio en el aire y gente que trabaja en las industrias de refinerías del metal. Cuando la gente respira el Cadmio este puede dañar severamente los pulmones. Esto puede incluso causar la muerte. El Cadmio primero es transportado hacia el hígado por la sangre. Allí es unido a proteínas

para formar complejos que son transportados hacia los riñones. El Cadmio se acumula en los riñones, donde causa un daño en el mecanismo de filtración. Esto causa la excreción de proteínas esenciales y azúcares del cuerpo y el consecuente daño de los riñones. Lleva bastante tiempo antes de que el Cadmio que ha sido acumulado en los riñones sea excretado del cuerpo humano.

Las aguas residuales con Cadmio procedentes de las industrias mayoritariamente terminan en suelos. Las causas de estas corrientes de residuos son por ejemplo la producción de Zinc, minerales de fosfato y las bioindustrias del estiércol. El Cadmio de las corrientes residuales puede también entrar en el aire a través de la quema de residuos urbanos y de la quema de combustibles fósiles. Debido a las regulaciones sólo una pequeña cantidad de Cadmio entra ahora en el agua a través del vertido de aguas residuales de casas o industrias.

Otra fuente importante de emisión de Cadmio es la producción de fertilizantes fosfatados artificiales. Parte del Cadmio terminará en el suelo después de que el fertilizante es aplicado en las granjas y el resto del Cadmio terminará en las aguas superficiales cuando los residuos del fertilizante son vertidos por las compañías productoras.

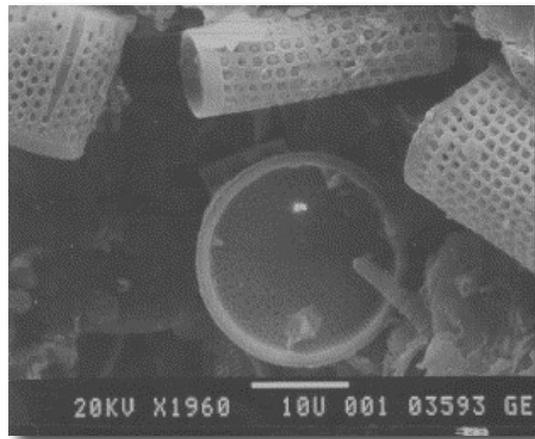
## 2.7 TIERRA DE DIATOMEAS

### 2.7.1 ORIGEN

Las diatomeas son algas fotosintéticas, circulares u oblongas con frústulas compuestas de dos mitades o tecas que se superponen como una caja de Petri [de ahí su nombre, derivado del griego *diatomsos*, que significa partido en dos]. La mitad mayor es la epiteca, y la mitad menor es la hipoteca. Las diatomeas crecen en agua dulce, salada y en tierra húmeda, y forman gran parte del fitoplancton de las partes más frías del océano, son en último término la fuente de alimento más importante para los peces y otros animales marinos de estas regiones. No es usual que un litro de agua de océano contenga casi un millón de diatomeas (Inglethorphe, 1993, p.2).

Algunas diatomeas son heterótrofos facultativos y pueden absorber, a través de los orificios de sus paredes, moléculas que contienen carbono. Las células vegetativas de las diatomeas son diploides; existen en forma unicelular, colonial o filamentosa; carecen de flagelos; poseen un único núcleo y plástidos más pequeños. La reproducción consiste en la división asexual del organismo, y cada mitad constituye después una nueva teca dentro de la vieja. Debido a este modo de reproducirse, el tamaño de las diatomeas disminuye con cada ciclo reproductor. Sin embargo, cuando disminuye aproximadamente el 30% de su tamaño original, suele producirse la reproducción sexual. La célula vegetativa diploide experimenta la meiosis para formar gametos, que después se fusionan para formar un cigoto. El cigoto evoluciona a una auxospora, que aumenta de nuevo de tamaño, y forma una nueva cubierta. La auxospora termina por dividirse por mitosis y produce células vegetativas con frústulas normales. Las diatomeas tienen comúnmente entre 20-200 micras de diámetro o longitud (Hossam, 2010, p.121).

*Imagen 2.6. Micrografía de la tierra de diatomeas (magnificación 1960X).*



Chemical Engineering Journal (2004).

Las frústulas de diatomeas están compuestas de sílice cristalizado  $[\text{Si}(\text{OH})_4]$ . Cuando las diatomeas mueren, sus frústulas se hunden en el fondo. Debido a que las partes silíceas de la frústula no se afectan por la muerte de la célula, las frústulas de diatomeas tienden a acumularse en el fondo de los medios acuáticos. Estos forman depósitos de un material llamado **Tierra de diatomeas o Diatomita** (Hossam, 2010, p.121).

La tierra de diatomeas son los esqueletos fosilizados sobrantes de una sencilla planta acuática llamada diatomea (H. Marsh, 2010, p. 3). Estos organismos microscópicos tales como plancton o algas tienen la única habilidad de extraer el sílice del agua para producir un exoesqueleto de microporos. Cuando su ciclo de vida está completado, la materia orgánica se descompone y el esqueleto remanente se acumula en forma de depósitos sedimentarios inorgánicos.

La tierra de diatomeas es el único mineral que posee una baja densidad, alta porosidad y una relativa inercia, haciéndolo un excelente medio filtrante.

El rango de tamaño de las diatomeas es de al menos 5 micras hasta arriba de 100 micras y son caracterizadas como especies con morfología específica con poros en su interior tan pequeños como 0.1 micras (Yahya et al., 2000, p.2300).

Diatomita es una roca sedimentaria de grano fino de origen biológico. Está compuesta de silicio amorfo, presente en los esqueletos de las diatomeas o sus frústulas. La estructura de la diatomita es un poco compleja y contiene numerosos poros finos microscópicos, cavidades y canales y por consiguiente el material tiene una gran superficie específica, alta capacidad de absorción y baja densidad (Pookmanee y Thippraphan, 2010)

Otras propiedades intrínsecas son la baja conductividad térmica, relativamente alto punto para pasar a su fase líquida, inercia química y pequeño tamaño de grano.

Los antiguos depósitos han sufrido procesos tectónicos, comenzando con modificaciones en su textura y en la fase cristalina del mineral. El silicio amorfo, un constituyente de las frústulas de las diatomeas, es el principal componente de la diatomita, aunque cantidades variables de otros materiales como óxidos de metal, arcillas, sales (principalmente carbonatos) y materia orgánica pueden también estar presentes. Precipitación química y contacto con la atmósfera, juntos con las condiciones prevalecientes del medio ambiente, son factores determinantes en la naturaleza e importancia del contenido de impureza de un depósito.

Diatomita es abundante en muchas áreas del mundo y tiene características físicas únicas, tales como su alta permeabilidad y porosidad (35-65%), pequeño tamaño de partícula, baja conductividad térmica y densidad y gran superficie específica (Yahya et al., 2000, p.2302).

Las propiedades de la superficie de la diatomita tales como hidrofobia, solubilidad, carga, acidez, intercambio de iones y capacidades de adsorción, son en gran medida controladas por la presencia de agua, la cual está parcialmente y estructuralmente conectada a la red de cristales de la diatomita, formando activos grupos hidroxilo sobre ellos.

Diatomita o tierra de diatomeas tiene un color pálido, suave, ligero, en su estructura posee arriba de 80-90% de huecos (Hossam, 2010, p.125).

## 2.7.2 MODIFICACIONES Y COMPONENTES

---

Numerosos estudios han sido realizados para investigar las potenciales aplicaciones de la Tierra de diatomeas como absorbente para la remoción de uranio, iones de metales pesados y colorantes textiles de las aguas residuales.

Los resultados indicaron que la Tierra de diatomeas es un material apropiado en el manejo de las aguas residuales. Existen muchos métodos que implican el uso de ésta. Los procesos que aportan beneficios están comprendidos por pulverización, secado, calcinación y clasificación o tratamiento químico tal como *leaching* con o sin ácido y/o calor (Yahya et al., 2000, p.2301).

Los procesos hidrotérmicos en general progresan en un sistema cerrado con una alta presión. Por el beneficio del sistema cerrado con alta presión. El método hidrotérmico es un conveniente proceso para preparar Tierra de diatomeas. Este método es capaz de producir partículas finas con alta homogeneidad y alta pureza (Hossam, 2010, p.123).

Existen algunos métodos para modificar las características de la superficie de la Tierra de diatomeas mediante distintas propuestas. La purificación de la diatomita en ácido Clorhídrico (HCL) y la calcinación de la diatomita han sido aplicadas para hacer a la diatomita más inerte para usarla como medio filtrante. En estos procesos la desaparición de los grupos OH sobre la superficie de la Tierra de diatomeas tienen un trascendental efecto sobre la superficie específica. La Tierra de diatomeas modificada por tratamiento con Hidróxido de sodio (NaOH) y depósito de óxido de manganeso para comprobar la capacidad de adsorción de la Tierra de diatomeas para la remoción de metales pesados como  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  y  $Cd^{2+}$  del agua residual es de las modificaciones más interesantes por su capacidad de remoción. (Hossam, 2010, p.124).

Otra Tierra de diatomeas modificada con limo y sulfato de aluminio es utilizado para remover P (fosforo) del agua residual. Esta modificación podría resultar en el traslado de los grupos hydroxyl de aluminio hacia la superficie de la diatomita y elevar la remoción fosforo primeramente vía Sorción química. El fosforo total fue reducido de 5.2 mg/L en el efluente a 0.55 mg/L en el efluente tratado y un 80% de eficiencia en la

remoción del fósforo total fue obtenida por la adición de diatomita modificada químicamente (Inglethorpe, 1993, p. 13).

Tabla 2.8. Composición típica de la Tierra de diatomeas

<b>COMPOSICIÓN TÍPICA DE LA TIERRA DE DIATOMEAS</b>	
<b>Oxido</b>	<b>Composición (%)</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	72.5
<b>TiO<sub>2</sub></b>	-
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	11.42
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	5.81
<b>MnO</b>	-
<b>MgO</b>	0.25
<b>CaO</b>	1.48
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	7.21
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0.69
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	-

### 2.7.3 MN-DIATOMITA

La diatomita modificada por tratamiento con Hidróxido de sodio (NaOH) y depósito de óxido de manganeso para comprobar la capacidad de adsorción de la diatomita para la remoción de metales pesados como Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> y Cd<sup>2+</sup> del agua residual.

Esta diatomita modificada tiene una superficie específica de 80 m<sup>2</sup>/g y capacidades teóricas de adsorción de 99 mg Pb<sup>2+</sup> /g, 55.56 mg Cu<sup>2+</sup> /g y 27.86 mg Cd<sup>2+</sup> /g respectivamente y ellos explicaron que el óxido de manganeso y su bloqueo de poros de

la diatomita jugaron un papel importante en la adsorción de los metales pesados (Moslehi y Nahil, 2007, p. 142).

El alto desempeño mostrado por Mn-diatomita fue atribuido al incremento de la superficie específica y al incremento de la carga negativa de la superficie después de la modificación. La calidad de la filtración de la diatomita fue probada después de la modificación por óxidos de manganeso. Buenas calidades de filtración combinadas con alto intercambio en la capacidad enfatizada del uso potencial de Mn- diatomita en la filtración (Moslehi y Nahil, 2007, p. 146).

## **2.7.4 UTILIZACIÓN PARA PURIFICAR EL AGUA**

---

En la producción de agua potable, la filtración con Tierra de diatomeas es una separación mecánica de sólidos y microorganismos contenidos en el agua. El primer prototipo que utilizó la DE para la producción de agua potable fue utilizado por el ejército de los Estados Unidos durante la segunda guerra mundial. Hoy en día existen aproximadamente 200 plantas en los Estados Unidos produciendo agua para consumo humano de gran calidad a un bajo costo mediante el uso de la tecnología de filtración de la DE.

La filtración con DE es uno de los cuatro métodos originalmente enlistado por la USEPA para la remoción de patógenos resistentes al cloro, muchos profesionales y reguladores en el campo municipal no están completamente convencidos de las capacidades de esta comprobada y eficiente tecnología. Considerando que virtualmente todas las otras bebidas tienen alguna forma de filtración con DE en su proceso de producción, es evidente que la DE ha sido largamente supervisada para agua potable. Pequeñas comunidades con recursos limitados se están convenciendo de la necesidad de filtrar sus aguas superficiales a costos razonables, y la filtración con DE podría bien ser un atractivo tratamiento.

## 2.7.5 UTILIZACIÓN PARA REMOCIÓN DE METALES PESADOS

---

En épocas recientes la adsorción ha ganado importancia como un efectivo sistema de purificación y separación usado en el tratamiento de aguas residuales. Los sistemas de adsorción rápidamente se han posicionado como tratamientos que producen buena calidad del agua conteniendo bajas concentraciones de materia orgánica e inorgánica. Las tecnologías de Sorción incluyen adsorción física y química e intercambio de iones, tienen el potencial de tratar agua y residuos industriales.

La remoción de metales pesados de las aguas residuales industriales es considerada una importante aplicación del proceso de adsorción usando un adsorbente adecuado. Hay un creciente interés en usar un material comercialmente disponible y a bajo costo para la remoción metales pesados. Es aquí donde la tierra de diatomeas salta a la vista como un resultado de la búsqueda y están siendo analizadas por su factibilidad de una alternativa a bajo costo del carbón activado (Majeda et al., 2004,179)

De acuerdo a la literatura, muchos tratamientos han sido propuestos para la remoción de metales pesados. Precipitación química, filtración de membrana, intercambio iónico, alumi-coagulación y adsorción por carbón activado son algunos de los métodos más comúnmente usados para el tratamiento y disposición de metales pesados en aguas residuales.

La adsorción es considerada particularmente competitiva y efectiva como proceso de remoción de cantidades de metales pesados. En teoría, cualquier material sólido con una estructura de microporos puede ser usado como un adsorbente, por ejemplo; los huesos, carbón, arcillas, óxidos de hierro sintéticas o naturales zeolitas y carbón activado.

La más importante propiedad de cualquier adsorbente es la superficie específica y su estructura, en adición, la naturaleza química y polaridad de la superficie adsorbente puede influenciar las fuerzas atractivas entre el adsorbente y adsorbato.

La altamente desarrollada estructura del carbón activado permite su amplio uso como un medio de adsorción para un gran número de materiales orgánicos e inorgánicos, incluyendo una gama de concentraciones de metales pesados. El carbón activado, sin embargo, no está recomendado en países en desarrollo debido al alto costo asociado con la producción y generación. Por lo que el uso de una alternativa de materiales de bajo costo para remoción de metales pesados es requerida (Majeda et al., 2004,177).

Por otro lado también se ha estudiado la remoción de BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos) y MTBE (Metil Terciari Butil Éter) de soluciones acuosas por medio de diatomita cruda o diatomita modificada térmicamente a 550, 750 y 950 ° C.

En conclusión la diatomita ya ha sido usada para la adsorción de diferentes elementos y sustancias del agua y del agua residual, tanto en su forma natural (cruda) o modificada (químicamente o térmicamente), presentando muy prometedores y positivos resultados.

## **2.7.6 FILTROS DE DIATOMITA**

Estos filtros, también llamados de precapa, pueden eliminar partículas de hasta 0.1  $\mu\text{m}$  sin necesidad de desestabilizarlas por coagulación. Se caracterizan por una gran superficie de filtración en relación al tamaño y peso de los filtros, lo que los hace más apropiados para equipos portátiles o bien para depuración a escala doméstica o individual. La filtración ocurre fundamentalmente en la superficie por microtamización, donde se forma una especie de película filtrante, lo que condiciona que la capa filtrante sea de poco espesor, generalmente del orden de 3 m

La filtración suele hacerse a presión o por un dispositivo de vacío. Pueden usarse para aguas que por su baja turbidez no necesitan tratamiento de coagulación m, que, conforme va avanzando el proceso de filtración y se forma la película superficial, puede llegar a alcanzar hasta 10 mm o más. Retienen con gran eficacia fibras de asbestos, algas, Coliformes, huevos y quistes de parásitos, suspensiones de arcilla, etc. -floculación, pues en caso contrario se colmatarían rápidamente con los flóculos formados. Sin embargo, su empleo más usual es para la depuración de aguas de piscinas.

La filtración con tierra de diatomeas (DE o Diatomita) ha sido utilizada para purificación de fluidos por cerca de 100 años. Hay miles de instalaciones en las industrias químicas, farmacéutica, metales, comidas y bebidas donde es crítico y fundamental la separación.

Como un método universalmente aprobado bajo el Tratado de las Reglas del Agua Superficial (SWTR) por sus siglas en inglés “Surface Water Treatment Rules”, los operadores de las plantas pueden ser confidentes de la alta calidad del efluente que su sistema producirá y reunir las precauciones para la calidad del agua usando la tecnología de filtración con DE.

Beneficios adicionales incluyen:

- Bajo capital/ costos de instalación
- Costo es de 8 a 12 centavos / 1000 galones. Basado en el tamaño del sistema.
- Puede ser totalmente automatizado para no necesitar una operación atendida.
- Reduce contenido de sólidos orgánicos

*Tabla 2.9. Tipos de materiales filtrantes*

<b>Tipo</b>	<b>Tamaño de poro</b>	<b>Materiales</b>
Microtamización	1-100 $\mu\text{m}$	Polietileno, acero inoxidable, tela.
<i>Tierra de diatomeas</i>	7-50 $\mu\text{m}$	<i>Restos silíceos de fósiles.</i>
Material granular	0.1-10 mm	Arena, antracita, magnetita.



# CAPÍTULO 3

## METODOLOGÍA

### 3.1 Experimentación

- ❖ Para comprobar la eficiencia del uso de la tierra de diatomeas como medio filtrante y para cumplir con los objetivos propuestos se inició con la revisión bibliográfica de los trabajos e investigaciones científicas a nivel mundial con el fin de realizar una recopilación de datos de la composición de la tierra de diatomeas y su posible uso como medio filtrante. Para llevar a cabo esta labor se realizaron las siguientes actividades:
- ❖ Se diseñó un experimento de laboratorio con columnas de acero con empaques de 5 y 10 cm de tierra de diatomeas y un flujo de agua residual cruda constante proveniente de la Planta de Tratamiento de Agua Residual del Edificio 12 del Instituto de Ingeniería, de la UNAM (PTAR Edificio 12).



*Imagen 3.1. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Edificio 12 del Instituto de Ingeniería.*

*Imagen 3.2. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Edificio 12 del Instituto de Ingeniería.*



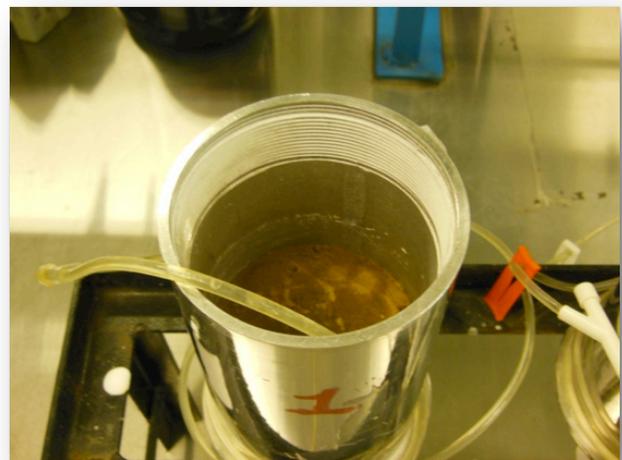
- ❖ El análisis microbiológico (Coliformes totales y fecales) del agua residual se llevó a cabo en 2 partes, la primera parte fue la determinación de la calidad del influente de la (PTAR Edificio 12), para así poder tener un valor de referencia de la cantidad de coliformes presentes antes del proceso de filtrado. La segunda parte consistió en determinar la cantidad de coliformes en el efluente de las columnas que contenían el medio filtrante (tierra de diatomeas).

*Imagen 3.3. Influyente de la toma de muestras. Fosa séptica de la (PTAR Edificio 12)*



- ❖ Para una segunda experimentación se trabajó con agua residual sintética, que se preparó en el laboratorio, con concentraciones de 4 metales: Cadmio, Plomo, Cobre y Arsénico. Además de realizar una modificación química con hidróxido de sodio (NaOH) y Cloruro de Manganeso ( $MnCl_2$ ) a la tierra de diatomeas a la cual se denomina Mn-diatomita.

*Imagen 3.4. Columna #1 con un empaque de Mn-diatomita de 5 cm.*



- ❖ La experimentación en laboratorio se llevo a cabo en 2 partes, primero con columnas de 5 cm de tierra de diatomeas cruda y en una segunda etapa con columnas de 5 cm de Mn-diatomita, en ambas etapas se hizo pasar el agua residual sintética.
- ❖ Para la determinación de concentraciones de metales después de la experimentación, las muestras colectadas fueron enviadas al laboratorio del Instituto de Geología de la UNAM para su análisis.
- ❖ Posteriormente se calcularon las eficiencias de remoción de coliformes y metales debido a la tierra de diatomeas y Mn- diatomita respectivamente.
- ❖ Se verificó que los parámetros estudiados en el presente proyecto cumplan con los límites máximos permisibles de las normas correspondientes.

### 3.1.1 Materiales y equipos



3 columnas de acero inoxidable de 14.5 cm de longitud y 8 cm de diámetro.



4 Válvulas de mariposa ¼ “.



4 Equipos de venoclisis con regulador.



Cubeta de plástico con tapa con capacidad de 10 litros.



Frascos de vidrios de boca ancha con tapa hermética limpios y estériles.



Frascos de polietileno de 30 ml de boca ancha con tapa hermética limpios y estériles.



Reactor de acrílico con capacidad de 20 litros.



Embudos



Pipetas con capacidades de 10 ,5 y 1 ml



Propipeta



Probetas de 50 ml



Cajas Petri estériles de vidrio o plástico de 60 x 15 mm



Membranas filtrantes de acetato de celulosa de 0.47 a 50 mm de diámetro, con un poro de 0.45 micras



Pads o cojinetes absorbentes de 1mm de espesor y del mismo diámetro que el de la membrana filtrante



Pinzas para maniobrar las membranas(Millipore<sup>MR</sup>)



Matraz quitazato



Unidades de filtración estériles



Bolsas de plástico estériles



Masking tape para autoclave



Termómetros



Mechero de bunsen o similar



Estufa para esterilización y secado: equipada con un termómetro y un termostato y operar normalmente a una temperatura de 170 a 180° C.



Incubadora: equipada con un termostato para que la temperatura dentro de la incubadora sea de  $35 \pm 0.5$  °C con capacidad suficiente para permitir la circulación del aire alrededor de todos los materiales a incubar.



Baño de agua: equipada con termostato, un agitador de baja velocidad para promover la circulación del agua y mantener la temperatura uniforme en todos los puntos. La temperatura del baño de agua debe de ser  $44.5 \pm 0.2$  °C.



Refrigerador



Balanza con sensibilidad de al menos de 0.1 a pesar 150g.



Parrilla con agitador y calentamiento.



Autoclave para esterilizar a una temperatura de 121°C a 15 libras de presión.

## Reactivos



Solución salina al 0.85%



Agua destilada



Caldo MFC (*medio de cultivo microbiológico de color azul. Su uso es como indicador de coliformes fecales*).



Caldo M-Endo (*medio de cultivo microbiológico de color rosa pálido. Fue originalmente desarrollado para el aislamiento de Salmonella typhi, pero ahora es usado mayormente como un medio para coliformes*).



Acido nítrico



Hidróxido de sodio (NaOH)



Cloruro manganoso ( $\text{MnCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ )



Nitrato de plomo ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ )



Nitrato Cúprico ACS ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ )



Cloruro de cadmio ( $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5 \text{H}_2\text{O}$ )



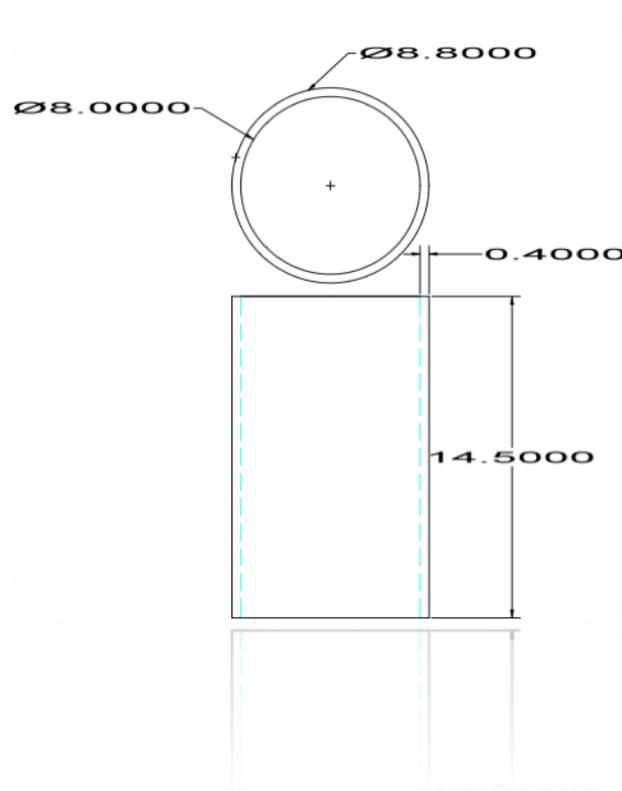
Trióxido de arsénico ( $\text{As}_2\text{O}_3$ )

### 3.1.2 Descripción del experimento

- Se arma y prepara el sistema de filtrado que consta de un reactor de acrílico con capacidad de 20 litros cuyo fin es alimentar 3 columnas de acero inoxidable con las siguientes dimensiones:
- Diámetro interior de..... 8 [cm]
- Diámetro exterior de..... 8.8 [cm]
- Área .....50.265 [cm<sup>2</sup>]
- **1 cm<sub>LINEAL</sub> = 50.265 [cm<sup>3</sup>]**

Las columnas se prepararon con una carga hidráulica de 14.5 cm

*Imagen 3.5. Propiedades geométricas de la columna de experimentación.*



1. Para determinar la calidad del agua, se tomaron 2 muestras (10 litros c/u) representativas de la fosa séptica (25-Jun-2013 y 28-Jun-2013).
2. Cada una de las muestras se almacenaron en el reactor y se hizo fluir a cada una de las columnas de acuerdo al plan de trabajo siguiente:

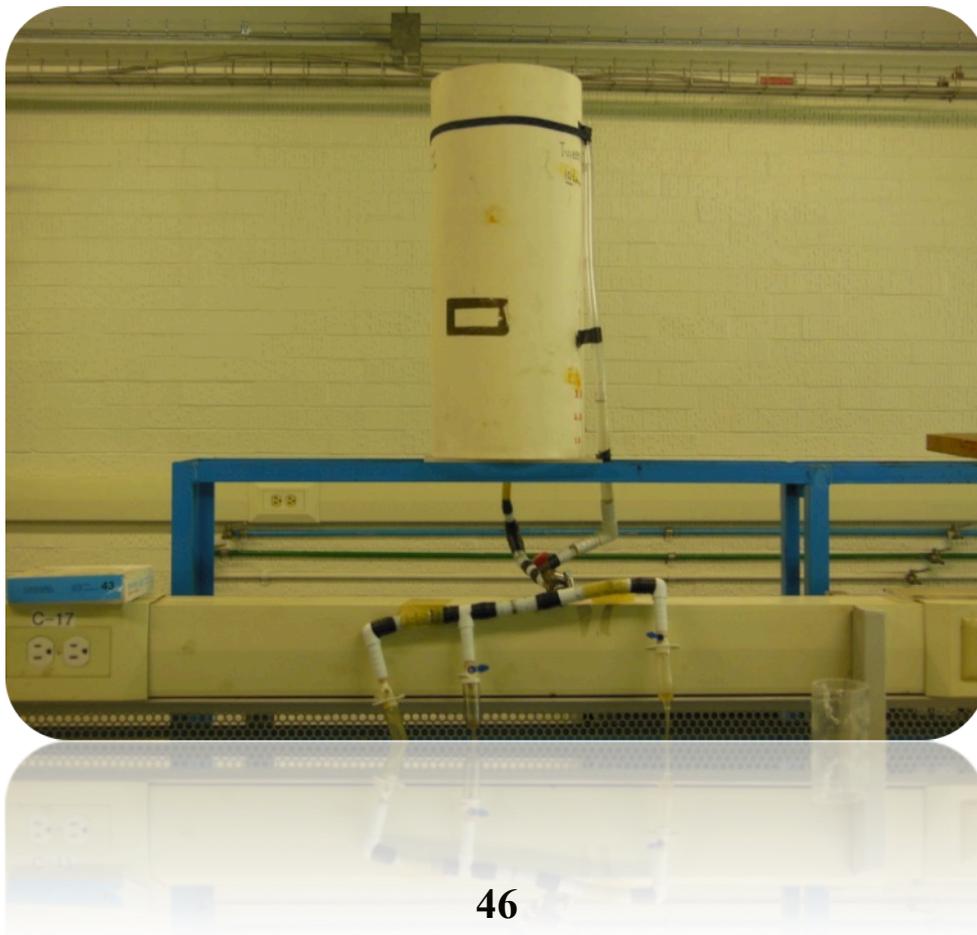
**Muestra del 25-Jun-2013**

- a) Con empaque de 5cm de tierra de diatomeas y 30 minutos de tiempo de filtrado.
- b) Con empaque de 5 cm de tierra de diatomeas y 2 horas de tiempo de filtrado.

**Muestra del 28-Jun-2013**

- c) Con empaque de 10 cm de tierra de diatomeas y 8 horas de tiempo de filtrado.

*Imagen 3.6. Reactor de PVC para depósito del agua residual cruda.*



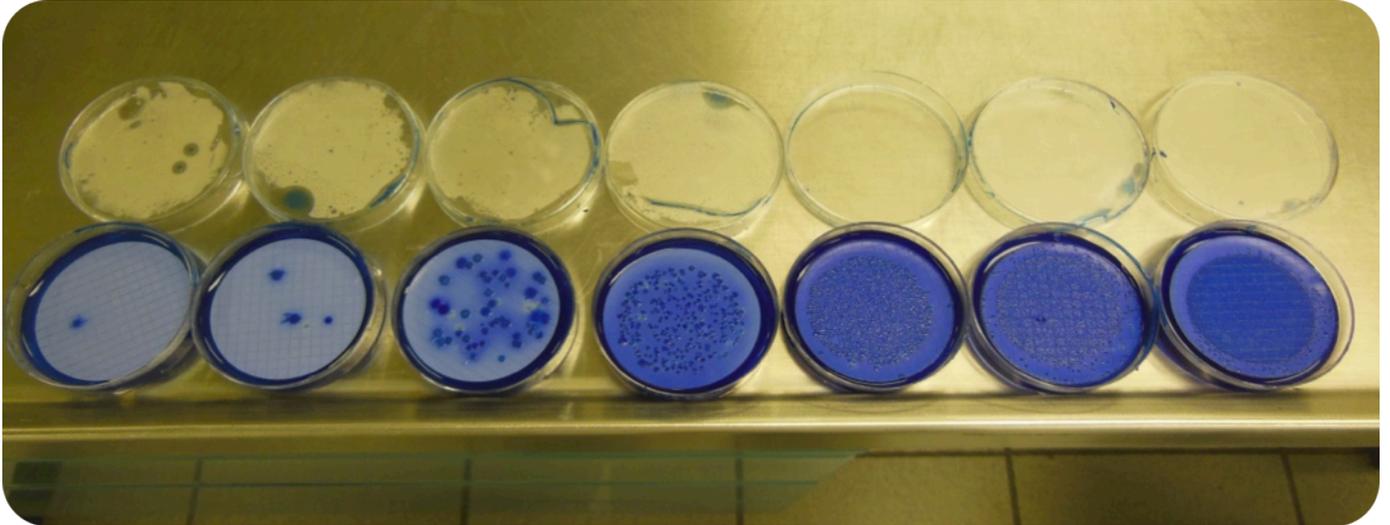
3. Después de cada ensayo se tomó una muestra de 30 ml con frascos de vidrio estériles para su análisis de coliformes totales y fecales por medio de la técnica de membrana filtrante (ver Anexo1). En total se recolectaron 20 muestras, 18 del efluente de las columnas y 2 del influente de la PTAR edificio 12.

*Imagen 3.7. Tres columnas experimentales.*

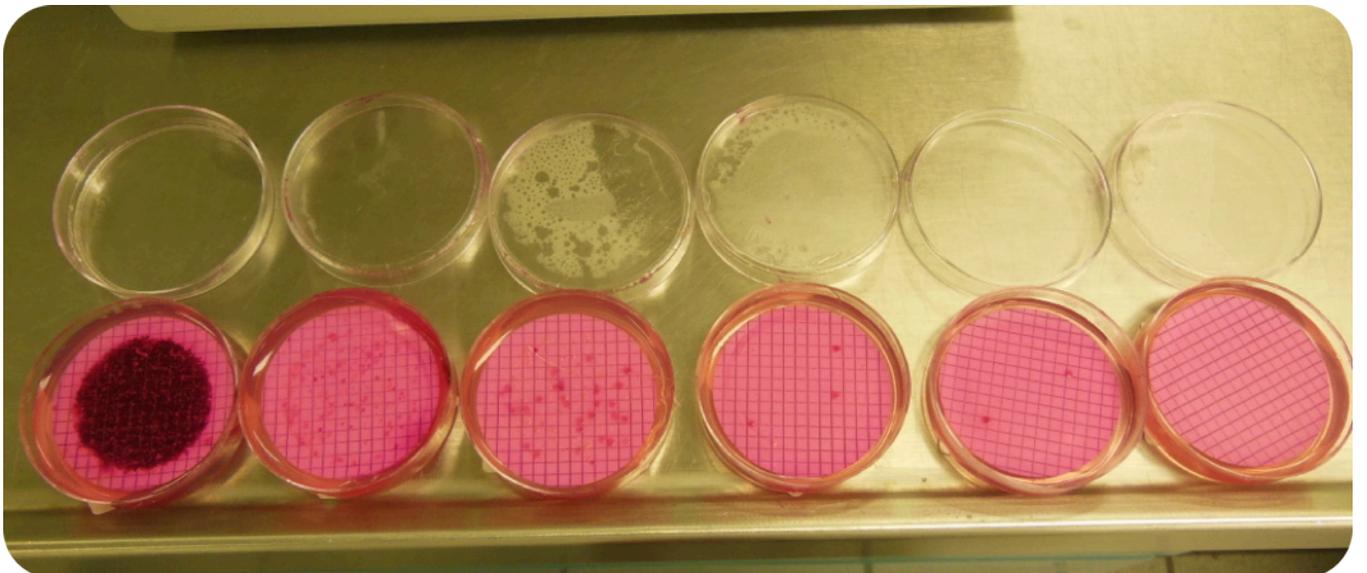


4. Con los resultados obtenidos se hace el cálculo de las eficiencias de remoción de coliformes totales y fecales.

*Imagen 3.8. Conteo de coliformes fecales mediante diluciones.*



*Imagen 3.9. Conteo de coliformes totales mediante diluciones.*



Se verificó que los parámetros a estudiar en el presente proyecto cumplan con los límites máximos permisibles de la norma **NOM-127-SSA1-1994** y **NOM-001-SEMARNAT-1996**.

5. Después de las pruebas con agua residual se limpiaron las columnas y se modificaron las condiciones para dar inicio a la segunda parte del experimento que se enfocó a la remoción de metales pesados.
6. De acuerdo con las investigaciones bibliográficas se decidió utilizar una modificación química a la tierra de diatomeas con Hidróxido de Sodio y Cloruro de manganeso (ver Anexo 2).
7. También fue necesaria la creación de una agua residual sintética con una concentración promedio de 100 mg/L de cada uno de los metales de interés (Cu, Cd, Pb y As), los reactivos seleccionados fueron Nitrato Cúprico ACS ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ ), Cloruro de Cadmio  $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ , Nitrato de Plomo  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  y Trióxido de Arsénico  $\text{As}_2\text{O}_3$  de los cuales se pesaron 0.1 gramos y se disolvieron en 1 litro de agua destilada.
8. La forma en la que se llevó a cabo el experimento se muestra en el plan de trabajo siguiente:
  - a) Hacer pasar 1 litro de agua residual sintética sobre un empaque de tierra de diatomeas de 5 cm, haciéndolo por triplicado.
  - b) Hacer pasar 1 litro de agua residual sintética sobre un empaque de tierra de diatomeas modificada (Mn-diatomita) de 5 cm, haciéndolo por triplicado.
9. Para cada ensayo se recolectó el litro en el efluente de las columnas y se tomó una muestra representativa con frascos de polietileno con capacidad de 30 ml. En total se tomaron 6 muestras, 3 del filtrado de la tierra de diatomeas cruda y 3 de la tierra modificada (Mn- diatomita).
10. Debido a que los ensayos no se realizaron de manera inmediata fue necesario acidificar las muestras, agregándoles ácido nítrico para su preservación y mantenerlas en refrigeración.

11. Ya con los resultados, se obtuvieron los porcentajes de remoción y se comparó conforme a ellos, cual de las dos opciones resulta mejor para su aplicación.
12. También se reviso conforme a la norma **NOM-003-SEMARNAT-1997**, si se cumplen los límites máximos permisibles.
13. Finalmente se verifican que los parámetros a estudiar en el presente proyecto hayan cumplido los objetivos propuestos para así concluir conforme a los resultados obtenidos.

# CAPÍTULO 4

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Análisis de resultados. Primera parte (Coliformes)

El análisis de los resultados de coliformes estuvo regida por 2 parámetros, tiempo de filtrado y espesor del empaque de tierra de diatomeas, conforme esto, los resultados se presentan en el orden especificado en el plan de trabajo.

En la primera prueba se observa claramente la efectividad de la tierra de diatomeas para la remoción de coliformes totales y fecales.

*Tabla 4.1. Resultados para 30 minutos de filtrado y 5 cm de empaque*

Elemento	Coliformes Fecales (UFC/100ml)	Coliformes Totales (UFC/100ml)
Agua Residual	2.60E+08	3.20E+08
Columna 1	2.70E+04	5.50E+04
Columna 2	2.60E+07	2.90E+07
Columna 3	2.60E+06	3.60E+06

Tabla 4.2. Eficiencias de remoción para 30 minutos de filtrado y 5 cm de empaque.

Coliformes Fecales			Coliformes Totales		
Elemento	% Remoción	% Prevaliente	Elemento	% Remoción	% Prevaliente
Columna 1	99.990	0.010	Columna 1	99.983	0.017
Columna 2	90.000	10.000	Columna 2	90.938	9.063
Columna 3	99.000	1.000	Columna 3	98.875	1.125

Conforme a los resultados de esta primera experimentación se observa la remoción mínima de un 90 % del total de los coliformes, tanto fecales como totales, de un agua residual cruda con alto contenido bacteriológico, no obstante no es suficiente para cubrir los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA1-1994 “Agua para uso y consumo humano” ni tampoco cumple con las normas en materia de aguas residuales.

En las siguientes pruebas con el mismo empaque de tierra de diatomeas de 5 cm, de espesor, se observó un ligero decaimiento en la capacidad de remoción del medio filtrante sobre todo en la columna número 2 ya que la 1 y la 3 permanecen estables y con mejores resultados.

Tabla 4.3. Resultados para 2 horas de filtrado y 5 cm de empaque

Elemento	Coliformes Fecales (UFC/100ml)	Coliformes Totales (UFC/100ml)
Agua Residual	2.60E+08	3.20E+08
Columna 1	2.60E+05	2.50E+05
Columna 2	3.80E+07	3.30E+07
Columna 3	9.30E+06	8.40E+06

Tabla 4.4. Eficiencias de remoción para 2 horas de filtrado y 5 cm de empaque

Coliformes Fecales			Coliformes Totales		
Elemento	% Remoción	% Prevaliente	Elemento	% Remoción	% Prevaliente
Columna 1	99.900	0.100	Columna 1	99.922	0.078
Columna 2	85.385	14.615	Columna 2	89.688	10.313
Columna 3	96.423	3.577	Columna 3	97.375	2.625

Pese a una ligera pérdida en su capacidad de remoción, la tierra de diatomeas, muestra buenos resultados, no obstante que no cumple con los límites máximos permisibles en materia de agua para uso y consumo humano y de descargas de aguas residuales. Es importante observar las eficiencias de remoción y no la concentración inicial puesto que el objetivo no es el de utilizar este medio como la única opción para tratar el agua residual.

Para la última etapa con el mismo empaque de 5 cm de tierra de diatomeas, ya se observa una considerable reducción de su capacidad de remoción para coliformes fecales no así para coliformes totales donde se presentan mejores resultados.

Tabla 4.5. Resultados para 8 horas de filtrado y 5 cm de empaque

Elemento	Coliformes Fecales (UFC/100ml)	Coliformes Totales (UFC/100ml)
Agua Residual	6.30E+07	2.70E+08
Columna 1	2.70E+07	2.80E+07
Columna 2	5.80E+07	8.00E+07
Columna 3	4.30E+07	3.50E+07

Tabla 4.6. Eficiencias de remoción para 8 horas de filtrado y 5 cm de empaque

Coliformes Fecales			Coliformes Totales		
Elemento	% Remoción	% Prevaleciente	Elemento	% Remoción	% Prevaleciente
Columna 1	57.143	42.857	Columna 1	89.630	10.370
Columna 2	7.937	92.063	Columna 2	70.370	29.630
Columna 3	31.746	68.254	Columna 3	87.037	12.963

En el último resultado de la primera parte del experimento, al igual que en los resultados anteriores la REMOCIÓN no alcanza los límites máximos permisibles deseados, pero demuestra que efectivamente sus alcances pueden lograrlo con otra combinación de parámetros.

En la segunda parte del experimento se aumentó el empaque a 10 cm y se conservaron los muestreos a cada 30 minutos, 2 y 8 horas con lo que la calidad del efluente mejoró y se presenta en las tablas siguientes.

Tabla 4.7. Resultados para 30 minutos de filtrado y 10 cm de empaque.

Elemento	Coliformes Fecales (UFC/100ml)	Coliformes Totales (UFC/100ml)
Agua Residual	2.70E+08	2.90E+08
Columna 1	2.50E+05	3.90E+06
Columna 2	3.40E+05	2.90E+06
Columna 3	3.00E+05	7.00E+06

Tabla 4.8. Eficiencias de remoción para 30 minutos de filtrado y 10 cm de empaque.

Coliformes Fecales			Coliformes Totales		
Elemento	% Remoción	% Prevaleciente	Elemento	% Remoción	% Prevaleciente
Columna 1	99.907	0.093	Columna 1	98.655	1.345
Columna 2	99.874	0.126	Columna 2	99.000	1.000
Columna 3	99.889	0.111	Columna 3	97.586	2.414

Como se esperaba, los resultados obtenidos muestran una capacidad de remoción superior, más no suficiente para estar dentro de los límites máximos permisibles que se desea alcanzar, también se observa una uniformidad entre las tres columnas; lo que permite concluir que la experimentación es confiable y que presenta un ligero decaimiento del 10 % al final de las 8 horas.

Tabla 4.9. Resultados para 2 horas de filtrado y 10 cm de empaque.

Elemento	Coliformes Fecales (UFC/100ml)	Coliformes Totales (UFC/100ml)
Agua Residual	2.70E+08	2.90E+08
Columna 1	4.80E+05	3.40E+06
Columna 2	6.30E+05	2.60E+06
Columna 3	7.60E+06	9.60E+06

Tabla 4.10. Eficiencias de remoción para 2 horas de filtrado y 10 cm de empaque.

Coliformes Fecales			Coliformes Totales		
Elemento	% Remoción	% Prevaliente	Elemento	% Remoción	% Prevaliente
Columna 1	99.822	0.178	Columna 1	98.828	1.172
Columna 2	99.767	0.233	Columna 2	99.103	0.897
Columna 3	97.185	2.815	Columna 3	96.690	3.310

Tabla 4.11. Resultados para 8 horas de filtrado y 10 cm de empaque.

Elemento	Coliformes Fecales (UFC/100ml)	Coliformes Totales (UFC/100ml)
Agua Residual	2.70E+08	2.90E+08
Columna 1	2.60E+07	2.80E+07
Columna 2	2.20E+07	2.80E+07
Columna 3	2.30E+07	5.20E+07

Tabla 4.12. Eficiencias de remoción para 8 horas de filtrado y 10 cm de empaque.

Coliformes Fecales			Coliformes Totales		
Elemento	% Remoción	% Prevaliente	Elemento	% Remoción	% Prevaliente
Columna 1	90.370	9.630	Columna 1	90.345	9.655
Columna 2	91.852	8.148	Columna 2	90.345	9.655
Columna 3	91.481	8.519	Columna 3	82.069	17.931

Como se puede observar, de las 18 muestras analizadas ninguna cumple con los límites máximos permisibles estipulados en las normas **NOM-127-SSA1-1994** y **NOM-001-SEMARNAT-1996**, pero cabe resaltar que la filtración redujo en más de un 90% la cantidad de coliformes totales y fecales presentes en el agua residual cruda. Pese a que no se alcanzan los límites permisibles, sí se consiguieron muy buenos resultados de remoción de coliformes.

Cabe resaltar que los objetivos del experimento son comprobar la capacidad de remoción de coliformes totales y fecales por parte de la tierra de diatomeas, lo que efectivamente se logró. El otro objetivo fue ver si con un solo proceso de filtrado era suficiente para alcanzar los límites máximos permisibles, lo que no se logró debido a la gran cantidad de microorganismos en el agua residual de muestra, pero es muy factible que se logre si se aplican filtraciones posteriores.

A continuación se hace una comparación, tomando en cuenta como parámetro el espesor del empaque de tierra de diatomeas, donde se observa que es mayor la remoción en el empaque de 10 cm de tierra de diatomeas, esto debido a que el agua residual tuvo más superficie de contacto.

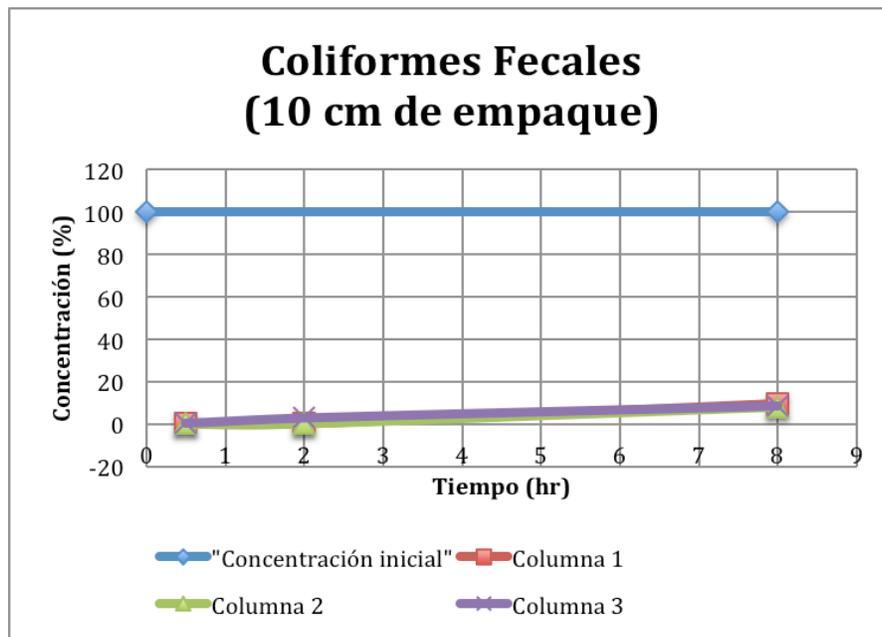
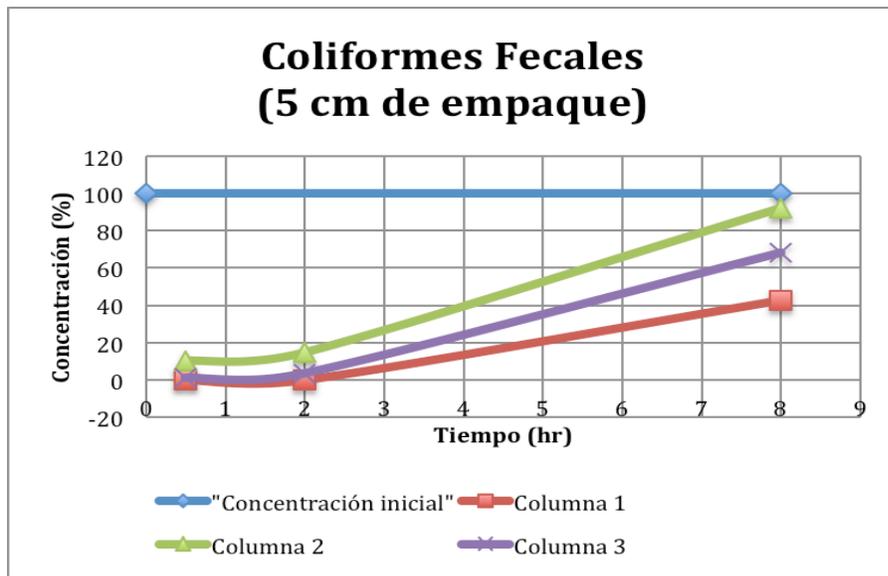


Imagen 4.1. Comparación de remoción de coliformes fecales.

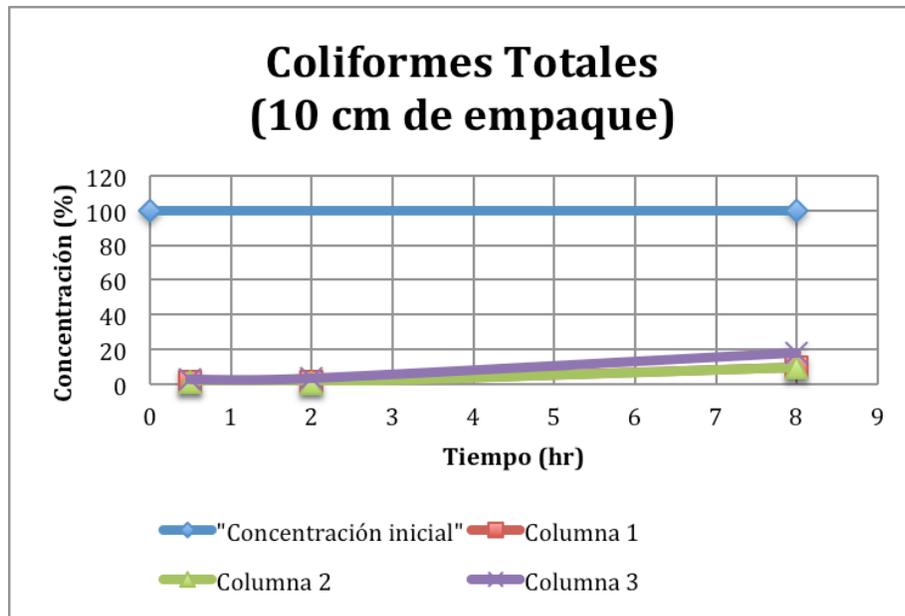
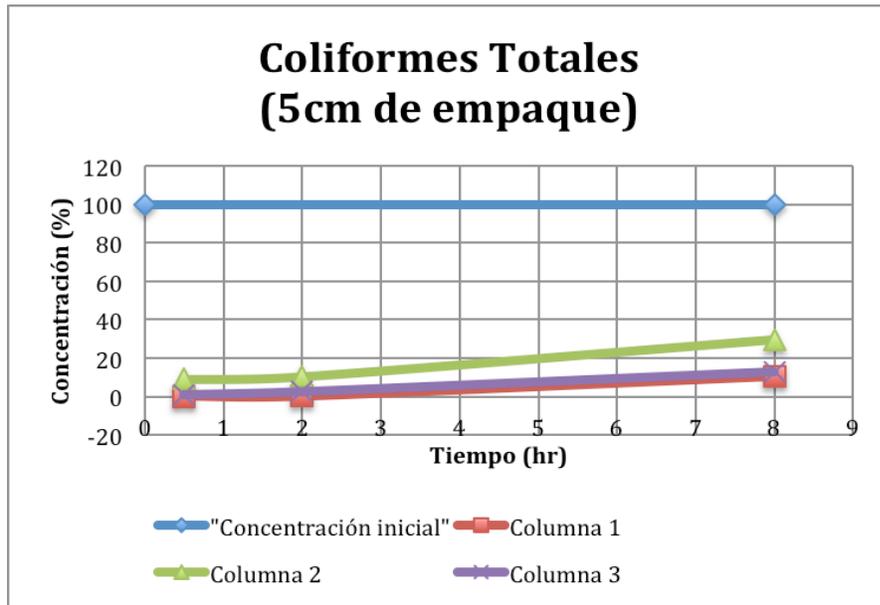


Imagen 4.2. Comparación de remoción de coliformes totales.

## 4.2 Análisis de resultados. Primera parte (Metales pesados)

El análisis de los resultados de metales pesados estuvo regido por la filtración de un agua residual sintética sobre 2 medios filtrantes: tierra de diatomeas natural y tierra modificada (Mn-Diatomita), los resultados se presentan en el orden especificado en el plan de trabajo y se muestran separados por columnas.

En la primera prueba realizada con tierra de diatomeas natural se demuestra que ésta posee una alta capacidad para remover los iones  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  y  $As^{3+}$  del agua residual sintética.

Tabla 4.13. Límites de detección instrumentales para cada elemento solicitado

Límites de detección	(mg/l)
LD Arsénico	0.0700
LD Cadmio	0.0200
LD Cobre	0.1000
LD Plomo	0.0300

Tabla 4.14. “Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público **NOM-003-SEMARNAT-1997**”

NOM-003-SEMARNAT-1997		
Elemento	Promedio mensual (mg/l)	Promedio Diario (mg/l)
Arsénico	0.2	0.4
Cadmio	0.2	0.4
Cobre	4	6
Plomo	0.5	1

Tabla 4.15. Resultados de la columna 1 con empaque de tierra de diatomeas natural de 5 cm de espesor.

Tierra de diatomeas natural			
Columna 1			
Reactivo	Concentración Inicial (mg/l)	Concentración Final* (mg/l)	% de Remoción
Cloruro de cadmio (CdCl <sub>2</sub> 2.5 H <sub>2</sub> O)	103.00	39.0000	62.1359
Trióxido de arsénico (As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	101.20	<LD As	99.9308
Nitrato Cúprico ACS ( Cu (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 2.5H <sub>2</sub> O)	100.10	12.9300	87.0829
Nitrato de plomo (Pb (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )	100.80	6.2900	93.7599

Tabla 4.16. Resultados de la columna 2 con empaque de tierra de diatomeas natural de 5 cm de espesor.

Tierra de diatomeas natural			
Columna 2			
Reactivo	Concentración Inicial (mg/l)	Concentración Final* (mg/l)	% de Remoción
Cloruro de cadmio (CdCl <sub>2</sub> 2.5 H <sub>2</sub> O)	105.0000	40.3300	61.5905
Trióxido de arsénico (As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	101.8000	0.1300	99.8723
Nitrato Cúprico ACS ( Cu (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 2.5H <sub>2</sub> O)	105.1000	18.3200	82.5690
Nitrato de plomo (Pb (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )	101.7000	21.3700	78.9872

Tabla 4.17. Resultados de la columna 3 con empaque de tierra de diatomeas natural de 5 cm de espesor.

Tierra de diatomeas natural			
Columna 3			
Reactivo	Concentración Inicial (mg/l)	Concentración Final *(mg/l)	% de Remoción
Cloruro de cadmio (CdCl <sub>2</sub> 2.5 H <sub>2</sub> O)	104.7000	38.8300	62.9131
Trióxido de arsénico (As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	101.2000	0.4700	99.5356
Nitrato Cúprico ACS ( Cu (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 2.5H <sub>2</sub> O)	105.9000	19.6800	81.4164
Nitrato de plomo (Pb (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )	104.0000	20.9200	79.8846

Los resultados obtenidos del análisis del efluente de las 3 columnas muestran la capacidad de la tierra de diatomeas para ser usada como un material adsorbente. De los cuatro metales utilizados en la experimentación, el que mayor porcentaje de remoción presentó fue el ion As<sup>3+</sup> con porcentajes de remoción superiores al 99.9 %, seguido de los iones Cu<sup>2+</sup> y Pb<sup>2+</sup> con porcentajes de remoción aceptables del 81.41 al 87.08 % y del 78.98 al 93.75 % respectivamente; por último, para el ion Cd<sup>2+</sup> se obtuvo el menor porcentaje de remoción que va del 61.59 a 62.91 % .

En cuanto al cumplimiento de la **NOM-003-SEMARNAT-1997** “límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público” el ion As<sup>3+</sup> es el único que está por debajo de los límites establecidos en dicha norma que establece 0.2 (mg/l) para promedio mensual y 0.4 (mg/l) para promedio diario, las columnas que están por debajo de dichos límites son la 1 y 2 con valores de <0.07 (mg/l) y 0.13 (mg/l). Los demás iones están por encima de la norma, por lo que es necesario un nuevo proceso de filtrado para obtener los límites establecidos. Sin embargo, debe señalarse que las concentraciones iniciales con las que se trabajó son muy elevadas.

Para la segunda filtración con empaque de tierra de diatomeas modificada con manganeso (Mn-diatomita), se observa un considerable incremento en la remoción de los iones de metales pesados debido obviamente a la modificación química realizada.

*Tabla 4.18. Resultados de la columna 1 con empaque de Mn-diatomita de 5 cm de espesor.*

Tierra de diatomeas modificada (Mn-Diatomita)			
Columna 1			
Reactivo	Concentración Inicial (mg/l)	Concentración Final *(mg/l)	% de Remoción
Cloruro de cadmio (CdCl <sub>2</sub> 2.5 H <sub>2</sub> O)	105.4000	<LD Cd	99.9810
Trióxido de arsénico (As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	100.1000	2.2800	97.7223
Nitrato Cúprico ACS ( Cu (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 2.5H <sub>2</sub> O)	102.6000	<LD Cu	99.9025
Nitrato de plomo (Pb (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )	100.5000	<LD Pb	99.9701

*Tabla 4.19. Resultados de la columna 2 con empaque de Mn-diatomita de 5 cm de espesor.*

Tierra de diatomeas modificada (Mn-Diatomita)			
Columna 2			
Reactivo	Concentración Inicial (mg/l)	Concentración Final* (mg/l)	% de Remoción
Cloruro de cadmio (CdCl <sub>2</sub> 2.5 H <sub>2</sub> O)	104.0000	0.1000	99.9038
Trióxido de arsénico (As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	101.9000	<LD As	99.9313
Nitrato Cúprico ACS ( Cu (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 2.5H <sub>2</sub> O)	100.3000	<LD Cu	99.9003
Nitrato de plomo (Pb (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )	102.4000	<LD Pb	99.9707

Tabla 4.20. Resultados de la columna 3 con empaque de Mn-diatomita de 5 cm de espesor.

Tierra de diatomeas modificada (Mn-Diatomita)			
Columna 3			
Reactivo	Concentración Inicial (mg/l)	Concentración Final *(mg/l)	% de Remoción
Cloruro de cadmio (CdCl <sub>2</sub> 2.5 H <sub>2</sub> O)	102.1000	0.1700	99.8335
Trióxido de arsénico (As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	102.8000	<LD As	99.9319
Nitrato Cúprico ACS ( Cu (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 2.5H <sub>2</sub> O)	100.3000	0.1200	99.8804
Nitrato de plomo (Pb (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )	105.0000	<LD Pb	99.9714

*\*Análisis espectroscopia de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) para la determinación y cuantificación de Arsénico, Cobre, Cadmio, y Plomo.*

Los resultados obtenidos con este medio filtrante son excelentes ya que demuestran que la modificación con Manganeseo fue exitosa y se refleja en que sólo el ion As<sup>3+</sup> de la columna 1 con un valor de 2.28 (mg/l) está por encima de la norma **NOM-003-SEMARNAT-1997** que establece un límite de 0.2 (mg/l) para promedio mensual y 0.4 (mg/l) para promedio diario.

El resto de los resultados cumplen con los límites permisibles de la norma **NOM-003-SEMARNAT-1997** e incluso la mayoría está por debajo del límite de detección del equipo utilizado, lo que se ve reflejado en porcentajes de remoción superiores al 99.88 %.

Tabla 4.21. Resumen de resultados del empaque de Mn-diatomita de 5 cm de espesor.

Elemento	NOM-003-SEMARNAT-1997		Concentración (mg/l)		
	Promedio mensual (mg/l)	Promedio Diario (mg/l)	Columna 1	Columna 2	Columna 3
Arsénico	0.2	0.4	2.2800	<LD As	<LD As
Cadmio	0.2	0.4	<LD Cd	0.1000	0.1700
Cobre	4	6	<LD Cu	<LD Cu	0.1200
Plomo	0.5	1	<LD Pb	<LD Pb	<LD Pb

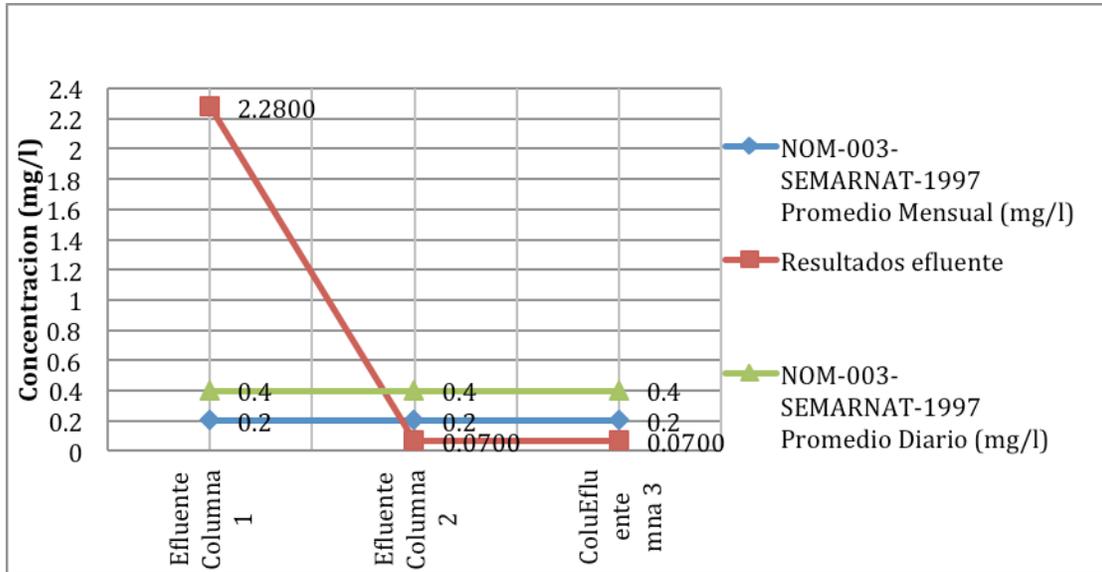


Imagen 4.3 Comparación NOM-003-SEMARNAT-1997 (parametro Arsénico)

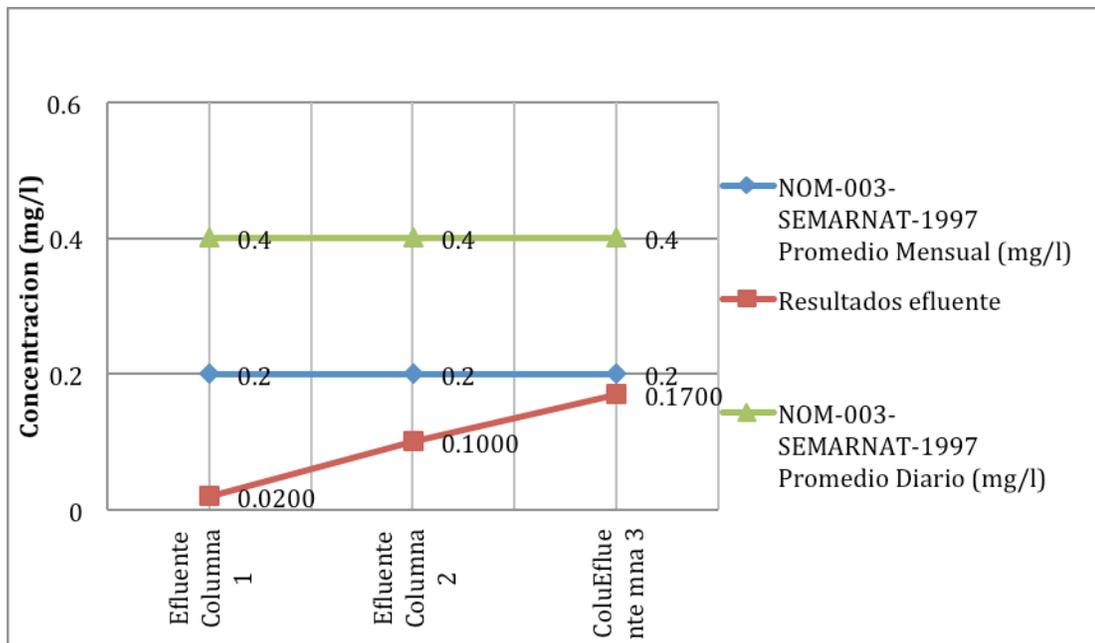


Imagen 4.4 Comparación NOM-003-SEMARNAT-1997 (parametro Cadmio)

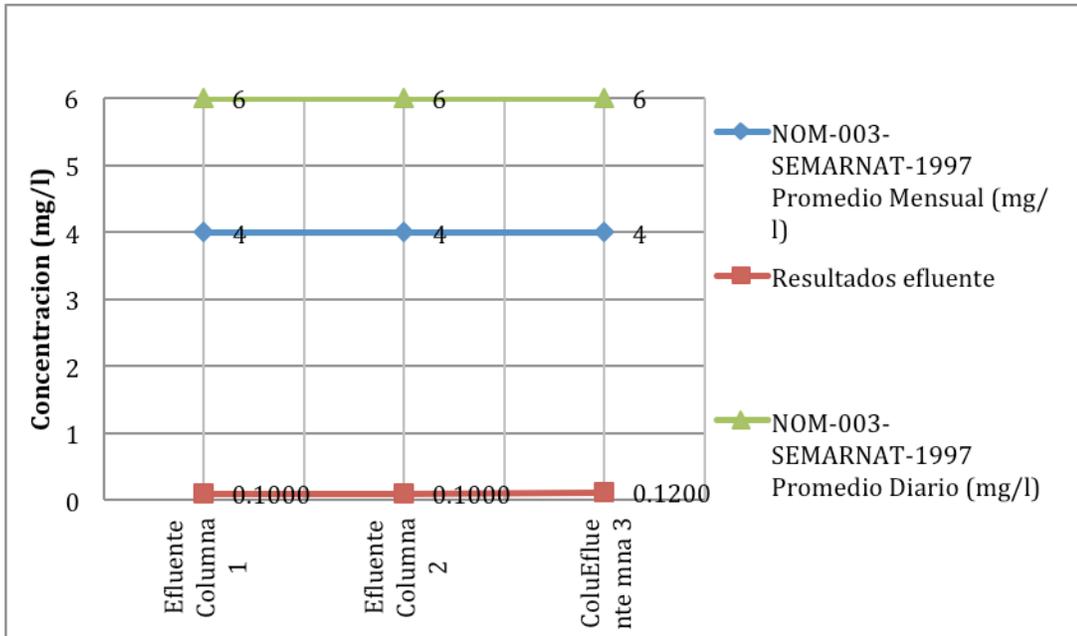


Imagen 4.5 Comparación NOM-003-SEMARNAT-1997 (parametro Cobre)

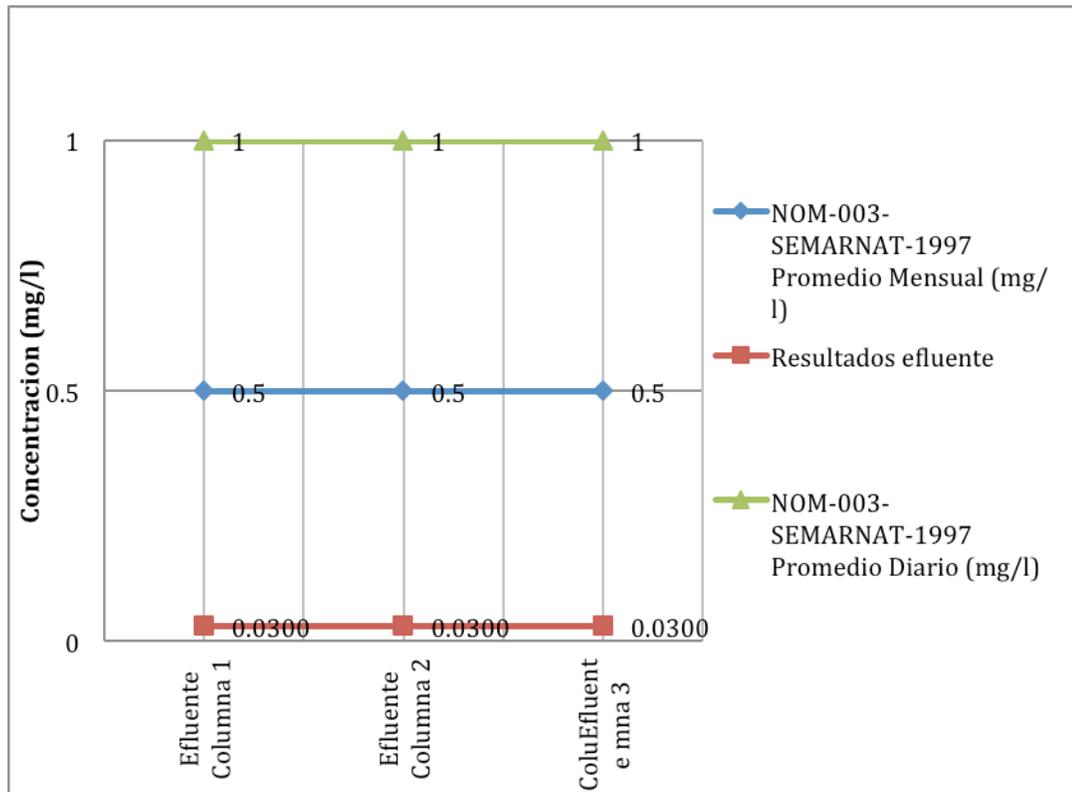


Imagen 4.6 Comparación NOM-003-SEMARNAT-1997 (parametro Plomo)



# CAPÍTULO 5

## CONCLUSIONES

Las investigaciones sobre la tierra de diatomeas a nivel mundial son escasas y en ellas no se abordan las posibles aplicaciones que podría tener en el campo del tratamiento de aguas residuales o aguas para consumo humano. Durante la revisión bibliográfica no se encontró ningún artículo donde se manejara la posibilidad de aprovechar su capacidad como medio filtrante para la remoción de microorganismos, por lo que en este trabajo se experimentó para aprovechar dichas características físicas de la tierra tales como su baja densidad, alta porosidad y una alta superficie específica.

Los resultados del experimento arrojan que las 18 muestras tomadas después del proceso de filtración no cumplen con los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano..." ni la NOM-001-SEMARNAT-1996 en materia de descargas de aguas residuales.

El análisis microbiológico realizado muestra que la calidad no es óptima al final del primer proceso de filtrado, pero demostró la capacidad de remoción de la tierra de diatomeas. Los mejores resultados se presentaron con el empaque de 10 cm, donde los porcentajes de remoción fueron superiores al 90% pero siendo insuficientes para cumplir los límites máximos permisibles.

Por otra parte numerosos estudios han sido realizados para investigar las potenciales aplicaciones de la tierra de diatomeas como ADSORBENTES para la remoción de uranio, iones de metales pesados y colorantes textiles de las aguas residuales.

En relación a su utilización como adsorbente la Tierra de diatomeas natural mostro muy buenos valores de adsorción de los iones  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  y  $As^{3+}$  del agua

residual sintética, pero fue con el ion  $As^{3+}$  que alcanzo grandes porcentajes de adsorción superiores al 99.9 %, con los que incluso logro cumplir los límites máximos permisibles de la norma NOM-003-SEMARNAT-1997. En el caso de los demás iones, también sufrieron una reducción en su concentración al final de la filtración, quedando el agua residual con una mejor calidad pero insuficiente para superar la norma establecida.

La modificación química realizada a la Tierra de diatomeas con manganeso para remover iones de metales pesados fue exitosa ya que en el análisis de los resultados se observo su gran eficacia como medio adsorbente con porcentajes de adsorción superiores al 99.98 % y dejando el agua residual por debajo de los limites de la norma NOM-003-SEMARNAT-1997, solo el ion  $As^{3+}$  de la columna 1 no logro superar dicha norma pero muestra una concentración muy cercana.

Finalmente conforme a los análisis de los resultados de calidad del agua realizados en este trabajo para contaminantes microbiológicos y metales pesados, se demuestra que la Tierra de diatomeas debe ser considerada como una alternativa eficaz de tratamiento de aguas residuales pues posee características únicas que la hacen un excelente medio filtrante de bajo costo y de fácil implementación y operación.

## RECOMENDACIONES

Se encontró que la tierra de diatomeas es un excelente material para ser utilizado como medio filtrante pero puede verse afectado por ciertos aspectos, por lo que se recomienda llevar a cabo un monitoreo del sistema a ser utilizado para evitar un mal funcionamiento y obtener datos erróneos.

En materia de filtración de aguas residuales se recomienda quitar la materia flotante de las aguas para evitar un taponamiento de los conductos, así como poner una barrera permeable confinante al empaque de tierra para evitar la excesiva acumulación de sólidos en la superficie.

Conforme a los experimentos realizados pudimos ver que este tipo de filtro tiende a obstruirse a largo plazo por la cantidad de sólidos retenidos en la superficie de contacto, para llevar a cabo un lavado, la manera más efectiva es la inyección de agua a contra flujo y hacer el retiro de los sólidos acumulados.

Finalmente hago una recomendación para elevar la eficiencia de este proceso; si bien una sola filtración resulta insuficiente para alcanzar los límites máximos permisibles, tengo la seguridad que la implementación de una segunda o tercera filtración mejorarían considerablemente la calidad del efluente, incluso pudiendo llegar a cumplir con los límites máximos permisibles.



## Bibliografía

- ✚ Arundel, J. (2002). Tratamientos de aguas negras y efluentes industriales. España: Acribia.
- ✚ Carabias, J. & Landa, R. (2005). Agua, medio ambiente y sociedad, hacia la gestión de los recursos hídricos en México. México: primera edición. UNAM-Colmex y Fundación Gonzalo Río Arronte
- ✚ Cervantes, C., Moreno Sánchez, R. (1999). Contaminación ambiental por metales pesados. AGT Editor, S.A.
- ✚ César Valdez, E. & Vázquez González, A.B. (2003) Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. México. Fundación ICA A.C.
- ✚ Cicerone, D.S., Sánchez-Proañó, P., Reich, S. (2005). Contaminación y medio ambiente. Argentina: Eudeba.
- ✚ Dickson, T.R. (2005). Química enfoque ecológico. Ed. Limusa
- ✚ Garritz, A., Chamizo, J.A. (1994). Química. Pearson Prentice Hall.
- ✚ H. Marsh, J. (2010) Water filtration using diatomaceous earth. Estados Unidos.
- ✚ Hossam Elder, M. (2010). Diatomite: Its characterization, modifications and applications. Department of chemistry, Faculty of science, Suez Canal University, Ismailia, Egipto.
- ✚ Inglethorphe, S. D. J. (1993). Industrial minerals laboratory manual: Diatomite. BGS Technical report WG/92/39.
- ✚ Moslehi, P., Nahid, P. (2007). Heavy metal removal from Water and wastewater Using raw and modified diatomite. Department of chemical and petroleum engineering, Sharif University of Technology Tehran, Irán.

- ✚ Orozco Barrenetxea, C., Pérez Serrano, A., González Delgado, M. N., Rodríguez Vidal, F. J., Alfayate Blanco, J. M. (2003) Contaminación ambiental. Una visión desde la química. Ed. Thomson: España.
- ✚ Pérez López, J. A., Espigares García, M. (1995). Estudio Sanitario del agua. España (Granada): Universidad de Granada.
- ✚ Pookmanee, P., Thippraphan, P. (2010). Journal of the microscopy society of Thailand.
- ✚ Rao, D.G., Senthilkumar, R., Byrne, J.A., Feroz, S. (2013) Wastewater Treatment. Advanced processes and technologies. IWA Publishing
- ✚ Robledo Díaz, D.N. (2012). Propuesta de un sistema de lagunas de estabilización, para el tratamiento de las aguas residuales de la zona poniente de la Ciudad de Tapachula, Chiapas. Tesis de licenciatura en Ingeniería civil. Facultad de ingeniería. UNAM. México.
- ✚ Silva Sandoval, C. (2009). Diagnóstico fisicoquímico del agua para reúso en Ciudad Universitaria. Tesis para obtener el título de Químico. Facultad de Química. UNAM. México
- ✚ Tebbutt, T. (1998). Fundamentos en el control de la calidad del agua. Ed. Limusa: México.
- ✚ Vázquez González, A. B. (2006). Manual de prácticas de laboratorio de Ingeniería Sanitaria y ambiental. México: Facultad de Ingeniería (UNAM)
- ✚ Yahya Salim, A.D., Maha Farooq, T. & Reyad Awwad, S. (2000). The feasibility of using Diatomite and Mn- Diatomite for remediation of water, pp. 2299-2310.

## Información electrónica

- ✚ Atlas Digital del Agua México. (2012) Sistema Nacional de Información del Agua  
<http://www.conagua.gob.mx/atlas/ciclo12.html>  
(Consultado por última vez el 4 de agosto de 2013)
- ✚ CONAGUA. (2011). Estadísticas del agua, edición 2011.  
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-1-11-EAM2011.PDF>  
(Consultado por última vez 4 de agosto de 2013)
- ✚ Cuentame, INEGI.  
<http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/sobreexplota.aspx?tema=T>  
(Consultado por última vez el 4 de agosto de 2013)
- ✚ Cuido el agua  
<http://www.cuidoelagua.org/empapate/aguaresiduales/aguasresiduales.html>  
(Consultado por última vez 25 de agosto de 2013)
- ✚ G. Ellis, T. (2013). Heavy metals. Department of Civil, Construction and Environmental Engineering, Iowa State University, Ames, Iowa, USA.  
<http://www.eolss.net/EolssSampleChapters/C06/E6-13-04-05/E6-13-04-05-TXT-04.aspx>  
(Consultado por última vez el 6 de agosto de 2013)
- ✚ INEGI, (2013). Estadística Básica sobre Medio Ambiente. Boletín de prensa núm. 121/13 [en línea], pp.1-3.  
<http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/Boletines/Boletin/Comunicados/Especiales/2013/abril/comunica2.pdf>  
(Consultado por última vez el 4 de agosto de 2013)
- ✚ Moslehi, P., Nahid, P. (2007) Heavy metal Removal from water and wastewater using raw and modified diatomite. Vol. 20, No. 2, pp.141-146.  
<http://dx.doi.org/10.1081/SS-100102103>  
(Consultado por última vez el 4 de agosto de 2013)

Rivero Serrano, O., Ponciano Rodríguez, G. (1996). Riesgos ambientales para la salud en la Ciudad de México. UNAM programa Universitario del Medio Ambiente.  
[http://www.agua.org.mx/h2o/index.php?option=com\\_content&view=section&id=6&Itemid=300004](http://www.agua.org.mx/h2o/index.php?option=com_content&view=section&id=6&Itemid=300004)

(Consultado por última vez el 4 de agosto de 2013)

✚ Sainz Santamarina, J., Becerra Perez, M. (2003). Los conflictos por agua en Mexico: avances de investigación.

[http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/gacetitas/389/conf\\_agua.html](http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/gacetitas/389/conf_agua.html)

(Consultado por última vez 31 de agosto de 2013)

# ANEXO 1

“Técnica de la membrana filtrante”

---

## **COLIFORMES POR LA TÉCNICA DE LA MEMBRANA FILTRANTE**

### **Objetivo**

Cuantificar coliformes en muestras de agua, por la técnica de filtro de membrana.

### **Campo de aplicación**

Se aplica a la cuantificación de coliformes totales y coliformes fecales en aguas para uso y consumo humano, fuentes de abastecimiento, pero no en aguas residuales que sólo hayan recibido tratamiento primario seguido de cloración.

### **Definiciones**

Grupo coliforme: bacterias aerobias y anaerobias facultativas gran-negativas no esporuladas, forman colonias con brillo metálico y crecen a una temperatura de 35° C en 24 más o menos 2 horas sobre un nivel medio que contiene lactosa.

Filtración: es el medio por el cual las partículas pueden ser separadas de un medio líquido.

Medio de cultivo: sistema que contiene nutrimentos que promueven el crecimiento bacteriano.

Patógeno: microorganismo capaz de producir enfermedad.

Agua para uso y consumo humano: agua exenta de microorganismos patógenos y de origen fecal, así como de contaminantes nocivos para la salud del hombre y animales.

Fermentación: degradación anaeróbica de los hidratos de carbono por los microorganismos, en la que el oxígeno molecular como aceptor terminal de electrones ha sido sustituido por un sustrato inorgánico.

Tinción Gram: Tinción diferencial de bacterias apta para criterios de clasificación e identificación de las bacterias.

Bacterias gram-positivas o gram (+): bacterias que retienen el colorante primario (cristal violeta) tras el tratamiento con el agente decolorante (alcohol-acetona).

Bacterias gram-negativas o gram (-): bacterias que bajo la acción del alcohol-acetona se decoloran o deben teñirse con el colorante de contraste (safranina).

Organismos Coliformes: organismos capaces de crecimiento aeróbico ya sea  $35 \pm 1$  °C ó  $37 \pm 1$  °C en un medio de cultivo líquido lactosado con producción de ácido y gas dentro de un periodo de 48 h.

Organismos Coliformes Fecales (termo tolerantes): Organismos coliformes como se describen anteriormente que tienen las mismas propiedades fermentativas a  $44 \pm 0.5$  °C.

### **Fundamento**

La técnica se basa en que al pasar el agua a través de una membrana de acetato de celulosa y 0.45 micras de poro, las bacterias presentes quedan retenidas en ella. Un supuesto es que una bacteria da lugar a una colonia, es decir a una Unidad Formadora de Colonia, que es lo que permite estimar la densidad bacteriana en volumen de muestra determinado.

### **Equipo**

- Estufa para esterilización y secado: equipada con un termómetro y un termostato y operar normalmente a una temperatura de 170 a 180° C.
- Incubadora: debe ser equipada con un termostato para que la temperatura dentro de la incubadora sea de  $35 \pm 0.5$  °C con capacidad suficiente para permitir la circulación del aire alrededor de todos los materiales a incubar.
- Baño de agua: equipada con termostato, un agitador de baja velocidad para promover la circulación del agua y mantener la temperatura uniforme en todos los puntos. La temperatura del baño de agua debe de ser  $44.5 \pm 0.2$  °C.
- Balanza: con sensibilidad de al menos de 0.1 a pesar 150g.
- Parrilla: con agitador y calentamiento.
- Autoclave: para esterilizar a una temperatura de 121°C a 15 libras de presión.

### **Reactivos**

- Sal salina al 0.85%
- Etanol absoluto
- Agua destilada
- Caldo MFC
- Caldo M-Endo

Preparación de reactivos y medios de cultivo

Para el agua de dilución

Se utiliza una solución salina al 0.85% la cual se debe de meter al autoclave a 1.4 Kg de presión por 15 minutos.

Fosfato mono potásico.....34 g  
Agua destilada.....500 ml

## Solución A

Se completa hasta lograr tener 1 litro de solución  
Se introduce al autoclave

Cloruro de magnesio.....81.1 g  
Agua destilada.....1000 ml

## Solución B

Se introduce al autoclave  
Se mantiene en refrigeración

1.25 ml A + 5 ml B

Para los medios de cultivo

Caldo MFC

Pesar 37 g de medio deshidratado y disolverlo en 1000 ml de agua destilada, calentar y mezclar sin dejar de hervir hasta su completa disolución. Distribuir en las cajas Petri ya estériles de 2 a 3 ml de medio.

Caldo Endo

Pesar 48 g de medio deshidratado y disolverlo en 1000 ml de agua destilada, calentar y mezclar sin dejar de hervir hasta su completa disolución. Este medio necesita autoclave por 15 minutos. Distribuir en las cajas Petri ya estériles de 2 a 3 ml de medio.

### Material

- Probetas de 50 ml
- Cajas Petri estériles de vidrio o plástico de 60 x 15 mm
- Membranas filtrantes de acetato de celulosa de 0.47 a 50 mm de diámetro, con un poro de 0.45 micras
- Pads o cojinetes absorbentes de 1mm de espesor y del mismo diámetro que el de la membrana filtrante
- Pinzas para maniobrar las membranas
- Matraz quitazato
- Unidades de filtración estériles
- Bolsas de plástico estériles
- Mechero de bunsen o similar

### Condiciones de la muestra

Las muestras deben de ingresar al laboratorio en frascos de vidrio color ámbar o bolsas de plástico previamente esterilizadas, preservadas con tiosulfato de sodio para neutralizar la acción del cloro con EDTA para impedir el efecto de los metales sobre las bacterias.

### **Interferencias**

Exceso de materia orgánica, turbiedad, sólidos suspendidos que obstaculizan la filtración y enmascaran e incluso pueden inhibir el desarrollo de las colonias.

### **Precauciones**

Evitar que los medios de cultivo se expongan excesivamente al calor durante la disolución del medio.

No pipetear con la boca, usar perilla de hule en éste caso.

Después de haber terminado los análisis, esterilizar todo el material que se utilice en esta técnica para evitar contaminación.

Si es necesario hacer diluciones seriadas, utilizar pipetas diferentes para cada dilución.

Evitar corrientes de aire.

Utilizar un equipo diferente para cada muestra.

### **Procedimiento**

Filtración de la muestra

Determinación de Coliformes fecales

- A. Armar el equipo de filtración y colocar una membrana filtrante estéril sobre el soporte poroso, utilizando las pinzas esterilizadas por flameo.
- B. Colocar el embudo superior y asegurarlo con las pinzas especiales.
- C. Vaciar de 20 a 30 ml de agua de dilución estéril para humedecer la membrana, añadir el volumen de la muestra que se ha elegido y aplicar vacío.
- D. Después de que la muestra ha pasado a través del vacío enjuagar el embudo con 20 o 30 ml de agua de dilución estéril.
- E. Desarmar el aparato de filtración, y con ayuda de unas pinzas flameadas con alcohol retirar la membrana con la muestra ya filtrada y depositarla en una caja Petri con el medio de cultivo.

Colocar la membrana en cajas que contengan el medio MFC. La cuadrícula debe quedar en la parte superior de la membrana como referencia de que es la cara que contiene a las bacterias y para facilitar posteriormente el conteo.

Asegúrese de que no quedan burbujas atrapadas entre el cojinete y la membrana

- F. Las cajas Petri con la muestra son colocadas en bolsas de plástico con cierre hermético a prueba de agua.
- G. Sumergir las bolsas de plástico en un baño de agua a  $44.5 \pm 0.2$  °C durante  $24 \pm 2$  horas. La bolsa de plástico deberá quedar debajo de la superficie del agua durante toda la incubación.
- H. Las colonias típicas de Coliformes fecales son pequeña, redondas y presentan una coloración azul en la superficie.

#### Determinación de las Coliformes Totales

- A. Para la determinación de Coliformes totales se deberá seguir el mismo procedimiento que para los Coliformes fecales, pero colocar la membrana en cojinetes que contenga medio M-ENDO e incubar a  $35 \pm 0.5$  °C durante  $24 \pm 2$  horas
- B. Las colonias típicas de Coliformes totales son redondas, pequeñas, presentan un color rosa a verde oscuro, con brillo metálico en la superficie de la colonia.

#### Cálculos

Los resultados se reportan como unidades formadoras de colonias/ 100 ml (UFC/100 ml). Con la siguiente formula:

$$\text{Coliformes}/100 \text{ ml} = \left( \frac{\text{colonias contadas}}{\text{ml de muestra filtrada}} \right) (100)$$

# ANEXO 2

“Técnica de Mn-diatomita”

---

**Modificación química de la tierra de diatomeas con Manganeso.**

1. Las muestras de tierra de diatomeas fueron lavadas con agua destilada para remover finos y otras impurezas adheridas, secada a 100° C, desecada y almacenada en recipientes herméticos de vidrio.
2. La modificación de la superficie fue acompañada por el tratamiento de la tierra de diatomeas con Cloruro de Manganeso e Hidróxido de Sodio.
3. Muestras de tierra de diatomeas (15g) fueron inmersas en Hidróxido de Sodio 6M a una temperatura constante de 90°C por un tiempo de 2 hr.
4. La mezcla fue luego ubicada en 100 ml de Cloruro de Manganeso 2.5M (ajustado a un pH de 1-2 con Acido Clorhídrico) , a temperatura ambiente, por 10 hr.
5. El excedente de Manganeso en la tierra de diatomeas fue filtrado y separado de la mezcla.
6. El solido sobrante fue luego inmerso en Hidróxido de Sodio 6M, a temperatura ambiente, por 10 hr para precipitar el Hidróxido de Manganeso.
7. La solución en exceso fue decantada y la tierra de diatomeas fue puesta en un refractario para estar expuesta al aire (para facilitar la oxidación del Hidróxido de Manganeso y formar una mezcla de Óxidos de manganeso Hidratados).
8. La muestra fue luego lavada con agua, secada a 100°C, desecada y ubicada en frascos de vidrio herméticos para su posterior uso.

En este trabajo, la tierra de diatomeas modificada es referida como Mn-diatomita.

# ANEXO 3

“Normas Mexicanas”

---

## **MODIFICACION a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo**

MODIFICACION A LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, SALUD AMBIENTAL. AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO. LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION.

JAVIER CASTELLANOS COUTIÑO, Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, con fundamento en los artículos 39 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 4o. y 69-H de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo; 13, apartado A) fracción I, 118, fracción II y 119, fracción II de la Ley General de Salud; 41, 43, 45, 46, fracción II, y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 28 y 34 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 214, fracción IV y 225 del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios, y 7, fracciones V y XIX y 25, fracción IV del Reglamento Interior de la Secretaría de Salud, y

### **CONSIDERANDO**

Que con fecha 16 de diciembre de 1999, en cumplimiento del acuerdo del Comité y de lo previsto en el artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, se publicó en el **Diario Oficial de la Federación** el proyecto de la presente Norma Oficial Mexicana a efecto que dentro de los sesenta días naturales posteriores a dicha publicación, los interesados presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario.

Que con fecha 20 de junio de 2000, fueron publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** las respuestas a los comentarios recibidos por el mencionado Comité, en términos del artículo 47 fracción III de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Que en atención a las anteriores consideraciones, contando con la aprobación del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, se expide la siguiente:

**MODIFICACION A LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, SALUD AMBIENTAL. AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO. LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION**

### **INDICE**

0. Introducción
1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias
3. Definiciones
4. Límites permisibles de calidad del agua
5. Tratamientos para la potabilización del agua
6. Métodos de prueba
7. Concordancia con normas internacionales y mexicanas
8. Bibliografía
9. Observancia de la Norma
10. Vigencia

## 0. Introducción

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características microbiológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas, con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor.

Por tales razones la Secretaría de Salud, propone la modificación a la presente Norma Oficial Mexicana, con la finalidad de establecer un eficaz control sanitario del agua que se somete a tratamientos de potabilización a efecto de hacerla apta para uso y consumo humano, acorde a las necesidades actuales.

## 1. Objetivo y campo de aplicación

**1.1** Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano.

**1.2** Esta Norma Oficial Mexicana es aplicable a todos los sistemas de abastecimiento públicos y privados y a cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.

## 2. Referencias

**2.1** NOM-008-SCF1-1993 Sistema General de Unidades de Medida.

**2.2** NOM-012-SSA1-1993 Requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados.

**2.3** NOM-013-SSA1-1993 Requisitos sanitarios que debe cumplir la cisterna de un vehículo para el transporte y distribución de agua para uso y consumo.

**2.4** NOM-014-SSA1-1993 Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano, en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados.

**2.5** NOM-112-SSA1-1994 Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable.

**2.6** NOM-117-SSA1-1994 Bienes y Servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, hierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica.

## 3. Definiciones

Para los efectos de esta Norma Oficial Mexicana se entiende por:

**3.1 Ablandamiento**, proceso de remoción de los iones calcio y magnesio, principales causantes de la dureza del agua.

**3.2 Adsorción**, remoción de iones y moléculas de una solución que presentan afinidad a un medio sólido adecuado, de forma tal que son separadas de la solución.

**3.3 Agua para uso y consumo humano**, agua que no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causa efectos nocivos para la salud. También se denomina como agua potable.

**3.4 Características microbiológicas**, debidas a microorganismos nocivos a la salud humana. Para efectos de control sanitario se determina el contenido de indicadores generales de contaminación microbiológica, específicamente organismos coliformes totales y *Escherichia coli* o coliformes fecales.

**3.5 Características físicas y organolépticas**, las que se detectan sensorialmente. Para efectos de evaluación, el sabor y olor se ponderan por medio de los sentidos y el color y la turbiedad se determinan por medio de métodos analíticos de laboratorio.

**3.6 Características químicas**, las debidas a elementos o compuestos químicos, que como resultado de investigación científica se ha comprobado que pueden causar efectos nocivos a la salud humana.

**3.7 Características radiactivas**, aquellas resultantes de la presencia de elementos radiactivos.

**3.8 Coagulación química**, adición de compuestos químicos al agua, para alterar el estado físico de los sólidos disueltos, coloidales o suspendidos, a fin de facilitar su remoción por precipitación o filtración.

**3.9 Contingencia**, situación de cambio imprevisto en las características del agua por contaminación externa, que ponga en riesgo la salud humana.

**3.10 Desinfección**, destrucción de organismos patógenos por medio de la aplicación de productos químicos o procesos físicos.

**3.11 Evaporación**, separación del agua de los sólidos disueltos, utilizando calor como agente de separación, condensando finalmente el agua para su aprovechamiento.

**3.12 Filtración**, remoción de partículas suspendidas en el agua, haciéndola fluir a través de un medio filtrante de porosidad adecuada.

**3.13 Floculación**, aglomeración de partículas desestabilizadas en el proceso de coagulación química, a través de medios mecánicos o hidráulicos.

**3.14 Intercambio iónico**, proceso de remoción de aniones o cationes específicos disueltos en el agua, a través de su reemplazo por aniones o cationes provenientes de un medio de intercambio, natural o sintético, con el que se pone en contacto.

**3.15 Límite permisible**, concentración o contenido máximo o intervalo de valores de un componente, que no causará efectos nocivos a la salud del consumidor.

**3.16 Neutralización**, adición de sustancias básicas o ácidas al agua para obtener un pH neutro.

**3.16.1 Estabilización**, obtención de determinada concentración de sales y pH del agua, para evitar la incrustación o corrosión de los materiales con que se fabrican los elementos que la conducen o contienen.

**3.17 Osmosis inversa**, proceso esencialmente físico para remoción de iones y moléculas disueltos en el agua, en el cual por medio de altas presiones se fuerza el paso de ella a través de una membrana semipermeable de porosidad específica, reteniéndose en dicha membrana los iones y moléculas de mayor tamaño.

**3.18 Oxidación**, pérdida de electrones de un elemento, ion o compuesto por la acción del oxígeno u otro agente oxidante.

**3.19 Potabilización**, conjunto de operaciones y procesos, físicos y/o químicos que se aplican al agua en los sistemas de abastecimiento públicos o privados, a fin de hacerla apta para uso y consumo humano.

**3.20 Sedimentación**, proceso físico que consiste en la separación de las partículas suspendidas en el agua, por efecto gravitacional.

**3.21 Sistema de abastecimiento de agua**, conjunto de elementos integrados por las obras hidráulicas de captación, conducción, potabilización, desinfección, almacenamiento o regulación y distribución.

## 4. Límites permisibles de calidad del agua

4.1 Límites permisibles de características microbiológicas.

4.1.1 El contenido de organismos resultante del examen de una muestra simple de agua, debe ajustarse a lo establecido en la Tabla 1.

**TABLA 1**

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>LIMITE PERMISIBLE</b>
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables
<i>E. coli</i> o coliformes fecales u organismos termotolerantes	Ausencia o no detectables

4.1.2 Bajo situaciones de emergencia, las autoridades competentes podrán establecer los agentes biológicos nocivos a la salud que se deban investigar.

4.1.3 Las unidades de medida deberán reportarse de acuerdo a la metodología empleada.

4.1.4 El agua abastecida por el sistema de distribución no debe contener *E. coli* o coliformes fecales u organismos termotolerantes en ninguna muestra de 100 ml. Los organismos coliformes totales no deben ser detectables en ninguna muestra de 100 ml; en sistemas de abastecimiento de localidades con una población mayor de 50 000 habitantes; estos organismos deberán estar ausentes en el 95% de las muestras tomadas en un mismo sitio de la red de distribución, durante un periodo de doce meses de un mismo año.

4.2 Límites permisibles de características físicas y organolépticas.

4.2.1 Las características físicas y organolépticas deberán ajustarse a lo establecido en la Tabla 2.

**TABLA 2**

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>LIMITE PERMISIBLE</b>
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
Olor y sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.

4.3 Límites permisibles de características químicas.

4.3.1 El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 3. Los límites se expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad.

TABLA 3

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Aluminio	0,20
Arsénico (Nota 2)	0,05
Bario	0,70
Cadmio	0,005
Cianuros (como CN-)	0,07
Cloro residual libre	0,2-1,50
Cloruros (como Cl-)	250,00
Cobre	2,00
Cromo total	0,05
Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> )	500,00
Fenoles o compuestos fenólicos	0,3
Fierro	0,30
Fluoruros (como F-)	1,50
Hidrocarburos aromáticos en microgramos/l:	
Benceno	10,00
Etilbenceno	300,00
Tolueno	700,00
Xileno (tres isómeros)	500,00
Manganeso	0,15
Mercurio	0,001
Nitratos (como N)	10,00
Nitritos (como N)	1,00
Nitrógeno amoniacal (como N)	0,50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6,5-8,5
Plaguicidas en microgramos/l:	
Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0,03
Clordano (total de isómeros)	0,20
DDT (total de isómeros)	1,00

Gamma-HCH (lindano)	2,00
Hexaclorobenceno	1,00
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0,03
Metoxicloro	20,00
2,4 – D	30,00
Plomo	0,01
Sodio	200,00
Sólidos disueltos totales	1000,00
Sulfatos (como SO4=)	400,00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0,50
Trihalometanos totales	0,20
Yodo residual libre	0,2-0,5
Zinc	5,00

**Nota 1.** Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.

**Nota 2.** El límite permisible para arsénico se ajustará anualmente, de conformidad con la siguiente tabla de cumplimiento gradual:

**TABLA DE CUMPLIMIENTO GRADUAL**

Límite permisible mg/l	Año
0,045	2001
0,040	2002
0,035	2003
0,030	2004
0,025	2005

**4.3.2** En caso de que en el sistema de abastecimiento se utilicen para la desinfección del agua, métodos que no incluyan cloro o sus derivados, la autoridad sanitaria determinará los casos en que adicionalmente deberá dosificarse cloro al agua distribuida, para mantener la concentración de cloro residual libre dentro del límite permisible establecido en la Tabla 3 de esta Norma.

**4.4** Límites permisibles de características radiactivas.

El contenido de constituyentes radiactivos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 4. Los límites se expresan en Bq/l (Becquerel por litro).

TABLA 4

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE Bq/l
Radiactividad alfa global	0,56
Radiactividad beta global	1,85

## 5. Tratamientos para la potabilización del agua

La potabilización del agua proveniente de una fuente en particular, debe justificarse con estudios de calidad y pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio para asegurar su efectividad.

Se deben aplicar los tratamientos específicos siguientes o los que resulten de las pruebas de tratabilidad, cuando los contaminantes microbiológicos, las características físicas y los constituyentes químicos del agua listados a continuación, excedan los límites permisibles establecidos en el apartado 4 de esta Norma.

### 5.1 Contaminación microbiológica.

**5.1.1** Bacterias, helmintos, protozoarios y virus. Deben desinfectarse con cloro, compuestos de cloro, yodo<sup>1</sup>, ozono, luz ultravioleta; plata iónica o coloidal; coagulación-sedimentación-filtración; filtración en múltiples etapas.

### 5.2 Características físicas y organolépticas.

**5.2.1** Color, olor, sabor y turbiedad.- Oxidación-coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado.

### 5.3 Constituyentes químicos.

**5.3.1** Arsénico. Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; intercambio iónico u ósmosis inversa.

**5.3.2** Aluminio, bario, cadmio, cianuros, cobre, cromo total y plomo. Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; intercambio iónico u ósmosis inversa.

**5.3.3** Cloruros. Intercambio iónico, ósmosis inversa o evaporación.

**5.3.4** Dureza. Ablandamiento químico o intercambio iónico.

**5.3.5** Fenoles o compuestos fenólicos. Oxidación-coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado u oxidación con ozono.

**5.3.6** Hierro y/o manganeso. Oxidación-filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa.

**5.3.7** Fluoruros. Alúmina activada, carbón de hueso u ósmosis inversa.

**5.3.8** Hidrocarburos aromáticos. Oxidación-filtración o adsorción en carbón activado.

**5.3.9** Mercurio. Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado granular u ósmosis inversa cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 microgramos/l. Adsorción en carbón activado en polvo cuando la fuente de abastecimiento contenga más de 10 microgramos/l.

**5.3.10** Nitratos y nitritos. Intercambio iónico o coagulación-floculación-sedimentación-filtración.

**5.3.11** Nitrógeno amoniacal. Coagulación-floculación-sedimentación-filtración, desgasificación o desorción en columna.

**5.3.12** pH (potencial de hidrógeno). Neutralización.

**5.3.13** Plaguicidas. Adsorción en carbón activado granular.

**5.3.14** Sodio. Intercambio iónico.

**5.3.15** Sólidos disueltos totales. Coagulación-floculación-sedimentación-filtración y/o intercambio iónico.

**5.3.16** Sulfatos. Intercambio iónico u ósmosis inversa.

**5.3.17** Sustancias activas al azul de metileno. Adsorción en carbón activado.

**5.3.18** Trihalometanos. Oxidación con aireación u ozono y adsorción en carbón activado granular.

**5.3.19** Zinc. Evaporación o intercambio iónico.

**5.4** En el caso de contingencia, resultado de la presencia de sustancias especificadas o no especificadas en el apartado 4, las autoridades locales, la Comisión Nacional del Agua, los responsables del abastecimiento y los particulares, instituciones públicas o empresas privadas, involucrados en la contingencia, deben coordinarse con la autoridad sanitaria competente, para determinar las acciones que se deben realizar con relación al abastecimiento de agua a la población.

## **6. Métodos de prueba**

La selección de los métodos de prueba para la determinación de los parámetros definidos en esta Norma, es responsabilidad de los organismos operadores de los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano, y serán aprobados por la Secretaría de Salud a través del área correspondiente. Deben establecerse en un Programa de Control de Calidad Analítica del Agua, y estar a disposición de la autoridad competente, cuando ésta lo solicite, para su evaluación correspondiente.

## **7. Concordancia con normas internacionales y nacionales**

Esta Norma Oficial Mexicana no es equivalente a ninguna norma internacional.

**SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE,  
RECURSOS NATURALES Y PESCA.**

**NORMA OFICIAL MEXICANA  
NOM-001-SEMARNAT-1996.**

**QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE  
CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS  
Y BIENES NACIONALES.**

**JULIA CARABIAS LILLO**, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 32 bis fracciones I, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 85, 86 fracciones I, III y VII, 92 fracciones II y IV y 119 de la Ley de Aguas Nacionales; 5o. fracciones VIII y XV, 8o. fracciones II y VII, 36, 37, 117, 118 fracción II, 119 fracción I inciso a), 123, 171 y 173 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 38 fracción II, 40 fracción X, 41 45, 46 fracción II, y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, he tenido a bien expedir la siguiente **Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales;** y

## CONSIDERANDO

Que en cumplimiento a lo dispuesto en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 24 de junio de 1996, a fin de que los interesados en un plazo de 90 días naturales presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en Av. Revolución 1425, mezanine planta alta, Colonia Tlalcapac, Código Postal 01040, de esta ciudad.

Que durante el plazo a que se refiere el considerando anterior y de conformidad con lo dispuesto en el artículo 45 del Ordenamiento Legal citado, estuvieron a disposición del público los documentos a que se refiere dicho precepto.

Que de acuerdo con lo que disponen las fracciones II y III del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, los comentarios presentados por los interesados fueron analizados en el seno del citado Comité, realizándose las modificaciones procedentes a dicha Norma; las respuestas a los comentarios de referencia fueron publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 24 de diciembre de 1996.

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de Normas Oficiales Mexicanas, el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 30 de octubre de 1996, aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, por lo que he tenido a bien expedir la siguiente

## **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES.**

### ÍNDICE

1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias
3. Definiciones
4. Especificaciones
5. Métodos de prueba
6. Verificación
7. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales
8. Bibliografía
9. Observancia de esta Norma
10. Transitorio
11. Anexo I

## 1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

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

## 2. REFERENCIAS

Norma Mexicana NMX-AA-003 Aguas residuales - Muestreo, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 25 de marzo de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-004 Aguas - Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales - Método del cono Imhoff, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 13 de septiembre de 1977.

Norma Mexicana NMX-AA-005 Aguas - Determinación de grasas y aceites - Método de extracción soxhlet, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 8 de agosto de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-006 Aguas - Determinación de materia flotante - Método visual con malla específica, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 5 de diciembre de 1973.

Norma Mexicana NMX-AA-007 Aguas- Determinación de la temperatura - Método visual con termómetro, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 23 de julio de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-008 Aguas - Determinación de pH -Método potenciométrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 25 de marzo de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-026 Aguas - Determinación de nitrógeno total - Método Kjeldahl, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 27 de octubre de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-028 Aguas - Determinación de demanda bioquímica de oxígeno- Método de incubación por diluciones, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 6 de julio de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-029 Aguas - Determinación de fósforo total - Métodos espectrofotométricos, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 21 de octubre de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-034 Aguas - Determinación de sólidos en agua - Método gravimétrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 3 de julio de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-042 Aguas - Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales - Método de tubos múltiples de fermentación, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 22 de junio de 1987.

Norma Mexicana NMX-AA-046 Aguas - Determinación de arsénico en agua-Método espectrofotométrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 21 de abril de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-051 Aguas - Determinación de metales - Método espectrofotométrico de absorción atómica, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 22 de febrero de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-057 Aguas - Determinación de plomo - Método de la ditizona, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 29 de septiembre de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-058 Aguas - Determinación de cianuros - Método colorimétrico y título métrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de diciembre de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-060 Aguas - Determinación de cadmio - Método de la ditizona, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 26 de abril de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-064 Aguas - Determinación de mercurio - Método de la ditizona, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 3 de marzo de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-066 Aguas - Determinación de cobre - Método de la neocuproína, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 16 de noviembre de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-078 Aguas - Determinación de zinc - Métodos colorimétricos de la ditizona I, la ditizona II y espectrofotometría de absorción atómica, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 12 de julio de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-079 Aguas Residuales- Determinación de nitrógeno de nitratos (Brucina), publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de abril de 1986.

Norma Mexicana NMX-AA-099 - Determinación de nitrógeno de nitritos- Agua potable, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 11 de febrero de 1987.

### **3. DEFINICIONES**

#### **3.1 Aguas costeras**

Son las aguas de los mares territoriales en la extensión y términos que fija el derecho internacional; así como las aguas marinas interiores, las lagunas y esteros que se comuniquen permanente o intermitentemente con el mar.

#### **3.2 Aguas nacionales**

Las aguas propiedad de la Nación, en los términos del párrafo quinto del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

#### **3.3 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.

#### **3.4 Aguas pluviales**

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

#### **3.5 Bienes nacionales**

Son los bienes cuya administración está a cargo de la Comisión Nacional del Agua en términos del artículo 113 de la Ley de Aguas Nacionales.

#### **3.6 Carga contaminante**

Cantidad de un contaminante expresada en unidades de masa por unidad de tiempo, aportada en una descarga de aguas residuales.

#### **3.7 Condiciones particulares de descarga**

El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus niveles máximos permitidos en las descargas de agua residual, determinados por la Comisión Nacional del Agua para el responsable o grupo de responsables de la descarga o para un cuerpo receptor específico, con el fin de preservar y controlar la calidad de las aguas conforme a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

#### **3.8 Contaminantes básicos**

Son aquellos compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl, de nitritos y de nitratos, expresadas como mg/litro de nitrógeno), fósforo total, temperatura y pH.

### **3.9 Contaminantes patógenos y parasitarios**

Son aquellos microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los coliformes fecales y los huevos de helminto.

### **3.10 Cuerpo receptor**

Son las 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.

### **3.11 Descarga**

Acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando éste es un bien del dominio público de la Nación.

### **3.12 Embalse artificial**

Vaso de formación artificial que se origina por la construcción de un bordo o cortina y que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.

### **3.13 Embalse natural**

Vaso de formación natural que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.

### **3.14 Estuario**

Es el tramo del curso de agua bajo la influencia de las mareas que se extiende desde la línea de costa hasta el punto donde la concentración de cloruros en el agua es de 250 mg/l.

### **3.15 Humedales naturales**

Las zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, Ciénegas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas donde el suelo es predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos originadas por la descarga natural de acuíferos.

### **3.16 Límite máximo permisible**

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

### **3.17 Metales pesados y cianuros**

Son aquellos que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuros.

### **3.18 Muestra compuesta**

La que resulta de mezclar el número de muestras simples, según lo indicado en la Tabla 1. Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma.

Tabla 1

FRECUENCIA DE MUESTREO			
HORAS POR DÍA QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE LA DESCARGA	NÚMERO DE MUESTRAS SIMPLES	INTERVALO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS)	
		MÍNIMO N.E.	MÁXIMO N.E.
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

**3.19 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 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 descargado en el sitio y en el momento del muestreo.

El volumen de cada muestra simple necesario para formar la muestra compuesta se determina mediante la siguiente ecuación:

$$VMSi = VMC \times (Qi / Qt)$$

**Donde:**

**VMSi** = volumen de cada una de las muestras simples “i”, litros.

**VMC** = volumen de la muestra compuesta necesario para realizar la totalidad de los análisis de laboratorio requeridos, litros.

**Qi** = caudal medido en la descarga en el momento de tomar la muestra simple, litros por segundo.

**Qt** =  Qi hasta Qn, litros por segundo

**3.20 Parámetro**

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

**3.21 Promedio diario (P.D.)**

Es el valor que resulta del análisis de una muestra compuesta. En el caso del parámetro grasas y aceites, es el promedio ponderado en función del caudal, y la media geométrica para los coliformes fecales, de los valores que resulten del análisis de cada una de las muestras simples tomadas para formar la muestra compuesta. Las unidades de pH no deberán estar fuera del rango permisible, en ninguna de las muestras simples.

**3.22 Promedio mensual (P.M.)**

Es el valor que resulte de calcular el promedio ponderado en función del caudal, de los valores que resulten del análisis de al menos dos muestras compuestas (Promedio diario).

**3.23 Riego no restringido**

La utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas en forma ilimitada como forrajes, granos, frutas, legumbres y verduras.

### **3.24 Riego restringido**

La utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas, excepto legumbres y verduras que se consumen crudas.

### **3.25 Río**

Corriente de agua natural, perenne o intermitente, que desemboca a otras corrientes, o a un embalse natural o artificial, o al mar.

### **3.26 Suelo**

Cuerpo receptor de descargas de aguas residuales que se utiliza para actividades agrícolas.

### **3.27 Tratamiento convencional**

Son los procesos de tratamiento mediante los cuales se remueven o estabilizan los contaminantes básicos presentes en las aguas residuales.

### **3.28 Uso en riego agrícola**

La utilización del agua destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas y su preparación para la primera enajenación, siempre que los productos no hayan sido objeto de transformación industrial.

### **3.29 Uso público urbano**

La utilización de agua nacional para centros de población o asentamientos humanos, destinada para el uso y consumo humano, previa potabilización.

## **4. ESPECIFICACIONES**

**4.1** La concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el valor indicado como límite máximo permisible en las Tablas 2 y 3 de esta Norma Oficial Mexicana. El rango permisible del potencial hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades.

**4.2** Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1,000 y 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario, respectivamente.

**4.3** Para determinar la contaminación por parásitos se tomará como indicador los huevos de helminto. El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego no restringido, y de cinco huevos por litro para riego restringido, lo cual se llevará a cabo de acuerdo a la técnica establecida en el anexo 1 de esta Norma.

TABLA 2

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																					
PARÁMETROS  (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES (B)		
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (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.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	
Temperatura °C (1)	N.A	N.A	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	
Materia Flotante (3)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A	N.A	1	2	
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A	N.A	75	125	
Demanda Bioquímica de Oxígeno <sub>5</sub>	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A	N.A	75	150	
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A	N.A.	N.A.	15	25	N.A	N.A	N.A	N.A	
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A	N.A	N.A.	N.A.	5	10	N.A	N.A	N.A	N.A	

TABLA 3

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS																				
PARÁMETROS (*)  (miligramos por litro)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES (B)	
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (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.	P.M.	P.D.		
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuros	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

4.4. Al responsable de la descarga de aguas residuales que antes de la entrada en vigor de esta Norma Oficial Mexicana se le hayan fijado condiciones particulares de descarga, podrá optar por cumplir los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma, previo aviso a la Comisión Nacional del Agua.

4.5. Los responsables de las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales deben cumplir con la presente Norma Oficial Mexicana de acuerdo con lo siguiente:

a) Las descargas municipales tendrán como plazo límite las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 4. El cumplimiento es gradual y progresivo, conforme a los rangos de población. El número de habitantes corresponde al determinado en el XI Censo Nacional de Población y Vivienda, correspondiente a 1990, publicado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

b) Las descargas no municipales tendrán como plazo límite hasta las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 5. El cumplimiento es gradual y progresivo, dependiendo de la mayor carga contaminante, expresada como demanda bioquímica de oxígeno, (DBO<sub>5</sub>) o sólidos suspendidos totales (SST), según las cargas del agua residual, manifestadas en la solicitud de permiso de descarga, presentada a la Comisión Nacional del Agua.

T A B L A 4

<b>DESCARGAS MUNICIPALES</b>	
<b>FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:</b>	<b>RANGO DE POBLACIÓN</b>
1 de enero de 2000	mayor de 50,000 habitantes
1 de enero de 2005	de 20,001 a 50,000 habitantes
1 de enero de 2010	de 2,501 a 20,000 habitantes

T A B L A 5

<b>DESCARGAS NO MUNICIPALES</b>		
<b>FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:</b>	<b>CARGA CONTAMINANTE</b>	
	<b>DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO<sub>5</sub> t/d (toneladas/día)</b>	<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)</b>
1 de enero de 2000	mayor de 3.0	mayor de 3.0
1 de enero de 2005	de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0
1 de enero de 2010	menor de 1.2	menor de 1.2

4.6 Las fechas de cumplimiento establecidas en las Tablas 4 y 5 de esta Norma Oficial Mexicana podrán ser adelantadas por la Comisión Nacional del Agua para un cuerpo receptor en específico, siempre y cuando exista el estudio correspondiente que valide tal modificación.

4.7. Los responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales, cuya concentración de contaminantes en cualquiera de los parámetros básicos, metales pesados y cianuros, que rebasen los límites máximos permisibles señalados en las Tablas 2 y 3 de esta Norma Oficial Mexicana, multiplicados por cinco, para cuerpos receptores tipo B (ríos, uso público urbano), quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad del agua de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, en un plazo no mayor de 180 días naturales, a partir de la publicación de esta Norma en el Diario Oficial de la Federación.

Los demás responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales, que rebasen los límites máximos permisibles de esta norma, quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, en las fechas establecidas en las Tablas 6 y 7.

Lo anterior, sin perjuicio del pago de derechos a que se refiere la Ley Federal de Derechos y a las multas y sanciones que establecen las leyes y reglamentos en la materia.

T A B L A 6

<b>DESCARGAS MUNICIPALES</b>	
<b>RANGO DE POBLACIÓN</b>	<b>FECHA LÍMITE PARA PRESENTAR PROGRAMA DE ACCIONES</b>
mayor de 50,000 habitantes	30 de junio de 1997
de 20,001 a 50,000 habitantes	31 de diciembre de 1998
de 2,501 a 20,000 habitantes	31 de diciembre de 1999

T A B L A 7

<b>CARGA CONTAMINANTE DE LAS DESCARGAS NO MUNICIPALES</b>	
<b>DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO<sub>5</sub> Y/O SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES</b> <b>t/d (toneladas/día)</b>	<b>FECHA LÍMITE PARA PRESENTAR PROGRAMA DE ACCIONES</b>
mayor de 3.0	30 de junio de 1997
de 1.2 a 3.0	31 de diciembre de 1998
menor de 1.2	31 de diciembre de 1999

4.8 El responsable de la descarga queda obligado a realizar el monitoreo de las descargas de aguas residuales para determinar el promedio diario y mensual. La periodicidad de análisis y reportes se indican en la Tabla 8 para descargas de tipo municipal y en la Tabla 9 para descargas no municipales. En situaciones que justifiquen un mayor control, como protección de fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, emergencias hidroecológicas o procesos productivos fuera de control, la Comisión Nacional del Agua podrá modificar la periodicidad de análisis y reportes. Los registros del monitoreo deberán mantenerse para su consulta por un periodo de tres años posteriores a su realización.

T A B L A 8

RANGO DE POBLACIÓN	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de 50,000 habitantes	MENSUAL	TRIMESTRAL
de 20,001 a 50,000 habitantes	TRIMESTRAL	SEMESTRAL
de 2,501 a 20,000 habitantes	SEMESTRAL	ANUAL

T A B L A 9

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO <sub>5</sub> t/d (toneladas/día)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de 3.0	mayor de 3.0	MENSUAL	TRIMESTRAL
de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0	TRIMESTRAL	SEMESTRAL
menor de 1.2	menor de 1.2	SEMESTRAL	ANUAL

4.9 El responsable de la descarga estará exento de realizar el análisis de alguno o varios de los parámetros que se señalan en la presente Norma Oficial Mexicana, cuando demuestre que, por las características del proceso productivo o el uso que le dé al agua, no genera o concentra los contaminantes a exentar, manifestándolo ante la Comisión Nacional del Agua, por escrito y bajo protesta de decir verdad. La autoridad podrá verificar la veracidad de lo manifestado por el usuario.

En caso de falsedad el responsable quedará sujeto a lo dispuesto en los ordenamientos legales aplicables.

4.10 En el caso de que el agua de abastecimiento registre alguna concentración promedio mensual de los parámetros referidos en los puntos 4.1, 4.2 y 4.3 de la presente Norma Oficial Mexicana, la suma de esta concentración al límite máximo permisible promedio mensual, es el valor que el responsable de la descarga está obligado a cumplir, siempre y cuando lo notifique por escrito a la Comisión Nacional del Agua.

**4.11** Cuando se presenten aguas pluviales en los sistemas de drenaje y alcantarillado combinado, el responsable de la descarga tiene la obligación de operar su planta de tratamiento y cumplir con los límites máximos permisibles de esta Norma Oficial Mexicana, o en su caso con sus condiciones particulares de descarga, y podrá a través de una obra de desvío derivar el caudal excedente. El responsable de la descarga tiene la obligación de reportar a la Comisión Nacional del Agua el caudal derivado.

**4.12** El responsable de la descarga de aguas residuales que, como consecuencia de implementar un programa de uso eficiente y/o reciclaje del agua en sus procesos productivos, concentre los contaminantes en su descarga, y en consecuencia rebase los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma, deberá solicitar ante la Comisión Nacional del Agua se analice su caso particular, a fin de que ésta le fije condiciones particulares de descarga.

## **5. MÉTODOS DE PRUEBA**

Para determinar los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, se deberán aplicar los métodos de prueba indicados en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana. El responsable de la descarga podrá solicitar a la Comisión Nacional del Agua, la aprobación de métodos de prueba alternos. En caso de aprobarse, dichos métodos podrán ser autorizados a otros responsables de descarga en situaciones similares.

Para la determinación de huevos de helminto se deberán aplicar las técnicas de análisis y muestreo que se presentan en el Anexo 1 de esta Norma Oficial Mexicana.

## **6. VERIFICACIÓN**

La Comisión Nacional del Agua llevará a cabo muestreos y análisis de las descargas de aguas residuales, de manera periódica o aleatoria, con objeto de verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos para los parámetros señalados en la presente Norma Oficial Mexicana.

## **7. GRADO DE CONCORDANCIA CON NORMAS Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES**

**7.1** No hay normas equivalentes, las disposiciones de carácter interno que existen en otros países no reúnen los elementos y preceptos de orden técnico y jurídico que en esta Norma Oficial Mexicana se integran y complementan de manera coherente, con base en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente.

## SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE, RECURSOS NATURALES Y PESCA

### **NORMA Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.**

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REUSEN EN SERVICIOS AL PUBLICO.

JULIA CARABIAS LILLO, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, con fundamento en lo dispuesto en los artículos 32 Bis fracciones I, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 5o. fracciones V y XI, 6o., 36, 37, 37 Bis, 117, 118 fracción I, 119, 121, 126, 171 y 173 la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 118 fracción III y 122 de la Ley General de Salud; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 45, 46 y 47 fracciones III y IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y

#### CONSIDERANDO

Que en cumplimiento a lo dispuesto en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, se publicó en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de enero de 1998, a fin de que los interesados, en un plazo de 60 días naturales, presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en avenida Revolución 1425, mezzanine planta alta, colonia Tlacopac, Delegación Álvaro Obregón, código postal 01040, de esta ciudad.

Que durante el plazo a que se refiere el considerando anterior y de conformidad con lo dispuesto en el artículo 45 del ordenamiento legal citado, estuvieron a disposición del público los documentos a que se refiere dicho precepto.

Que de acuerdo con lo que disponen las fracciones II y III del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, los comentarios presentados por los interesados fueron analizados en el seno del citado Comité, realizándose las modificaciones procedentes a dicha Norma; las respuestas a los comentarios de referencia fueron publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de agosto de 1998.

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de normas oficiales mexicanas, el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 22 de abril de 1998, aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, por lo que he tenido a bien expedir la siguiente

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REUSEN EN SERVICIOS AL PUBLICO**

#### INDICE

1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias
3. Definiciones
4. Especificaciones
5. Muestreo
6. Métodos de prueba

7. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales y con las normas mexicanas tomadas como base para su elaboración
8. Bibliografía
9. Observancia de esta Norma

### 1. Objetivo y campo de aplicación

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

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

### 2. Referencias

Norma Mexicana NMX-AA-003	Aguas residuales-Muestreo, publicada en el <b>Diario Oficial de la Federación</b> el 25 de marzo de 1980.
Norma Mexicana NMX-AA-005	Aguas-Determinación de grasas y aceites-Método de extracción Solhlet, publicada en el <b>Diario Oficial de la Federación</b> el 8 de agosto de 1980.
Norma Mexicana NMX-AA-006	Aguas-Determinación de materia flotante-Método visual con malla específica, publicada en el <b>Diario Oficial de la Federación</b> el 5 de diciembre de 1973.
Norma Mexicana NMX-AA-028	Aguas-Determinación de demanda bioquímica de oxígeno.- Método de incubación por diluciones, publicada en <b>Diario Oficial de la Federación</b> el 6 de julio de 1981.
Norma Mexicana NMX-AA-034	Aguas-Determinación de sólidos en agua.- Método gravimétrico, publicada en el <b>Diario Oficial de la Federación</b> el 3 de julio de 1981.
Norma Mexicana NMX-AA-42	Aguas-Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales.- Método de tubos múltiples de fermentación, publicada en el <b>Diario Oficial de la Federación</b> el 22 de junio de 1987.
Norma Mexicana NMX-AA-102-1987	Calidad del Agua-Detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y <i>Escherichia coli</i> presuntiva.- Método de filtración en membrana, publicada en el <b>Diario Oficial de la Federación</b> el 28 de agosto de 1987.
Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, publicada en el <b>Diario Oficial de la Federación</b> el 6 de enero de 1997 y su aclaración, publicada en el citado órgano informativo el 30 de abril de 1997.

### 3. Definiciones

#### 3.1 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.

#### 3.2 Aguas crudas

Son las aguas residuales sin tratamiento.

### **3.3 Aguas residuales tratadas**

Son aquellas que mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reusó en servicios al público.

### **3.4 Contaminantes básicos**

Son aquellos compuestos o parámetros que pueden ser removidos o estabilizados mediante procesos convencionales. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, demanda bioquímica de oxígeno<sub>5</sub> y sólidos suspendidos totales.

### **3.5 Contaminantes patógenos y parasitarios**

Son los microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los coliformes fecales medidos como NMP o UFC/100 ml (número más probable o unidades formadoras de colonias por cada 100 mililitros) y los huevos de helminto medidos como h/l (huevos por litro).

### **3.6 Entidad pública**

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.

### **3.7 Lago artificial recreativo**

Es el vaso de formación artificial alimentado con aguas residuales tratadas con acceso al público para paseos en lancha, prácticas de remo y canotaje donde el usuario tenga contacto directo con el agua.

### **3.8 Lago artificial no recreativo**

Es el vaso de formación artificial alimentado con aguas residuales tratadas que sirve únicamente de ornato, como lagos en campos de golf y parques a los que no tiene acceso el público.

### **3.9 Límite máximo permisible**

Valor o rango asignado a un parámetro, que no debe ser excedido por el responsable del suministro de agua residual tratada.

### **3.10 Promedio mensual (P.M.)**

Es el valor que resulta del promedio de los resultados de los análisis practicados a por lo menos dos muestras simples en un mes.

Para los coliformes fecales es la media geométrica; y para los huevos de helminto, demanda bioquímica de oxígeno<sub>5</sub>, sólidos suspendidos totales, metales pesados y cianuros y grasas y aceites, es la media aritmética.

### **3.11 Reusó en servicios al público con contacto directo**

Es el que se destina a actividades donde el público usuario esté expuesto directamente o en contacto físico. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes reúsos: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines.

### **3.12 Reusó en servicios al público con contacto indirecto u ocasional**

Es el que se destina a actividades donde el público en general esté expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes reúsos: riego de jardines y camellones en autopistas, camellones en avenidas, fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones.

## **4. Especificaciones**

4.1 Los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas son los establecidos en la Tabla 1 de esta Norma Oficial Mexicana.

**TABLA 1**  
**LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES**

TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de helminto (h/l)	Grasas y aceites mg/l	DBO <sub>5</sub> mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	≤ 1	15	20	20
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	≤ 5	15	30	30

4.2 La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada, de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006, referida en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana.

4.3 El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la columna que corresponde a embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola de la Tabla 3 de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, referida en el punto 2 de esta Norma.

4.4 Las entidades públicas responsables del tratamiento de las aguas residuales que reúsen en servicios al público, tienen la obligación de realizar el monitoreo de las aguas tratadas en los términos de la presente Norma Oficial Mexicana y de conservar al menos durante los últimos tres años los registros de la información resultante del muestreo y análisis, al momento en que la información sea requerida por la autoridad competente.

### 5. Muestreo

Los responsables del tratamiento y reusó de las aguas residuales tratadas, tienen la obligación de realizar los muestreos como se establece en la Norma Mexicana NMX-AA-003, referida en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana. La periodicidad y número de muestras será:

5.1 Para los Coliformes fecales, materia flotante, demanda bioquímica de oxígeno<sub>5</sub>, sólidos suspendidos totales y grasa y aceites, al menos 4 (cuatro) muestras simples tomadas en días representativos mensualmente.

5.2 Para los huevos de helminto, al menos 2 (dos) muestras compuestas tomadas en días representativos mensualmente.

5.3 Para los metales pesados y cianuros, al menos 2 (dos) muestras simples tomadas en días representativos anualmente.

### 6. Métodos de prueba

Para determinar los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, se deben aplicar los métodos de prueba indicados en las normas mexicanas a que se refiere el punto 2 de esta Norma. Para coliformes fecales, el responsable del tratamiento y reusó del agua residual, podrá realizar los análisis de laboratorio de acuerdo con la NMX-AA-102-1987, siempre y cuando demuestre a la autoridad competente que los resultados de las pruebas guardan una estrecha correlación o son equivalentes a los obtenidos mediante el método de tubos múltiples que se establece en la NMX-AA-42-1987. El responsable del tratamiento y reusó del agua residual, puede solicitar a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, la aprobación de métodos de prueba alternos. En caso de aprobarse, éstos

pueden ser aplicados por otros responsables en situaciones similares. Para la determinación de huevos de helminto se deben aplicar las técnicas de análisis que se señalan en el anexo 1 de esta Norma.

#### **7. Grado de concordancia con normas y lineamientos internacionales y con las normas mexicanas tomadas como base para su elaboración**

**7.1** No hay normas equivalentes, las disposiciones de carácter interno que existen en otros países no reúnen los elementos y preceptos de orden técnico y jurídico que en esta Norma Oficial Mexicana se integran y complementan de manera coherente, con base en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente; tampoco existen normas mexicanas que hayan servido de base para su elaboración.

#### **8. Bibliografía**

**8.1** APHA, AWWA, WPCF, 1994. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 19th Edition. U.S.A. (Métodos normalizados para el análisis del agua y aguas residuales 19a. Edición. E.U.A.).

**8.2** Code of Federal Regulations 40. Protection of Environmental 1992. (Código de Normas Federales 40. Protección al Ambiente) E.U.A.

**8.3** Ingeniería sanitaria y de aguas residuales, 1988. Gordon M. Fair, John Ch. Gerey, Limusa, México.

**8.4** Manual de agua, 1989. Frank N. Kemmer, John McCallion Ed. McGraw-Hill. Volúmenes 1 al 3. México.

**8.5** Development Document for Effluent Limitation Guidelines and New Source Performance Standard for the 1974. (Documento de desarrollo de la U.S.E.P.A. para guías de límites de efluentes y estándares de evaluación de nuevas fuentes para 1974).

**8.6** Water Treatment Handbook, 1991. Degremont 6th Edition Vol. I y II. U.S.A. (Manual de tratamiento de agua 1991) 6a. Edición Vols. I y II. E.U.A.

**8.7** Wastewater Engineering Treatment. Disposal and Reuse, 1991. 3rd. Edition. U.S.A. (Ingeniería en el tratamiento de aguas residuales. Disposición y reusó) Metcalf and Eddy. McGraw-Hill International Editions. 3a. Edición. E.U.A.

**8.8** Municipal Wastewater Reuse-Selected Readings on Water Reuse-United States Environmental Protection Agency-EPA 430/09-91-022 September, 1991. (Reusó de aguas residuales municipales-lecturas selectivas sobre el reusó del agua-Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América-EPA 430/09-91-022 septiembre 1991).

#### **9. Observancia de esta Norma**

**9.1** La vigilancia del cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, a través de la Comisión Nacional del Agua, y a la Secretaría de Salud, en el ámbito de sus respectivas atribuciones, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley General de Salud y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

**9.2** La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**. Las plantas de tratamiento de aguas residuales referidas en esta Norma que antes de su entrada en vigor ya estuvieran en servicio y que no cumplan con los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en ella, tendrán un plazo de un año para cumplir con los lineamientos establecidos en la presente Norma.

México, Distrito Federal, a los diecisiete días del mes de julio de mil novecientos noventa y ocho.- La Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, **Julia Carabias Lillo**.- Rúbrica.

# ANEXO 4

“Resultados de laboratorio por ICP-OES”

---



17 de octubre de 2013

Placido Meza Bazán  
Instituto de Ingeniería

### PRESENTE

A continuación le presentamos el informe de los análisis por espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) para la determinación y cuantificación de Arsénico, Cobre, Cadmio, y Plomo en 6 muestras de agua que recientemente nos envió para su estudio.

Muestra	As		Cd		Cu		Pb	
	mg/l	RSD	mg/l	RSD	mg/l	RSD	mg/l	RSD
<b>C1 power</b>	<LD	NA	39.00	0.25	12.93	0.27	6.29	2.24
<b>C1</b>	2.28	2.53	<LD	NA	<LD	NA	<LD	NA
<b>C2 power</b>	0.13	2.00	40.33	0.94	18.32	1.07	21.37	1.75
<b>C2</b>	<LD	NA	0.10	7.09	<LD	NA	<LD	NA
<b>C3 power</b>	<LD	NA	0.17	0.69	0.12	2.01	<LD	NA
<b>C3</b>	0.47	2.50	38.83	2.82	19.68	3.75	20.92	0.83

<LD Por debajo del límite de detección.

Cabe mencionar que la concentración de cada elemento fue determinada por triplicado y que el valor reportado corresponde al promedio de las tres determinaciones. También se reporta la precisión del análisis como desviación estándar relativa (RSD) para n=3.

Adicionalmente se utilizaron estándares de control analítico de concentración conocida (5 ppm), los cuales fueron analizados como muestras para determinar su concentración por medio de las curvas de calibración preparadas, las concentraciones determinadas se encontraron en el 100±23% en relación a la esperada, lo cual indica un buen desempeño del método de análisis.

Elemento	As	Cd	Cu	Pb
% exactitud	85.85	95.99	98.90	97.50



A continuación se presentan los valores de los límites de detección instrumentales para cada elemento solicitado.

	As	Cd	Cu	Pb
LD (mg/L)	0.07	0.02	0.10	0.03

Sin más por el momento quedamos a sus órdenes.

Atentamente

Q.F.B. Fabiola Vega García

**Instituto de Geología, UNAM.**

C.c.p. Dr. Francisco Martín Romero, jefe del Departamento de Edafología.  
C.c.p. Ing. Jesús Sánchez