



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA**

**"MUESTREO, AFORO Y CARACTERISTICAS DE DIFERENTES  
FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA"**

**T E S I N A**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**  
**I N G E N I E R O Q U I M I C O**  
**EN EL AREA DE: PROTECCION AMBIENTAL**  
**Q U E P R E S E N T A**  
**SERGIO ALBERTO RODRIGUEZ ROMERO**

DIRECTOR DE TESINA:

**I.Q.I. HECTOR ANTONIO NAVARRO ROMERO**

**"POR MI RAZA HABLARA MI ESPIRITU"**

ENERO 2005

m 601468



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES ZARAGOZA

JEFATURA DE LA CARRERA  
DE INGENIERIA QUIMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/004/05

ASUNTO: Asignación de Jurado

**ALUMNO: RODRÍGUEZ ROMERO SERGIO ALBERTO**  
**P r e s e n t e .**

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

<b>PRESIDENTE</b>	<b>Q.F.I. Ma. Del Carmen Niño de Rivera Oyarzabal</b>
<b>VOCAL</b>	<b>I.Q.I. Héctor Antonio Navarro Romero</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>I.Q. Rafael Coello García</b>
<b>SUPLENTE</b>	<b>Quim. Ma. Teresa Mendoza Mata</b>
<b>SUPLENTE</b>	<b>I.Q. Ana Lilia Maldonado Arellano</b>

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

**A t e n t a m e n t e**  
**“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”**  
México, D.F., 25 de Enero del 2005.

**EL JEFE DE LA CARRERA**

**M. EN C. ANDRES AQUINO CANCHOLA**

# AGRADECIMIENTOS

## ADIOS

POR PERMITIRME SER QUIEN SOY, POR DARME SALUD, POR DARME UNA VIDA FELIZ, POR PERMITIRME SER UN HOMBRE DE BIEN, POR ACOMPAÑARME SIEMPRE A DONDE VOY Y POR SEGUIR DÁNDDME LA FUERZA SUFICIENTE PARA CONTINUAR.

## AMISPADRES

POR ENSEÑARME LO DIFÍCIL QUE PUEDE SER LA VIDA, PERO TAMBIÉN POR ENSEÑARME LAS HERRAMIENTAS NECESARIAS PARA PODER ENFRENTARLA; HERRAMIENTAS COMO: EL VALOR, LA EDUCACIÓN, EL SACRIFICIO, LA FUERZA, LA DISCIPLINA, LA OBEDIENCIA, EL RESPETO Y LA HUMILDAD.

EN VERDAD MIL GRACIAS POR SER MI SOPORTE, POR SUS GRANDES CONSEJOS, POR SU PREOCUPACIÓN, POR SUS SACRIFICIOS, POR SU AMOR Y POR ESTAR SIEMPRE CADA VEZ QUE LOS NECESITO; YA QUE SIN USTEDES NO HUBIERA LOGRADO ESTO.

## AMI FAMILIA

PAULO, ERENDIRA, CAROLINA, ADRIANA, DAVID, EMERSÓN, PAVITO Y AL PRÓXIMO INTEGRANTE DE LA FAMILIA; POR SU AYUDA, SU APOYO INCONDICIONAL, POR PERMITIRME COMPARTIR TANTOS MOMENTOS JUNTOS.

## AMIOTRAFAMILIA

ALFONSO, ENRIQUE, GERARDO, HUGO, LUIS, ALFREDO, JORGE, HÉCTOR, ADRIANA, VIOLETA, ANITA Y DAISY; POR SU GRAN AYUDA Y SOBRE TODO POR SU GRAN AMISTAD, YA QUE GRACIAS A USTEDES SUPE REALMENTE EL VERDADERO VALOR DE ESA PALABRA.

## AMINOVA

FRANCHELIA DANIEL AVILÉS; POR TU APOYO, TUS ILUSIONES, TU AMOR, TU CONFIANZA Y SOBRE TODO POR ESTAR SIEMPRE A MI LADO.

## AMIASESOR

I. Q. I. HÉCTOR NAVARRO ROMERO; POR SU GRAN AYUDA, SU DISPOSICIÓN Y SU ORIENTACIÓN PARA LA CULMINACIÓN DE UN PROYECTO.

A TODAS LAS PERSONAS QUE ENTRARON A MI VIDA, OFRECIÉNDOME SU AYUDA, SUS EXPERIENCIAS, SU SABIDURÍA Y SU CONFIANZA.

A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE ALGUNA VEZ NO CREYERON EN MI; Y QUE SUS DUDAS, SUS ENVIDIAS Y SUS MALOS DESEOS, SIRVIERON ÚNICAMENTE PARA FORTALECERME Y ASÍ DEMOSTRARLES QUE PUEDE SER CADA DIA MEJOR.

A MI ABUELO FEDERICO Y A MARGARITA:  
CON MUCHO CARINO, EN DONDE QUIERA QUE SE ENCUENTREN.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA  
INDICE

OBJETIVO .....	Págs. 1
INTRODUCCIÓN .....	1

CAPÍTULO I  
ANTECEDENTES GENERALES

1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS .....	3
1.2 DISPONIBILIDAD DEL AGUA .....	6
1.3 USOS DEL AGUA EN MÉXICO .....	7
1.4 FUENTES DE ABASTECIMIENTO .....	8
1.5 FUENTES DE ABASTECIMIENTO CONVENCIONALES .....	8
1.5.1 Aguas superficiales .....	8
1.5.2 Ríos y arroyos .....	9
1.5.3 Lagos .....	11
1.5.4 Presas .....	12
1.5.5 Aguas subterráneas .....	14
1.6 FUENTES DE ABASTECIMIENTO NO CONVENCIONALES .....	15
1.6.1 Aguas residuales .....	16

CAPÍTULO II  
PARAMETROS DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO

2.1 CALIDAD DE LAS DIFERENTES FUENTES DE ABASTECIMIENTO .....	18
2.2 PARÁMETROS QUE DETERMINAN LA CALIDAD DEL AGUA .....	18
2.3 PARÁMETROS FÍSICOS .....	19
2.3.1 Turbidez .....	19
2.3.2 Color .....	19
2.3.3 Olor .....	20
2.3.4 Sabor .....	20
2.3.5 Sólidos .....	20
2.3.6 Temperatura .....	21
2.3.7 Conductividad eléctrica .....	22
2.4 PARÁMETROS QUÍMICOS .....	22
2.4.1 Alcalinidad .....	22
2.4.2 Acidez .....	23
2.4.3 Dureza .....	23
2.4.4 Metales .....	23
2.4.5 pH .....	24
2.4.6 Oxígeno Disuelto .....	24
2.4.7 Demanda Bioquímica de Oxígeno .....	24
2.4.8 Demanda Química de Oxígeno .....	25
2.4.9 Grasas y Aceites .....	25
2.5 PARÁMETROS BIOLÓGICOS .....	25

CAPÍTULO III  
MUESTREO Y AFORO EN LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO

3.1 IMPORTANCIA DEL MUESTREO .....	30
3.2 PLANEACIÓN DEL SISTEMA DE MUESTREO .....	30

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA  
INDICE

3.3 MÉTODOS DE MUESTREO .....	31
3.3.1 Tipos de muestras .....	32
3.4 IMPORTANCIA DEL AFORO .....	33
3.4.1 Métodos de aforo .....	33
3.5 FRECUENCIA DE MUESTREO .....	38
3.6 MUESTREO Y AFORO EN AGUAS CONVENCIONALES .....	39
3.6.1 Preparación anterior al muestreo .....	39
3.6.2 Muestreo y Aforos en ríos y arroyos .....	40
3.6.3 Muestreo y Aforos en lagos .....	41
3.6.4 Muestreo y Aforos en presas .....	42
3.7 MUESTREO Y AFORO EN AGUAS NO CONVENCIONALES .....	43
3.7.1 Aguas residuales .....	43
3.8 MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS .....	45

CAPITULO IV

CARACTERÍSTICAS DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO

4.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS CONVENCIONALES .....	52
4.1.1 Características de ríos y arroyos .....	52
4.1.2 Características de los lagos .....	53
4.1.3 Características de las presas .....	54
4.1.4 Características de las aguas subterráneas .....	55
4.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS NO CONVENCIONALES .....	55
4.2.1 Características del agua residual domestica .....	56
4.2.2 Características del agua residual industrial .....	56
4.2.3 Características del agua de lluvia .....	56
4.2.4 Características del agua residual agrícola .....	57

CAPITULO V

TRATAMIENTO DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO

5.1 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS .....	58
5.1.1 Pretratamiento de las fuentes de abastecimiento .....	58
5.1.2 Tratamiento primario .....	61
5.1.3 Tratamiento secundario .....	62
5.1.4 Tratamiento terciario .....	66
5.1.5 Tratamiento complementario .....	67
5.2 TRATAMIENTO DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO PARA USO POTABLE .....	69
5.3 TRATAMIENTO DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO PARA USO INDUSTRIAL .....	70
5.4 NORMAS OFICIALES MEXICANAS .....	71
5.4.1 Normas Oficiales Mexicanas relacionadas con el sector agua .....	78
5.4.2 Normas oficiales mexicanas de la secretaría de salud relacionadas con el sector agua .....	79
CONCLUSIÓN .....	81
GLOSARIO .....	82
BIBLIOGRAFÍAS .....	86

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA  
 INDICE DE GRAFICAS, FIGURAS Y TABLAS

	Págs.
Grafica 1.1 Distribución del 70% de agua contenida en el planeta .....	6
Grafica 1.2 Distribución del 2.5% de agua contenida en los continentes .....	6
Grafica 1.3 Distribución del 1% de agua superficial fácilmente accesible .....	7
Grafica 1.4 Principales usos del agua en México .....	7
Grafica 1.5 Aguas superficiales en México .....	9
Tabla 1.1 Las 37 principales regiones hidrológicas que se formaron debido a la situación geográfica del país .....	9
Tabla 1.2 Clasificación del tamaño de los ríos basado en las características de descarga, el área de la cuenca y la anchura del río .....	10
Tabla 1.3 Principales cuencas hidrológicas de México .....	11
Tabla 1.4 Principales lagos en México .....	12
Tabla 1.5 Principales presas de México .....	13
Tabla 1.6 Principales acuíferos de México .....	15
Tabla 1.7 Volumen de descarga de aguas residuales industriales .....	17
Tabla 2.1 Principales agentes patógenos transmitidos por el agua .....	27
Tabla 2.2 Normas Mexicanas para la determinación de los parámetros existentes en el agua .....	28
Tabla 2.3 Efecto de los contaminantes en el agua .....	29
Figura 3.1 Muestreador Automático .....	32
Tabla 3.1 Tipos de muestras .....	33
Figura 3.2 Tipos de molinetes .....	34
Figura 3.3 Tipos de vertederos .....	36
Figura 3.4 Canaleta Parshall .....	37
Figura 3.5 Perfil del canal Parshall .....	38
Tabla 3.2 Descargas municipales .....	38
Tabla 3.3 Descargas no municipales .....	39
Figura 3.6 Aforo en río .....	41
Tabla 3.4 Frecuencia de muestreo .....	45
Tabla 3.5 Almacenamiento y preservación de las muestras .....	46
Ejemplo 3.1 Industria papelera .....	48
Figura 4.1 Estratificación térmica en los lagos y embalses .....	54
Tabla 5.1 Tamaño de rejillas .....	59
Figura 5.1 Desarenador de flujo horizontal .....	60
Figura 5.2 Principales procesos de tratamientos de aguas residuales municipales .....	65
Tabla 5.2 Dosis recomendadas de cloro para desinfectar .....	68
Figura 5.3 Tratamiento regular de fuentes de abastecimiento superficiales .....	69
Figura 5.4 Tratamiento regular de fuentes de abastecimiento subterráneas .....	69
Figura 5.5 Tratamiento regular de fuentes de abastecimiento subterráneas contaminadas .....	69
Tabla 5.3 Características del agua residual y su procedencia .....	70
Tabla 5.4 Límites máximos permisibles para descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales .....	72
Tabla 5.5 Límites máximos permisibles para descargas de aguas a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal .....	77
Tabla 5.6 Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público .....	77

## OBJETIVOS

- Darle al estudiante, al técnico e ingeniero una fuente de información sencilla y rápida de consulta para poder llevar acabo el muestreo y el aforo de nuestras fuentes de abastecimiento, además de mostrar algunos de los parámetros a medir y las características de los diferentes cuerpos de agua para poder darle así el tratamiento adecuado.
- Facilitar y dar a conocer las normas mexicanas estipuladas en el sector agua que nos fijan los límites máximos permisibles de las aguas tratadas, en función al uso de nuestros cuerpos receptores de agua y de acuerdo al uso final.

## INTRODUCCIÓN

Debido a la gran necesidad que se tiene por saber de la calidad de nuestros diferentes cuerpos de agua para nuestro abastecimiento diario y con la exigencia que se demanda por parte de los diferentes sectores, surge la idea de crear una guía o fuente de información la cual sirva de consulta segura y detallada que abarque la planeación y la logística del muestreo y el aforo, sin dejar de mencionar los diferentes parámetros a medir ya que de esta forma se ha obtenido las características generales apropiadas de las distintas fuentes de agua para un tratamiento exclusivo; y por supuesto tomando en cuenta los requerimientos normativos que apliquen y que deben de cumplirse en cada caso.

De ninguna manera se trata de que este trabajo intente suplir la literatura adecuada sobre el tema, pero si que pueda servir como base y así facilitar la búsqueda de información para estudios más profundos.

Como sabemos tenemos dos fuentes principales de abastecimiento de agua la convencional y la no convencional y dado que el tema sobre el que se aborda en este trabajo es muy extenso solo se hablará del agua convencional (aguas superficiales y aguas subterráneas) y solo una de las aguas no convencionales (aguas residuales) dejando fuera el agua de los océanos.

Capítulo I.- En este capítulo se presentan los antecedentes generales de nuestros cuerpos de agua como fuentes de abastecimiento: cuales son, como se han Desarrollado, las diferentes gestiones sobre el cuidado de este recurso, su localización geográfica, disponibilidad y las principales fuentes de contaminación.

Capítulo II.- En este capítulo se dan a conocer algunos de los diferentes parámetros que se deben medir en la fuente, ya sea que se lleven a cabo en el sitio o en el laboratorio así como las diferentes técnicas analíticas para poder hacerlo.

Capítulo III.- En este capítulo se exhibe información respecto a la planeación, los principales métodos, las técnicas de muestreo y el aforo dependiendo de la naturaleza del sitio de algunas de nuestras fuentes de abastecimiento, así también su preparación anterior a la toma de muestras, al trato en su manejo y en su transportación hasta el momento de que estos lleguen al laboratorio para su análisis.

Capítulo IV.- En este capítulo se presenta información respecto a las características y los posibles contaminantes contenidos en los cuerpos de agua, y esto para facilitar y seleccionar el posible tratamiento posterior adecuado.

Capítulo V.- En este capítulo se mencionará los diferentes equipos para un tren de tratamiento y se darán algunas sugerencias sobre el mejor tratamiento que se le puede dar a nuestras diferentes fuentes de abastecimiento en función a las características que presentaron, tomando en cuenta y cumpliendo con las normas instituidas que se piden.

## ANTECEDENTES GENERALES

### 1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS.

Como todos sabemos el agua es la principal fuente de vida en toda la faz de la tierra y por lo tanto definitivamente es importante en todos los sectores de nuestro país, de hecho el crecimiento sectorial depende del buen uso que ha esta se le de.

En México la preocupación por este recurso siempre ha existido y nuestros gobernantes constantemente han mostrado su inquietud y el posible cuidado que se debe de dar al expresarlo y fundamentarlo en la Constitución Política de nuestro país; específicamente en materia de agua se encuentra el artículo 27 que establece la correspondencia a la Nación la propiedad originaria de las aguas y de las tierras comprendidas dentro del territorio nacional, de igual forma regular el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, entre los cuales se encuentra el agua; En su párrafo 4° de este artículo indica que le corresponde a la Nación el dominio de los recursos naturales de la plataforma continental y los zócalos submarinos de las islas; en el párrafo 5° hace mención de que son propiedad de la Nación las aguas de los mares territoriales; las aguas marinas interiores, la de las lagunas y los esteros que se comuniquen con el mar; la de los lagos que estén ligados a corrientes; la de los ríos y sus afluentes, hasta su desembocadura en el mar, lagos, lagunas o esteros de propiedad nacional; cuando el cauce de aquellas, sirva de limite al territorio nacional o a dos entidades federativas, las de los manantiales que broten en las playas, zonas marítimas, causes, vasos o riberas de los lagos, lagunas o esteros de propiedad nacional y las que se extraigan de las minas; y los cauces, lechos o riberas en los lagos y corrientes interiores en la extensión que fije la ley; y el párrafo 8° señala que la nación ejercerá en una zona económica exclusiva situada fuera del mar territorial y adyacente a éste, los derechos de soberanía y las jurisdicciones que determinen las leyes del Congreso.

En el artículo 48 dice que todas las islas, los cayos y arrecifes de los mares adyacentes, la plataforma continental, los zócalos submarinos, los mares territoriales, las aguas marítimas interiores dependerán de la jurisdicción del Gobierno de la Federación.

En el artículo 73 en su fracción XVII, dicta leyes sobre el uso y aprovechamiento de las aguas de jurisdicción federal.

En estos artículos es de donde realmente se basan las leyes o reglamentos promulgados posteriormente.

En los últimos 35 años se ha externado aun más la preocupación por el recurso acuífero, ya que los expertos incuestionablemente coinciden en que si se sigue dando el mismo uso indiferente de ahora, afrontaremos en el futuro una fuerte crisis por las falta de esta; de ahí que resulte una razón de vital importancia no descuidar la cantidad y naturaleza de nuestras fuentes de abastecimiento de agua;

además se ha mostrado la gran disponibilidad por parte de nuestros mandatarios, ya que nuestro país ha participado en diferentes tratados internacionales como en la "Conferencia sobre Medio Humano" celebrada en Estocolmo, Suecia el 16 de Junio de 1972; Participando también en 1985 en la Asamblea General de la ONU; Años después participo en una de los tratados más importantes en la "Conferencia sobre Medio Ambiente y Desarrollo" también conocida como la "Cumbre de Río o Cumbre de la Tierra" celebrada en Río de Janeiro, Brasil del 3 al 14 de Junio de 1992; dos tratados más en que México participa es el Tratado de Libre Comercio y su arreglo paralelo en Materia Ambiental y en la Convención de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) ya que cuenta con veinticinco países miembros, veintinueve de los cuales son Europeos, tres de América (Estados Unidos, Canadá y México) y uno pertenece a Asia (Japón). Todo esto ha sido un parte aguas en la ayuda para la educación y la conciencitización de la gente en nuestro país para seguir con el desarrollo sustentable en materia de agua, ya que se ha demostrado que en México existe un gran problema cultural sobre el cuidado de este recurso.

Recientemente México participó en el segundo Foro Mundial sobre el agua celebrado en Marzo del 2000 en La Haya debatiendo la creciente necesidad de seguridad en materia de agua

El inicio de esta posible educación y concientización, se da cuando México fue invitado para la conferencia que se iba a celebrar en Estocolmo en 1972 y queriendo participar profundamente creó la primera ley legislativa ambiental y fue llamada "Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental" (D.O.F. 23-111-71) esta ley se componía de 34 artículos; uno de los capítulos en el cual se dividía esta ley era el capítulo 3º, el cual hacia referencia a la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas (en sus artículos 14 al 22), en este tiempo se crea la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente en la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA), la cual tenia como competencia la Secretaría de recursos hidráulicos respecto a la contaminación de las aguas y se deriva el "Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua" (D.O.F. 29-111-73).

Obviamente por razones del sistema político de nuestro país y a los diferentes partidos políticos existentes en su lucha por el poder, se derivan choques frecuentes por la diversidad de opiniones, un ejemplo claro se encuentran los cambios en el gobierno; ya que cada sexenio al presentarse un cambio presidencial, generalmente ocurren cambios en el gabinete presidencial pasado, de tal manera se crea una nueva administración y al parecer se detienen trabajos anteriores; aunado a estos cambios se crean nuevas secretarías y esto hace que posiblemente no exista una continuidad. De este modo se crea en el país la "Ley Federal de Protección al Ambiente" (D.O.F.11-1-82) esta ley contaba con 78 artículos y se dividía en 13 capítulos, el cual en el tercer capítulo se refería a la Protección de las aguas (artículos 21 al 28) esta ley abolió a la de 1971 en está se instaura y se suplen las alusiones de la SSA por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) y continua el mismo reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas.

Luego de otro sexenio y cambios en el poder político surge otra Ley con el nombre de "Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente" (LGEEPA) (D.O.F28-1-88) esta ley no abolió la del 82 pero si la reformó, contaba con 194 artículos y 4 transitorios y tenía 6 divisiones, en la cual en la tercera división hablaba del aprovechamiento racional de los recursos naturales, con un capítulo que habla sobre el aprovechamiento racional del agua y los ecosistemas acuáticos (artículos 88 al 97) y en la división cuarta con su capítulo sobre la prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos (artículos 117 al 133). En una reestructuración de la administración federal se crea la Secretaría de desarrollo Social (SEDESOL) sustituyendo a la SEDUE además se reintegraron algunas facultades hacia la entonces SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos) respecto a bosques y la contaminación del agua, al interior de SEDESOL se crearon dos órganos desconcentrados: El Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Procuraduría de Protección al Ambiente (PROFEPA); Después de un período de tiempo, se crea la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) ahora la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); aquí comienza una verdadera lucha por tratar de reglamentar, regulando y fijando los límites de emisión de contaminantes y los métodos para su medición en todos los asuntos mediante la expedición de Normas Técnicas Ecológicas (NTE, ya no existentes).

Después el 30 de Octubre de 1996 el Congreso de la Unión aprobó la reforma a esta Ley que ahora cuenta con 204 artículos y 4 transitorios; en su tercera división habla sobre el Aprovechamiento sustentable de los elementos naturales; en el capítulo 1 sobre el aprovechamiento sustentable del agua y sus ecosistemas acuíferos (artículos 88 al 97) y en su cuarta división en el capítulo III habla sobre la Prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos (artículos 117 al 133); además tomando en cuenta el nuevo Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales que se publicó el 01 de diciembre de 1992 y consta con 124 artículos, esta ley es reglamentaria de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales y es de observancia general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social ya que tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable. Esta ley contiene un reglamento, el cual cuenta con 202 artículos y 14 artículos transitorios y se publicó el día 12 de Enero de 1994; además se promulgaron Normas Oficiales Mexicanas para proteger al ambiente.

## 1.2 DISPONIBILIDAD DEL AGUA.

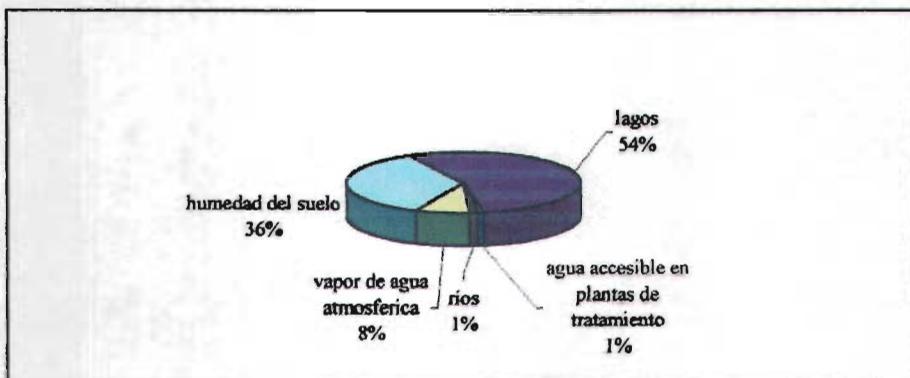
El 70% de la superficie de la tierra está cubierta de agua (algo así como 1500 millones de  $\text{Km}^3$ ); correspondiendo el 97.5% a los océanos (1395 millones de  $\text{Km}^3$ ) y solo el 2.5% corresponde a los continentes, es decir, agua dulce (35 millones de  $\text{Km}^3$ ); dentro de este 2.5%, los casquetes polares representan un poco más del 2% (24 millones de  $\text{Km}^3$ ); las aguas superficiales como son los ríos y lagos corresponden el 0.01% (105 mil  $\text{Km}^3$ ) y las aguas subterráneas como la humedad del suelo y los mantos freáticos representan el 0.76% (10.78 millones de  $\text{Km}^3$ ). A continuación se muestran unas graficas la cual se puede ver con mayor claridad la disponibilidad del agua.



GRAFICA 1.1 Distribución del 70% del agua contenida en el planeta.



GRAFICA 1.2 Distribución del 2.5% del agua contenida en los continentes.

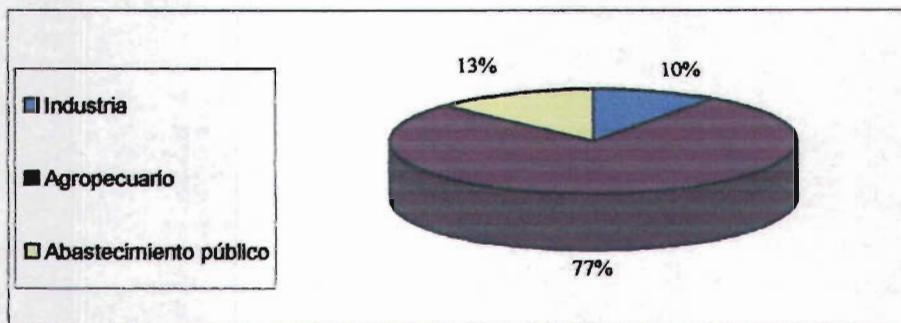


**GRAFICA 1.3** Distribución del 1% del agua superficial fácilmente accesible.

### 1.3 USOS DEL AGUA EN MÉXICO.

El hombre siempre ha utilizado el agua para satisfacer todas sus necesidades vitales, como son el beber, aseo personal, preparación de alimentos, lavado de ropa, entre otros. También utiliza este recurso para sus actividades de riego agrícola, generación de energía eléctrica, uso industrial, fines pesqueros y como medio de transporte. Debido a los distintos sectores que existen en nuestro país ya mencionados se debe de contar con cierta calidad, el mayor volumen que se consume se destina al uso agropecuario (77%), abastecimiento de agua a las poblaciones (13%), abastecimiento de las industrias (10%). La demanda de agua aumenta cada vez más con el desarrollo económico y con el incremento de la población.

Además de la demanda en los sectores agropecuario, doméstico e industrial, es importante mencionar los usos con fines recreativos como son la navegación, natación y pesca.



Fuente: Gerencia del Registro Público de Derechos de Agua. CNA

**GRAFICA 1.4** Principales usos del agua en México.

#### **1.4 FUENTES DE ABASTECIMIENTO.**

Se define a una fuente de abastecimiento como aquel punto o fase del ciclo natural del agua del cual se desvía o se aparta el agua temporalmente, para ser usada, regresando finalmente a la naturaleza, no importando si vuelve o no a su fuente original pero siempre fijándose de cual haya sido su uso.

Como se ha mencionado anteriormente, debido a nuestras diferentes necesidades de uso, algunos sectores requieren grandes volúmenes de agua sin tener en cuenta su calidad; mientras que otras utilizan su propio tratamiento de agua para cumplir con los estándares exigidos por su proceso; por lo tanto debemos de conocer muchos factores respecto a el cuidado y naturaleza de nuestra fuente principal (para el mantenimiento del desarrollo sustentable del medio ambiente).

Sabemos de antemano que nuestros suministros públicos de agua provienen de dos principales fuentes dentro del ciclo hidrológico: las fuentes de agua convencionales y las fuentes de agua no convencionales; Cada una de estas procedencias está interrelacionada y cada una tiene sus propias ventajas y desventajas para elegir una u otra, e incluyen una vez más la calidad, la cantidad disponible, la seguridad del abastecimiento y el costo de construcción y operación.

#### **1.5 FUENTES DE ABASTECIMIENTO CONVENCIONALES.**

Estos tipos de fuente de abastecimiento generalmente son las más utilizadas para el consumo humano debido a su calidad, a la disponibilidad casi ilimitada y a su accesibilidad y por ende requiere de menos gastos económicos para su tratamiento posterior debido al tratamiento menor que se les puede dar.

Dentro de estos tipos se encuentran las aguas superficiales y las aguas subterráneas.

##### **1.5.1 Aguas superficiales.**

El agua superficial es un término general que describe a cualquier tipo de agua que se encuentra estancada o escurriendo en la superficie tales como océanos, arroyos, ríos, estanques, lagos, presas y embalses.

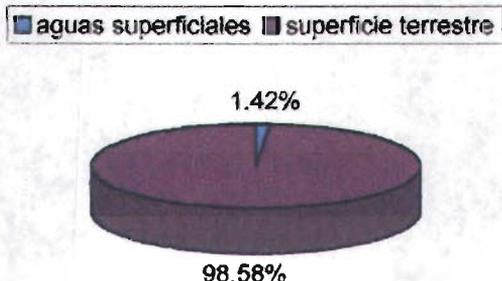
Estos tipos de aguas se ocasionan por distintas razones, mencionando algunas de estas se encuentran:

-Los escurrimientos superficiales: esta es la lluvia que ha caído sobre la superficie terrestre y que se dirige directamente sobre la superficie hacia la masa del agua.

-La precipitación directa: es la lluvia que cae directamente sobre la fuente de agua.

-El manto intermedio: que es cuando hay exceso de humedad en el suelo y esta continuamente drena la masa de agua.

La calidad y la cantidad del agua superficial dependerán del tipo de clima y de los factores geológicos. En el país los cuerpos de aguas superficiales ocupan únicamente el 1.42 % de la superficie total.



Fuente CNA

**GRAFICA 1.5** Aguas superficiales en México.

**TABLA 1.1** Las 37 principales regiones hidrológicas que se formaron debido a la situación geográfica del país.

1.- B.C. Norte (Ensenada)	2.-B.C. Centro Oeste (El Vizcaino)	3.-B.C. Suroeste (Magdalena)
4.- B.C. Noreste (laguna Salada)	5.-B.C. Centro Este (Santa Rosalía)	6.- B.C. Sureste (La Paz)
7.- Río Colorado	8.- Río Sonora Norte	9.- Sonora Sur
10.- Sinaloa	11.- Presidio – San Pedro	12.- Lerma - Santiago
13.- Río Huicicila	14.- Ameca	15.- Costa Jalisco
16.- América – Coahuayana	17.- Costa de Michoacán	18.- Balsas
19.- Costa Grande de Guerrero	20.- Costa chica – Río Verde	21.- Costa Oaxaca (Pto. Ángel)
22.- Tehuantepec	23 - Costa de Chiapas	24.- Bravo - Conchos
25.- San Fernando–Soto la Marina	26.- Pánuco	27.- Tuxpan – Nautla
28.- Papaloapan	29.- Coatzacoalcos	30.- Grijalva – Usumacinta
31.- Yucatán Oeste (Campeche)	32.- Yucatán Norte (Yucatán)	33.- Yucatán Este (Q Roo)
34.- Mapimí	35.- Nazas Aguanaval	36.-El Salado
37.-Cuencas Cerradas del Norte (Casas Grandes)		

Fuente: Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos. CNA

### 1.5.2 Ríos y arroyos.

Antiguamente los ríos fueron la principal fuente de abastecimiento, un ejemplo claro de esto es que las primeras grandes ciudades se establecieron cerca de este tipo de acuíferos. Los ríos son sistemas complejos de agua fluyendo por una

superficie de tierra y son definidos como cuencas de río o líneas de agua. Las características de los ríos pueden depender de un número de rasgos. Estos rasgos incluyen el tamaño, forma y características geológicas de la cuenca y las condiciones climáticas ya que determinan la cantidad de agua disponible; los ríos también pueden ser clasificados por el tipo de régimen de flujo y la magnitud de la descarga; el régimen de flujo puede ser sujeto a una considerable modificación dependiendo el tipo de almacenamiento natural; las características de flujo pueden ser cambiadas también por la canalización o refiriéndose a los requerimientos del tipo de uso.

La clasificación de los ríos de acuerdo a su descarga es generalmente más satisfactoria, pero no ha sido completamente definida y aceptada, sin embargo, hay descargas ciertamente especificadas ya sea por la anchura y las variaciones anuales. Estas incluyen las descargas con mayor flujo, el promedio de la descarga mensual o anual y el flujo más bajo en la descarga. Claramente hay desacuerdo en los datos y no son parámetros a seguir ya que hay que tomar en cuenta particularmente las regiones y sus zonas climáticas donde se encuentran los ríos.

**TABLA 1.2** Clasificación del tamaño de los ríos basado en las características de la descarga, el área de la cuenca y la anchura del río.

Tamaño del río	Promedio de la descarga (m <sup>3</sup> /seg.)	Área de la cuenca (Km <sup>2</sup> )	Anchura del río (m)
Ríos muy largos	> 10,000	> 1,000,000	> 1,500
Ríos largos	1,000 – 10,000	100,000 – 10 <sup>6</sup>	800 – 1,500
Ríos	100 – 1,000	10,000 – 100,000	200 – 800
Ríos pequeños	10 – 100	1,000 – 10,000	40 – 200
Corrientes	1 – 10	100 – 1,000	8 – 40
Arroyos	0.1 – 1.0	10 – 100	1 - 8
Riachuelos	< 0.1	< 10	< 1

Fuente: Water Quality Assessment – Deborah Chapman

Como hemos mencionado debido a las condiciones atmosféricas de los diferentes lugares, los ríos y los arroyos dependerán más del perfil de lluvias ya que esto representara el flujo y la seguridad como fuente de abastecimiento.

Muchas veces los ríos suelen ser contaminados por el dominio antropogénico, debido a que estos recorren grandes distancias y suelen pasar por diferentes comunidades. Comparando a los ríos o arroyos con las presas y embalses resultan ser mucho más ventajosos ya que en el aspecto económico no se requiere de una inversión tan grande para la construcción de diques o muros de retención, ni canales y sobre todo en derechos de agua y en grandes extensiones de terrenos.

En los ríos del país aproximadamente escurren 399 Km<sup>3</sup> de agua anualmente, alrededor del 87% de este escurrimiento se presenta en los 39 principales ríos (CNA).

**TABLA 1.3 Principales cuencas hidrológicas de México.**

1.-Río Lerma	14.-Río Soto La Marina	27.-Río Suchiate
2.-Río Nazas	15.-Río Candelaria	28.-Río Ameca
3.-Río Agua Naval	16.-Río Cazones	29.-Río Armería
4.-Río Grijalva-Usumacinta	17.-Río San Fernando	30.-Río San Lorenzo
5.-Río Papaloapan	18.-Río Balsas	31.-Río Coahuayana
6.-Río Coatzacoalcos	19.-Río Santiago	32.-Río Colorado
7.-Río Pánuco	20.-Río Verde	33.-Río Sinaloa
8.-Río Tonalá	21.-Río Ometepec	34.-Río Baluarte
9.-Río Bravo	22.-Río El Fuerte	35.-Río Acaponeta
10.-Río Tecolutla	23.-Río Papagayo	36.-Río Piaxtla
11.-Río Nautla	24.-Río Yaqui	37.-Río Tehuantepec
12.-Río Antigua	25.-Río San Pedro	38.-Río Coatlán
13.-Río Tuxpan	26.-Río Culiacán	39.-Río Huicicila

Fuente: Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos. CNA

### 1.5.3 Lagos.

Un lago puede ser determinado como un cuerpo de agua que en sus alrededores esta cercado totalmente por tierra y no cuenta con un acceso directo al mar. Un lago puede ser aislado y no obligatoriamente con una entrada y una salida de agua, aunque la mayoría de los lagos cuenta con una entrada y una salida por lo que se les puede conocer como ríos de caudal lento.

Un lago no es provisto de un solo río, muchas veces puede estar provisto de pequeños afluentes, precipitación directa o por flujo de agua subterránea. Los lagos se pueden presentar en serie, interconectado por ríos o como una expansión en la anchura a lo largo de un río.

En términos geológicos los lagos son efímeros, se originan como productos de procesos geológicos y terminan como estanques. Los mecanismos de origen de los lagos son numerosos, y aquí se mencionan algunos tipos de mecanismos de formaciones de lagos:

-Lagos Glaciares: lagos formados sobre o en el hielo.

-Lagos Tectónicos: lagos formados por una larga separación en la corteza terrestre separando cuerpos de agua del mar.

-Lagos Fluviales: lagos formados por ríos retenidos por los sedimentos de diferentes afluentes.

-Lagos en la orilla del mar: como su nombre lo indica estos lagos están formados en la orilla del mar y creados por el arroyo de agua del mismo.

-Lagos Embalsados: lagos formados por asentamientos de rocas y lodos, estos lagos son de corta duración pero son considerados importantes en las regiones montañosas.

-Lagos Volcánicos: lagos situados en cráteres resultados de actividades volcánicas.

-Lagos Solubles: lagos formados en cavidades formadas por la percolación del agua en rocas de agua solubles como yeso y caliza.

-El origen natural de otros lagos se da por la construcción de diques formados por castores y otros tantos por las depresiones provocadas por el impacto de un meteorito.

Los lagos pueden ser clasificados como se ha descrito por sus orígenes, sin embargo el clasificarlos por el uso es poco tomado en cuenta. Otras dos formas de clasificarlos son por procesos que ocurren dentro de los mismos, los cuales son utilizados universalmente y proveen las bases sobre las estrategias de valoración y la interpretación. Estas dos clasificaciones son la estratificación térmica y la eutrofización.

Al parecer los lagos están destinados a ser la mayor fuente de abastecimiento de agua ya que puede ser un abastecimiento ilimitado y esto constituye una gran ventaja para los diferentes requerimientos. Muchas veces los lagos suelen ser los más contaminados ya que aquí es el punto donde se descargan las aguas residuales de las ciudades.

**TABLA 1.4 Principales lagos en México.**

Lago	Área de la cuenca (Km <sup>2</sup> )	Capacidad de almacenamiento (hm <sup>3</sup> )	Entidad Federativa
1.-Chapala	1,116	8,126	Jalisco y Michoacán
2.-Cuitzeo	306	920	Michoacán
3.-Pátzcuaro	97	550	Michoacán
4.-Yuriria	80	188	Guanajuato
5.-Catemaco	75	454	Veracruz
6.-Tequesquitengo	8	160	Morelos
7.-Nabor Carrillo	10	12	México

Fuente: Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos. CNA

### 1.5.4 Presas.

El hombre llegó a pensar que sus fuentes de abastecimiento estaban seguras, pero con el aumento de la población y la expansión de las ciudades se fue encontrando con problemas de insuficiencia, por eso surgió la necesidad de construir presas, en las zonas altas de los ríos y frecuentemente alejados del punto de consumo.

Una presa son aquellos cuerpos de agua formados o modificados por la actividad humana para propósitos específicos, a fin de proveer una fuente de agua confiable y segura además de que pueda ser controlable.

En este tipo de obras se debe tener un equilibrio entre el agua que se toma para el abastecimiento y el agua que se requiere para su llenado. Las presas tienen casi las mismas ventajas y desventajas de los lagos aunque debido a la gran inversión de capital para los terrenos y la construcción y aunado a esto muchas veces se encuentran con el problema de la oposición de la gente hacia la construcción misma de estos dos tipos de fuentes se ha optado por disminuir la construcción.

En México existen 4,000 presas, 667 están clasificadas como grandes presas, la capacidad de almacenamiento de las presas del país es de 150 Km<sup>3</sup> (CNA).

**TABLA1.5 Principales presas de México.**

Nombre Oficial	Nombre Común	Entidad Federativa	Capacidad (hm <sup>3</sup> )
1.-Belisario Domínguez	La Angostura	Chiapas	10,727
2. Netzahualcóyotl	Malpaso	Chiapas	9,605
3.-Infiernillo	El Infiernillo	Guerrero-Michoacán	9,340
4.-Miguel Alemán	Temascal	Oaxaca	8,119
5.-Solidaridad	Aguamilpa	Nayarit	5,540
6.-Vicente Guerrero	Las Adjuntas	Tamaulipas	3,900
7.-Inter. La Amistad	La Amistad	Coahuila-Texas	3,887
8.-Inter. Falcón	Falcón	Tamaulipas-Texas	3,273
9.-Adolfo López Mateos	El Humaya	Sinaloa	3,072
10.-Álvaro Obregón	El Oviachic	Sonora	2,989
11.-Plutarco Elías Calles	El Novillo	Sonora	2,925
12.-Miguel Hidalgo	El Mahone	Sinaloa	2,921
13.-Luis Donald Colosio	Huites	Sinaloa	2,908
14.-La Boquilla	Lago Toronto	Chihuahua	2,903
15.-Lázaro Cárdenas	El Palmito	Durango	2,873
16.-José López Portillo	El Comedero	Sinaloa	2,250
17.-Gustavo Díaz Ordaz	Bacurato	Sinaloa	1,860
18.-Carlos Ramírez Ulloa	El Caracol	Guerrero	1,414
19.-Manuel Moreno Torres	Chicoasén	Chiapas	1,376
20.-Fernando Hiriart	Zimapán	Hidalgo-Querétaro	1,360
21.-Venustiano Carranza	Don Martín	Coahuila	1,313
22.-Miguel de la Madrid	Cerro de Oro	Oaxaca	1,250
23.-Cuchillo-Solidaridad	El Cuchillo	Nuevo León	1,123
24.-Ángel Albino Corzo	Peñitas	Chiapas	1,091
25.-Adolfo Ruiz Cortines	Mocúzari	Sonora	950
26.-Benito Juárez	El Marqués	Oaxaca	947
27.-Marte R. Gómez	El Azúcar	Tamaulipas	824
28.-Sanalona	Sanalona	Sinaloa	740
29.-Solís	Solís	Guanajuato	728
30.-Lázaro Cárdenas	La Angostura	Sonora	703
31.-Const. de Apatzingán	Chilátán	Jalisco	601
32.-Ramiro Caballero	Las Ánimas	Tamaulipas	571

Fuente: Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos. CNA

### 1.5.5 Aguas Subterráneas.

Un acuífero de este tipo es un estrato subterráneo de roca porosa que contiene agua, a través de la cual está pudo circular, de tal forma que se ha infiltrado hacia abajo desde la superficie del suelo.

El agua subterránea se halla por lo regular en formaciones de arena y grava; morena que es una mezcla de arcilla, arena y grava; areniscas; calizas y en juntas; fallas, y en planos de clivaje en rocas más duras. Las aguas subterráneas no solamente sirven para abastecimiento directo al consumidor también como depósito y reserva, muchas veces alimenta a los ríos como caudal base o como manantiales de ahí que haya una directa relación con las aguas superficiales.

Las aguas de este tipo generalmente tienden a usarlas las poblaciones pequeñas, ya que muchas veces resulta limitado su volumen. El abastecimiento subterráneo puede tener mucho más ventajas que las aguas superficiales, ya que económicamente resulta mucho más barata, por que se requiere de un tratamiento menor ya que casi siempre proporciona aguas de buena calidad, además esta disponible en el punto de demanda del consumidor y no requiere invertir en largas conducciones; aunque se puede tener una desventaja porque cuando el acuífero este muy profundo o la consolidación del suelo es de difícil de perforación puede resultar no viable económicamente.

Las aguas subterráneas se pueden clasificar en acuíferos libres y acuíferos cautivos. Un acuífero libre es aquel que se recarga donde la roca porosa no esta cubierta por un suelo impermeable y un acuífero cautivo esta cubierta por dos capas impermeables, el agua de la superficie penetra desde las áreas libres laterales; debido a que los mantos acuíferos cautivos están entre dos capas impermeables el agua esta considerablemente bajo una presión hidráulica y el agua alcanzará la superficie por su propia presión y puede ser explotada para su uso con la construcción de pozos y estos son conocidos como pozos artesianos además de las formaciones de grietas o fallas y estos salen a la superficie como manantiales.

En México se encuentran 653 acuíferos, actualmente hay 102 acuíferos sobreexplotados; la sobreexplotación a un acuífero se entiende cuando la extracción es superior a la recarga (CNA).

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA  
CAPITULO I

TABLA 1.6 Principales acuíferos de México.

No.	ACUIFERO	No.	ACUIFERO	No.	ACUIFERO
1.-	Guadalupe	32.-	Saltillo-Ramos Arizpe	63.-	Puerto Madero
2.-	Ojos negros	33.-	Región Manzarena	64.-	Calera
3.-	Ensenada	34.-	Ascensión	65.-	Chupaderos
4.-	Moneadero	35.-	Baja Babicora	66.-	La Blanca
5.-	San Quintín	36.-	Buenaventura	67.-	Loreto
6.-	Santo Domingo	37.-	Cuahutemoc	68.-	Valle de chicalote
7.-	Los Planes	38.-	Casas Grandes	69.-	El Lano
8.-	Mulegé	39.-	El Sáuz-Encinillas	70.-	Valle del Calvillo
9.-	San Luis Río Colorado	40.-	Chihuahua-Sacramento	71.-	Laguna Seca
10.-	Sonoyta-Puerto Peñasco	41.-	_uadalu-Camargo	72.-	Dr. Mora-San José Iturbide
11.-	Caborca	42.-	Parral-Valle del Verano	73.-	San Miguel de Allende
12.-	LosChirriones	43.-	Tabaloapa-Aldama	74.-	Cuenca Alta del Río Laja
13.-	Busani	44.-	Campo Mina	75.-	Silao-Romita
14.-	Coyotillo	45.-	La Paila	76.-	La Muralla
15.-	Río Alisos	46.-	Región Lagunera	77.-	Valle de León
16.-	Arrivaipa	47.-	Cevallos	78.-	Río Turbio
17.-	Costa de Hermosillo	48.-	Oriente Aguanaval	79.-	Valle de Celaya
18.-	Sahuaral	49.-	Vicente Suárez	80.-	Valle de la Cuevita
19.-	Mesa del Seri-La Victoria	50.-	Navidad-Potosí-Raíces	81.-	Valle de Acámbaro
20.-	Río Sonora	51.-	Vanegas-Catorce	82.-	uadalupe a-Acámbaro
21.-	Río Zanjón	52.-	El Barril	83.-	Pénjamo-Abasolo
22.-	Río Bacoachi	53.-	Salinas de Hidalgo	84.-	La Barca
23.-	Valle de Guaymas	54.-	Cedral-Matehuala	85.-	Encarnación
24.-	San José de Guaymas	55.-	Villa de Arista	86.-	Valle de Toluca
25.-	Valle del Mayo	56.-	Villa Hidalgo	87.-	Ixtlahuaca-Atlacomulco
26.-	Valle de Canatlán	57.-	San Luis Potosí	88.-	uadalu-Queréndaro
27.-	Tepalcingo-Axochiapan	58.-	Jaral de Berrios	89.-	Pastor-Ortiz-La Piedad
28.-	Valle de Tecamachalco	59.-	Matehuala-Huizache	90.-	Ciénega de Chapala
29.-	Cañón del Derramadero	60.-	Benito Juárez	91.-	Valle de Querétaro
30.-	Monclova	61.-	Aguanaval	92.-	Valle de Amazcala
31.-	Paredón	62.-	_uadalupe de las Corrientes	93.-	Valle de Huimilpan

Fuente. Gerencia de Aguas Subterráneas. CNA

### 1.6 FUENTES DE ABASTECIMIENTO NO CONVENCIONALES.

Debido a diferentes factores como son la sobreexplotación de nuestras fuentes de abastecimiento hemos tenido que recurrir a otros tipos de abastecimiento, dentro de estas fuentes se encuentran: el agua de los océanos y las aguas residuales (solo se hablara de las segundas), pero definitivamente sabemos que la calidad de esta aguas no son aceptables para el consumidor y no son tan aprovechadas, por tal motivo estas aguas requieren de un tratamiento más costoso.

### 1.6.1 Aguas Residuales.

Nosotros como seres humanos obtenemos nuestra agua de diferentes fuentes de abastecimiento con la calidad que satisface nuestros requerimientos, esa agua que nosotros utilizamos la regresamos con una menor calidad o como agua contaminada ya que al utilizarla en cualquier proceso alteramos su calidad, al saber esto la deseamos vertiéndola al drenaje o alcantarillado, el cual es el que se encarga de llevar todas las aguas residuales, para que posteriormente se descarguen en algún cuerpo receptor, generalmente estos son ríos, lagos, lagunas y el mar, contaminando dichos cuerpos receptores.

Debido a la alta necesidad y a las crisis de insuficiencia que se han presentado se requiere que el agua residual en lugar de mandarlas directa e inmediatamente a los cuerpos receptores se les de un tratamiento con el cual se mejore su calidad y se puedan reutilizar posiblemente en los mismos sectores de donde son desechados y como recarga de acuíferos, cumpliendo con las normas vigentes establecidas.

Las principales aguas residuales provienen de distintos lugares, los cuales son:

-Las aguas residuales urbanas: son las aguas descargadas por las actividades diarias en los hogares y establecimientos comerciales y de servicio, las principales concentraciones que contienen esta agua son altos porcentajes de grasas y aceites, jabones, detergentes, aguas con demasiado contenido fecal.

-Las aguas residuales de la industria: esta agua están en función de la producción de la industria, regularmente son descargas discontinuas pero si son más contaminadas que las aguas domesticas.

-Las aguas residuales agrícolas: son aguas producidas por las aguas que corren de la tarea del riego, con altos contenidos de compuestos orgánicos e inorgánicos altamente tóxicos debido a la variedad de utilización de compuestos agroquímicos y gran cantidad de tierra erosionada.

-Las aguas residuales pluviales: son descargas de alcantarillados de las cuales recogen aguas de lluvia y muchas veces se mezcla con las aguas residuales domesticas.

La mayoría de las aguas residuales tienen una concentración similar de contaminantes según su origen y gracias a esto se puede saber cuales son las características y contaminantes de esa agua residual, es decir, gracias a los diferentes parámetros del agua podemos darnos una idea de los contaminantes que trae consigo un agua residual de procedencia industrial o doméstica y decir que posiblemente otra agua residual de esa misma procedencia, pero de distinto lugar tenga contaminantes y concentraciones similares.

Por otra parte se sabe que los centros urbanos generan 7.95 Km<sup>3</sup> y la que la industria genera 5.39 Km<sup>3</sup> de agua residual según cifras referentes al año 2002 (CNA). Los giros con mayores cargas contaminantes a cuerpos receptores se muestran en la siguiente tabla (1.7).

**TABLA 1.7** Volumen de descarga de aguas residuales industriales.

Giro Industrial	Descarga de aguas residuales (m <sup>3</sup> /s)	Materia Orgánica generada (miles de t/año)
Acuacultura	67.6	7
Azúcar	45.9	1,750
Petrolera	11.4	1,186
Servicios	10.3	183
Química	6.9	406
Celulosa y Papel	5.5	108
Agropecuaria	3.2	1,063
Alimenticia	3.0	193
Cerveza y Malta	1.6	272
Minera	0.8	56
Textil	0.7	14
Destilería y Vitivinicultura	0.4	230
Beneficio del Café	0.3	32
Curtiduría	0.1	9

Fuente: CNA (2003)

## **PARÁMETROS DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA**

### **2.1 CALIDAD DE LAS DIFERENTES FUENTES DE ABASTECIMIENTO.**

Gracias a las características que posee el agua en su estado natural; ya que no presenta olor, sabor y color, los seres humanos somos capaces de detectar si un agua esta verdaderamente limpia o en su caso de que esta pueda satisfacer nuestras necesidades.

La mayoría de la veces el agua requiere de una calidad que sea apta para los distintos usos, muchas veces esta no se cumple, entonces es necesario definir cuales son los factores por los cuales no se satisface con estas condiciones; y de antemano sabemos que el agua de nuestras fuentes de abastecimiento deben pasar por un tren de tratamiento antes de que estas puedan llegar a cualquier consumidor, y esto se da por el simple hecho que desde que las aguas arriban a la planta de tratamiento cuentan con ciertos contaminantes, como pueden ser: materiales disueltos, arrastrados, suspendidos o emulsionados, ya sea en su trayecto o en su almacenamiento por razones naturales o antropogénicas, esto es en el caso de las aguas superficiales, además a que en las precipitaciones traen consigo bacterias, cantidades de polvo, cenizas de volcanes; incluso las sales del océano que lleva disueltas, aunado a las emisiones de los trabajos domésticos e industriales que emanan hacia la atmósfera.

Para todo esto existen parámetros para poder evaluar si el agua de nuestras fuentes de abastecimiento cumple con cierta calidad para los diferentes requerimientos.

En este capítulo se darán a conocer algunos de los diferentes parámetros que se deben medir en nuestras fuentes de abastecimiento para poder caracterizarlos, además las posibles causas por las que se producen, así como los métodos de detección.

### **2.2 PARAMETRÓS QUE DETERMINAN LA CALIDAD DEL AGUA.**

Sin duda alguna el agua contiene diferentes peculiaridades que nos ayudan a diferenciarla y caracterizarla de los demás compuestos, pero existen tres propiedades básicas muy importantes que nos ayudan rápidamente a lograrlo, de las cuales hablaremos en este trabajo.

Nuestros sentidos del olfato, el tacto, el gusto y la vista responden a uno de estas, la cual es la propiedad física, por lo tanto casi siempre nos ayudará a primer instancia a determinar si el tipo de agua satisface nuestras necesidades; pero el agua como se habia mencionado contiene otras dos propiedades de las cuales no pueden ser detectadas por algunos de nuestros sentidos y es necesario determinarlos con la ayuda de un estudio y análisis más específico, estas propiedades son la propiedad química y la biológica.

## 2.3 PARAMETROS FÍSICOS.

Como nos damos cuenta estas características son las más fáciles de determinar, ya que como habíamos mencionados muchas veces lo podemos hacer utilizando nuestros sentidos ya que suelen ser características subjetivas y no se requiere de otros métodos analíticos complejos para poder determinarlos; generalmente estas características provienen de fuentes naturales. A continuación se describen los parámetros físicos a determinar.

### 2.3.1 Turbidez.

La turbidez se debe principalmente a las partículas sólidas suspendidas o coloidales como: arcilla, limos, granos de sílice y otros minerales, además de gases y líquidos disueltos ya sean orgánicos e inorgánicos.

La turbidez es la expresión de la actividad óptica que causa que los rayos de la luz sean dispersados o absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta como se haría normalmente en un agua pura. Esta característica es muy importante tomarla en cuenta, porque muchas veces hace que el consumidor la rechacé con el simple hecho de verla, por que al existir este parámetro se presenta una nebulosidad, es decir, nos presenta un grado de contaminación general, de tal manera que este parámetro nos ayudara a saber la eficacia de un tren de tratamiento, el cual haya sido aplicado a la fuente.

La turbidez provoca problemas en cuanto a la absorción de luz, de tal forma que la luz solar no entra como es debido a la fuente y esto hace que se evite el proceso de la fotosíntesis, ya que la clorofila que es el pigmento verde que caracteriza y que contienen las algas depende de la energía solar para poder transformar el bióxido de carbono en oxígeno, es decir, transformar la materia inorgánica a materia orgánica, otros problemas que se presentan al no pasar de forma normal los rayos del sol es que las bacterias y otros organismos vivientes no son destruidos, aunado a esto la energía solar absorbida se convierte en energía calorífica y al haber mucha turbidez no se presenta tal caso de tal forma que puede afectar a la flora y fauna del cuerpo de agua.

La eliminación de la turbidez puede realizarse mediante la coagulación, sedimentación y filtración. Existen tres métodos para la medición de la turbiedad: Método del turbidímetro de Hellige, método del Nefelómetro Fotoeléctrico y el método Turbidimétrico de Bujía de Jackson. La turbidez se reporta en Unidades Técnicas Jackson.(UTJ) y Unidades de Turbidez Nefelometría (UTN).

### 2.3.2 Color.

El color generalmente es de origen vegetal, pero el agua puede ser coloreada por diversos factores como puede ser los desechos industriales, hierro y manganeso en forma natural, por productos ocasionados por la corrosión, por iones metálicos,

sustancias húmicas, plactón o algas, etc. De alguna manera se dice que el agua aun siendo pura no es incolora, ya que en grandes volúmenes tiene un tinte azulado y aguas provenientes de cuencas altas suelen tener un tono marrón amarillento. Debemos tomar en cuenta dos factores en la evaluación del color ya que hay que saber diferenciar el color verdadero que es producido por sustancias disueltas y el color aparente este se da por los sólidos suspendidos. Para determinar el color se emplea el método de platino-cobalto o discos coloreados.

### **2.3.3 Olor.**

El olor es un parámetro que indica rápidamente la calidad del agua y nos puede ayudar para determinar la aceptación que tiene el consumidor por la fuente. El olor puede ser definido por una sensación que puede ser percibida por el sentido del olfato al captar sustancias volátiles; también puede ser descrito por que tan desagradable es, que tan fuerte es, a que tipo de olor puede ser asociado y cual es la dilución con aire para que no pueda ser captado.

El desarrollo normal a seguir para identificar el olor que no se debe tener es ir diluyendo el agua a examinar hasta que esta llegue a tener un olor que no se perciba y comparándolo con un agua desodorizada; podemos decir que este parámetro se determina en forma subjetiva y será necesario que dos personas al menos lo realicen y evitando que haya algún otro olor. Este también es un parámetro que proporciona información sobre el estado y la calidad del agua inmediatamente, ya que toda agua es inodora y al tener algún olor quiere decir que tiene algún contaminante y por lo tanto puede ser rechazada por el consumidor. El olor se reportan en número de umbral de olor.

### **2.3.4 Sabor.**

El sabor es originado por minerales como metales y productos de la misma consolidación del suelo. El sabor puede ser definido como la sensación percibida de ciertas sustancias, debido a la estimulación de las células gustativas y es un parámetro que puede ser medido por un catador.

Realmente solo existen cuatro tipos de sabores agrio, salado, dulce y amargo.

El sabor en el agua debe de tener ciertas sales para que no tenga un sabor insípido.

### **2.3.5 Sólidos.**

Los sólidos encontrados en el agua pueden ser de origen mineral, vegetal o animal. Los sólidos minerales provienen de la consolidación y la formación de los cauces o cuencas que son arrastrados por el agua; los sólidos vegetales son los provenientes de elementos mezclados con el agua u organismos que viven en ella como pueden ser restos de semillas, plantas, hongos y algas; dentro de los sólidos animales se encuentran los que provienen de fibras, células, fragmentos de insectos, huevos de parásitos y organismos animales vivientes.

Podría decirse que un sólido es aquel que pueda quedar después de una evaporación. Todo esto se puede presentar en dos formas, como materia disuelta y no disuelta esta materia no disuelta se puede presentar en flotante o sedimentable y esta sedimentación puede ser rápida o muy lenta (coloidal); a medida de que la partícula sea más pequeña, más difícil será la técnica de separación. Hay tres tipos de sólidos:

-Sólidos sedimentables: son aquellos que por la acción de la gravedad se depositan en el fondo del agua y son los más fáciles de eliminar por el proceso de sedimentación.

-Sólidos suspendidos: a estos sólidos los constituyen materia de arcilla, arenas y diferentes partículas inorgánicas, tienen un tamaño de  $0.45 \mu\text{m}$  y pueden ser retenidos por filtración o floculación.

-Sólidos disueltos totales: son aquellos que se componen de coloides con un tamaño de  $10^{-3}$  a  $1 \mu\text{m}$  y material disuelto estos pueden ser iones o moléculas; estos pueden ser retirados por coagulación u oxidación biológica.

Estos tipos de sólidos pueden afectar dependiendo su concentración a la adsorción de agentes químicos y biológicos además reducen el paso de la luz e impiden el proceso de la fotosíntesis, provocando que los microorganismos no puedan sintetizar los nutrientes, también conducen al desarrollo del fango así mismo afectan en el sabor del agua y en muchos procesos industriales.

La distribución de sólidos se determina midiendo los sólidos sedimentables, los suspendidos y disueltos, o bien, empleando una técnica muy moderna denominada distribución del tamaño de partícula o por el método gravimétrico.

### 2.3.6 Temperatura.

La temperatura no repercute directamente en la salud, pero influye mucho en la calidad del agua ya que al haber una mayor temperatura aumenta el crecimiento de algas debido a la estratificación térmica, interviene en las velocidades de las reacciones químicas, aumenta la solubilidad de contaminantes sólidos y de las sales, en la intensificación de olor, sabor y corrosión, en la disminución de la solubilidad de los gases es por eso que acaba con la vida aerobia al eliminar el oxígeno disuelto, ayuda en el conocimiento de la procedencia de la fuente y sus posibles mezclas y en la determinación del pH.

Por tales motivos es importantísimo tener una adecuada medición de la temperatura; este parámetro se logra medir con un termómetro capilar de mercurio; la temperatura generalmente se reporta en Grados Centígrados ( $^{\circ}\text{C}$ ) o Grados Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ).

### 2.3.7 Conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica se debe a los compuestos disueltos y disociados en sus iones que están presentes en el agua y principalmente a las sales minerales. Este parámetro representa la capacidad de una solución para conducir una corriente eléctrica, es decir, la mayor o menor resistencia del agua para permitir el paso de la electricidad. El recíproco de la conductancia es la resistencia y se reporta en  $\text{ohm}^{-1}$  o  $\mu\text{mhos}$  y de hecho en el agua se reporta como  $\mu\text{mhos}$ . El valor de este parámetro depende de diferentes factores los cuales son: los tipos de iones presentes, de la concentración de los mismos y cabe destacar que la conductividad esta en función de la variación de la temperatura.

En el caso del agua pura, se dice que no es buena conductora. Para poder medir la conductividad eléctrica es preciso meter un ánodo y un cátodo de igual superficie conectados a un generador y se mide la resistencia a que corresponde a la columna de agua instalada entre las dos placas, así los resultados obtenidos se comparan con los obtenidos a partir de disoluciones de cloruro de potasio en las mismas condiciones.

## 2.4 PARÁMETROS QUÍMICOS

Estos parámetros son más difíciles de poderlos determinar ya que estas propiedades no son subjetivas y nuestros sentidos aparentemente nos puede indicar que es un agua apta para utilizarla pero en realidad tenemos un agua contaminada; generalmente estos parámetros provienen de fuentes naturales como antropogénicas y comprenden tanto compuestos orgánicos como inorgánicos y se presentan en forma coloidal disuelta y suspendida. Los compuestos orgánicos provocan la disminución de oxígeno debido a la degradación y esto puede causar condiciones sépticas, y los compuestos inorgánicos son relativamente estables y no son propensos a la degradación, la preocupación de las sustancias químicas inorgánicas radica en los efectos tóxicos que producen en el medio acuático y en algunos usuarios aun estando en pequeñas cantidades. A continuación se muestran algunas de las propiedades químicas del agua.

### 2.4.1 Alcalinidad.

Este parámetro representa la presencia de aniones de bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ) en el agua de los iones de Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio y Amonio; además expresa la capacidad por mantener su pH alcalino o al neutralizar los efectos al mezclarlo con una sustancia ácida. La alcalinidad puede afectar un agua ya que puede reaccionar y formar precipitados.

La alcalinidad se determina por el método volumétrico, el cual consiste en la titulación con un ácido. Se puede determinar dos distintas alcalinidades: la alcalinidad total y la alcalinidad simple. La primera se determina percatándonos de la cantidad de ácido que se gasta al agregar a un volumen determinado de agua

para alcanzar un pH por encima de 3.5 y el indicador que se utiliza en este caso para este rango es el naranja de metilo que cambia su color de amarillo-naranja a rojo; y para la segunda se ve la cantidad de volumen gastado de ácido a otro volumen de agua determinado para obtener un pH por encima de 8.5 y el indicador más adecuado para este rango es la fenoftaleina siendo de un color rojo violeta a transparente. Los resultados se reportan como  $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ .

#### **2.4.2 Acidez.**

La acidez de un agua significa la presencia de anhídrido carbónico libre, ácidos minerales y sales de ácidos fuertes; la acidez total y la acidez en ácidos minerales se determinan por el método volumétrico con una solución de hidróxido de sodio. La acidez puede provocar problemas de corrosión.

#### **2.4.3 Dureza.**

Constituye las concentraciones de cationes metálicos como: el calcio, magnesio, Hierro, Manganeso, Estroncio y Aluminio presentes en el agua, pero la mayoría de las veces se debe a la presencia de los dos primeros. La dureza se puede clasificar en varios tipos: Dureza Total, que es la suma de las concentraciones de iones calcio y magnesio, la Dureza Cálcica, que es la concentración de sales cálcicas; la Dureza Magnésica, son las concentraciones de sales magnésicas; la Dureza Carbonatada o Temporal, que es la suma de las alcalinidades carbonatadas y bicarbonatadas (es equivalente a la dureza total menos la dureza permanente), se puede precipitar en altas temperaturas ya que es sensible al calor; y la Dureza No Carbonatada o Permanente, que es la que se mantiene en el agua después de haber estado puesta al calor y a la filtración.

La dureza de un agua impide la formación de espuma del detergente y provoca incrustaciones. Entre los métodos más comunes para la determinación se encuentran: el de precipitación de Calcio y Magnesio por medio de métodos complejométricos, que usa como agente complejante el ácido etilendiaminotetracético (EDTA) y como indicador se utiliza el negro de eriocromo T. Los resultados de la medición de la dureza se reportan en miliequivalentes de carbonato cálcico / Litro de solución.

#### **2.4.4 Metales**

La cantidad presente de metales en el agua se debe especialmente a las descargas industriales. Algunos trazas de metales presentes en el agua como los elementos situados en los grupos I, II, III y parte del IV son constituyentes importantes para el desarrollo de la vida biológica, pero el problema se agrava si se encuentran en cantidades mayores ya que son sumamente dañinos para la salud e interfiere para muchos usos debido a su toxicidad.

Se pueden denominar en metales disueltos si el análisis se hace en el filtrado y sin acidificar, en metales suspendidos en caso contrario y en metales totales si la muestra no esta filtrada y dada a una digestión agregándole un ácido fuerte.

Para poder detectar los metales se emplea la absorción atómica. La cantidad de metales contenidos en la fuente se reportan como partes por millón (p.p.m) de cierto metal.

#### 2.4.5 pH.

Significa el potencial de hidrógeno que a su vez nos indica la concentración de iones Hidrógeno ( $H^+$ ) presentes en una disolución acuosa, el valor del pH es el antilogaritmo de la concentración de los iones hidronio. La escala de pH se encuentra entre 0 y 14, teniendo el valor de un pH igual a 7 se tiene una solución con un pH neutro, un valor de pH menor a 7 se tiene una solución con un pH ácido y si se tiene un pH mayor a 7 se tiene una solución alcalina.

El pH sirve para poder caracterizar un agua, dar continuidad a un proceso (neutralización, biológico anaerobio, corrosión) y para controlar las condiciones de operación (precipitación, floculación, desinfección) ya que la velocidad de las reacciones depende de él.

El pH se puede determinar por el método colorimétrico aquí se emplean indicadores que muestran colores distintos a diferentes pH, también utilizando tiras de papel indicador y el método electrométrico con electrodo de vidrio (pH-metros).

#### 2.4.6 Oxígeno Disuelto.

Este es un parámetro el cual mide el efecto producido por los contaminantes oxidables, de la aptitud que tiene el agua para mantener vivos a los peces u otros organismos aerobios y de la capacidad auto depuradora de un cuerpo receptor. El oxígeno disuelto afecta en las reacciones en las que se encuentran el Hierro, el Manganeseo, Cobre y aquellos compuestos que contienen Nitrógeno y Azufre.

La ausencia de oxígeno en las aguas residuales genera olores debido a la descomposición de materia orgánica anaerobia y el exceso de oxígeno en aguas de abastecimiento genera corrosión por tal motivo es importante tomar en cuenta este parámetro y su detección se hace mediante el método electroquímico.

#### 2.4.7 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

La DBO es una medida de la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para la destrucción o degradación de la materia orgánica en el agua, además sirve para medir la eficiencia de una planta de tratamiento y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de agua residual; la DBO no mide un compuesto en particular, si no todos los biodegradables por vía aerobia y se expresa en  $mg O_2 /L$ .

Para la determinación del DBO los métodos son: el de dilución y los métodos instrumentales que se derivan de los métodos respirométricos.

#### **2.4.8 Demanda Química de Oxígeno (DQO).**

Es la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua y oxidables en condiciones operatorias definidas (altas temperaturas), es decir, la medida corresponde a una estimación de las materias oxidables en el agua, cualquiera que sea su origen ya sea orgánico o inorgánico. La DQO esta en función de las características de las materias presentes, de sus proporciones respectivas y de las posibilidades de oxidación.

La técnica para la determinación del DQO es el de oxidación por el método del dicromato de potasio ya que es un oxidante fuerte.

#### **2.4.9 Grasas y Aceites.**

La grasa animal y los aceites son ésteres compuestos de alcohol o glicerina y ácidos grasos son químicamente parecidos ya que se componen de carbono, hidrógeno y oxígeno; se encuentran casi siempre en forma de emulsiones o saponificadas bajo la acción de productos químicos y detergentes. Este parámetro es de los más importantes ya que en cuanto a calidad del agua se refiere es de los que más la deterioran por que no son biodegradables o su biodegradación es lenta, además de que si no se controla bien puede afectar al inhibir el tratamiento biológico, puede perjudicar el funcionamiento normal de las plantas de tratamiento, interfiere con la vida acuática y crean películas y materiales en flotación imperceptibles los cuales pueden causar problemas con la transferencia de oxígeno del ambiente o impedir el paso de la luz.

Sus orígenes radican principalmente del uso doméstico, industrial y comercial. La solución para evitar la existencia de grasas es instalar separadores o cámaras de desengrasado. El método para la determinación de grasa y aceites es el método de extracción soxhlet.

### **2.5 PARAMETROS BIOLÓGICOS.**

El agua contiene una cantidad infinita de microorganismos, estos microorganismos mantienen un hábitat balanceado, ciertos microorganismos que contiene el agua no suelen ser dañinos para el ser humano. pero hay otros que pueden causar varios tipos de anomalías, de hecho son las principales fuentes de transmisiones de enfermedades y epidemias. Por tal motivo se consideran su alta peligrosidad y la gran necesidad de lograr su control. Estos parámetros sin duda están ligados con la calidad del agua y está depende del tipo y cantidad de microorganismos presentes.

Los organismos superiores se clasifican en reinos vegetales y reinos animales, los primeros tienen una pared celular dura, son fotosintéticas y no se mueven por sí solas y las segundas tienen paredes manejables, necesitan de alimento orgánico y se mueven por sí solas; Algunos de los organismos son notoriamente animales o vegetales, al mismo tiempo otros revelan caracteres correspondientes a los dos tipos; estos tipos de organismos son el reino Protista y se les define así por las estructuras unicelulares que tienen y por lo tanto son difíciles de clasificarlos en alguno de los dos reinos anteriores, los protistas a su vez se dividen en dos: Los procariotas o Monera que son estructuras celulares simples y pequeñas dentro de estos entran las bacterias, los actinomicetos y las algas verde-azules; los Eucariotas son estructuras más complejas ya que cuentan varios cromosomas, en esta clase entran los hongos, la mayoría de las algas y los protozoarios. Hay otro grupo adicional de microorganismos que no pueden ser clasificados dentro de estas dos clases; estos son los virus.

Los cinco grupos de microorganismos principales son:

-Virus: Son formas simples de organismos, su tamaño varía entre 0.01 a 0.3 $\mu$ m y radican básicamente de ácido nucleico y proteína. Todos son parasitarios y son muy específicos tanto a su organismo y en cuanto a la enfermedad que causan. Los procesos de desinfección generalmente los dejan activos

-Bacterias: son organismos unicelulares más pequeños de la naturaleza con un tamaño que varía de 0.1 a 1  $\mu$ m, de ancho y de espesor, con una longitud que va de 0.5 $\mu$  a 10 $\mu$ ; pueden vivir como autótrofos (sintetizan sus requerimientos orgánicos a partir de materia inorgánica) como heterótrofos (necesitan una fuente externa de materia orgánica); De acuerdo con su forma se clasifican en tres grupos: en forma de bastón (bacilos), en esféricos (cocos) y en helicoides (espirales). el tiempo de generación en algunas especies puede ser de 20 minutos en condiciones favorables; se conocen unas 1500 especies. Son muy importantes en los tratamientos de agua residuales orgánicas ya que forman una función importante en los procesos naturales de estabilización.

-Hongos: Los hongos son plantas multicelulares aerobias, estos organismos no contienen clorofila, son capaces de degradar material orgánico elevadamente complejos y algunos son complejos para el ser humano. Existen unas 100000 especies de hongos. Los hongos existen en las plantas de tratamiento y en el agua contaminada. Pueden ser responsables de ciertos sabores y olores en los abastecimientos de agua.

-Algas: son todas las plantas fotosintéticas y son multicelulares, aunque se han encontrado unicelulares; actúan como las principales fuentes de materia orgánica. La presencia de las algas es muy importante por que depende de ellas el oxígeno disuelto y por que algunas de ellas pueden causar un fuerte olor y sabor en el agua.

-Protozoarios: la mayoría de estos microorganismos son constituidos por una célula (unicelulares) de 100 a 300  $\mu\text{m}$  de longitud. Se han encontrado cuando menos unos 25,000 especies. La mayoría son heterótrofos aerobios, su alimento principal son las células bacterianas, se encuentran en el agua y en el suelo y pueden tener una importante participación en el tratamiento biológico.

-Formas superiores de vida: estos son macroorganismos más complejos, muchos de ellos se pueden ver a simple vista: entre estos se incluyen los rotíferos que son animales multicelulares con cuerpo flexible y los crustáceos que son animales multicelulares de concha dura. Ambos macroorganismos son fuente de alimentación de los peces y solo se encuentran en aguas de buena calidad.

**TABLA 2.1.** Principales Agentes patógenos transmitidos por el agua.

BACTERIAS	VIRUS	PROTOZOARIOS
Campylobacter	Norwalk-like	Cryptosporidium parvum
Escherichia coli	Entero (poliomielitis, coxsackie, echo, rotavirus)	Giardia lamblia
Salmonella (no tifoidea)	Hepatitis A	Entamoeba histolytica
Shigella	Rotavirus	
Yersinia	Meningitis aséptica	
Vibrio (no cólera)	Encefalitis	
Salmonella (tifoidea)		
Vibrio (cólera)		
Legionella		

Fuente: Chlonne.com

El principal origen de contaminación de estos residuos es la contaminación urbana compuesta por las redes de drenaje, los escurrimientos de las calles, por acciones recreativas y por las zonas de los ríos utilizadas como abrevadero.

En la siguiente tabla muestra algunas Normas Mexicanas para la ayuda en la determinación de algunos de los parámetros físicos, químicos y biológicos.

**TABLA 2.2** Normas Mexicanas para la determinación de los parámetros existentes en las aguas.

NORMA MEXICANA	DETERMINACIÓN
NMX-AA-004	Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales. Método del cono Imhoff.
NMX-AA-005	Determinación de grasas y aceites. Método de extracción Soxhlet.
NMX-AA-006	Determinación de materia flotante. Método visual con malla específica.
NMX-AA-007	Determinación de la temperatura. Método visual con termómetro.
NMX-AA-008	Determinación de pH. Método potenciométrico.
NMX-AA-028	Determinación de demanda bioquímica de oxígeno. Método de incubación por diluciones.
NMX-AA-034	Determinación de sólidos en agua. Método gravimétrico.
NMX-AA-042	Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales. Método de tubos múltiples de fermentación.
NMX-AA-044	Determinación de cromo hexavalente. Método colorimétrico.
NMX-AA-046	Determinación de arsénico en agua.
NMX-AA-051	Determinación de metales. Método espectrofotométrico de absorción atómica.
NMX-AA-057	Determinación de plomo. Método colorimétrico de la ditizona.
NMX-AA-058	Determinación de cianuros. Método colorimétrico y titulométrico.
NMX-AA-060	Determinación de cadmio. Método de la ditizona.
NMX-AA-064	Determinación de mercurio. Método de la ditizona.
NMX-AA-066	Determinación de cobre. Método de la neocuproína.
NMX-AA-076	Determinación de níquel.
NMX-AA-078	Determinación de zinc.
NMX-AA-102	Detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termo tolerantes y <i>Escherichia coli</i> presuntiva.

Fuente: CNA

En la siguiente tabla se muestran los efectos de los diferentes parámetros al encontrarse presentes en el agua con una alta concentración.

**TABLA 2.3** Efecto de los contaminantes en el agua.

CONTAMINANTES	EFECTOS
Dureza	Causa incrustaciones en tuberías, calderas, etc; interfiere en el teñido de las telas y en la elaboración de la cerveza y alimentos enlatados.
Magnesio (como sulfato)	Causa efectos catárticos.
Hierro	Produce manchas en los tejidos y papel, así como en el hielo.
Carbonatos	Provocan depósitos en las verduras enlatadas.
Nutrientes (nitrógeno y fósforo)	Inducen el crecimiento de las plantas, causantes de la eutrofización.
Ácidos	Ocasiona que el agua sea inadecuada en los usos recreativos y en la propagación de especies.
Álcalis	Causan irritación en las mucosas, corrosión y toxicidad. Interfiere en los procesos de coagulación en las plantas de tratamiento, con la fermentación industrial, con el aroma de las bebidas no alcohólicas, con el sabor de las frutas enlatadas, en la limpieza de metales, etc.
Materia orgánica	Consume oxígeno disuelto originando olores desagradables y asfixia a los peces a causa de la falta de oxígeno.
Materia flotante	Obstruye el paso de la luz retardando el desarrollo de la vida acuática. Causa sabor desagradable (cuando existen grasas y aceites), destruye la vegetación de las orillas e interfiere con los usos recreativos.
Sólidos en suspensión	Se depositan en el fondo inhibiendo la propagación de las especies acuáticas. Incrementan la turbiedad y el color, causan déficit de oxígeno y reducen la capacidad de los cuerpos de agua.
Sustancias tóxicas	Causan efectos crónicos y letales al hombre, dependiendo de la sustancia presente y su concentración, son acumulativos. Son difíciles de remover en los procesos de tratamiento. Causan daños a los cultivos, al suelo, a los animales terrestres y acuáticos.
Microorganismos	Causan diversas enfermedades al hombre, en base al microorganismo presente en el agua. Producen diarreas, disentería, amibiasis, tifoidea, entre otras.

Fuente: SEDUE (1985)

## MUESTREO Y AFORO EN LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO.

### 3.1 IMPORTANCIA DEL MUESTREO.

Cuando se trata de medir los parámetros para determinar la calidad del agua de nuestras fuentes de abastecimiento, muchas veces es imposible hacerlo desde la misma fuente, entonces es necesario desarrollar un sistema de toma de muestras. La toma de una muestra es una acción delicada que debe llevarse con sumo cuidado ya que se trata de obtener resultados seguros y confiables.

Muestrear es recoger una porción de lo que se quiere analizar y que esta sea lo más homogénea y representativa posible, esto quiere decir que debe ser manejada y transportada cuidadosamente para que no sufra ninguna alteración y mantenga las mismas condiciones y concentraciones de cada uno de los componentes presentes en la muestra para el momento de su análisis; ya que si se carece de estos cuidados y no se detectan los errores, es muy posible que se suponga un agua limpia y que esta realmente se encuentre contaminada y por consiguiente que no se cumpla con el objetivo requerido.

Al elaborar un sistema de muestreo debemos de tener claro y muy bien definido el objetivo, ya que es necesario definir la causa que motiva el muestreo; algunos ejemplos podrían ser: la caracterización de la fuente para la elaboración de una planta de tratamiento, conocer la calidad del agua, detectar el porque de alguna posible epidemia o intoxicación, conocer las concentraciones máximas y mínimas, detectar cambios o tendencias temporales, los posibles daños causados al ambiente acuático, evaluar los efectos de la contaminación de las actividades naturales y antropogénicas, identificar posibles precauciones o establecer el mejor proceso de limpia que pudo ser causado por algún tipo de contaminación y cumplir con los requerimientos y normas establecidas.

En este capítulo solo se muestra la planeación y la logística del muestreo y aforo de algunas fuentes de abastecimiento.

### 3.2 PLANEACION DEL SISTEMA DE MUESTREO.

Por otra parte las personas interesadas en el muestreo deben de tomar en cuenta algunos factores importantes que entran en la logística y la planeación para poder dar entrada al muestreo, dentro de estos factores se encuentran el conocimiento y el entendimiento de los requerimientos legales estipulados, las regulaciones y las condiciones dictadas y permitidas por el gobierno local, el gobierno estatal y el gobierno federal, investigar si existen documentos preliminares relacionados con la fuente; además el plan debe desarrollarse preferiblemente por escrito ya que con esto se obtienen muchos beneficios como: el planteamiento de estrategias y el diseño de tácticas para obtener buenos resultados en el muestreo, cada paso del sistema debe tener un llenado de documentación como el objetivo, la determinación de la frecuencia del muestreo, la localización, el como se va hacer el

manejo de los resultados además otros datos como la distribución de los recursos (personal, tiempo y dinero) ya que en la planeación, la logística y la realización del sistema de toma de muestras se puede consumir demasiado tiempo y por lo tanto mientras más tiempo, se requiere más de los otros dos recursos; aunado a esto se deben realizar estudios, los cuales nos dan información más precisa de la fuente.

Algunos de esos estudios son:

- La investigación local de la fuente: ya sea una descripción de los puntos de localización del terreno (latitud, longitud, altitud), poblaciones cercanas, el crecimiento municipal e industrial, la influencia de la contaminación antropogénica, algunas nuevas formaciones de fuentes de abastecimiento por precipitación o infiltración, alguna posible utilización del agua de la fuente, accesibilidad a la fuente, seguridad del sitio, acuerdos y facilidades por parte del gobierno, conocer el tiempo y distancia entre el laboratorio y la fuente.
- Las Condiciones Meteorológicas del sitio: observar que tipo y que tan estable es el clima o los climas que prevalecen en el sitio (antes y después de realizar el muestreo).
- Estudios sobre la Geología, Hidrogeología y Topografía: naturaleza, estructura, permeabilidad y contaminación de los suelos, dirección y velocidad de flujo, tamaño, área y extensión de la fuente.

### 3.3 METODOS DE MUESTREO.

Las muestras pueden ser recolectadas mediante dos métodos:

- Muestreo Manual: consiste en introducir el contenedor en la fuente y llenarlo hasta un volumen requerido, es un método relativamente sencillo y se puede llevar a cabo para sistemas de muestreo rápidos pero en realidad tiene más desventajas ya que cuando se tienen que tomar muestras hora por hora durante el día por un periodo largo de tiempo, no es practico también cuando se tienen que tomar una sola muestra a diferentes horas o en un periodo impredecible ya que puede llegar a ser complejo y en los dos casos tiene que estar al tanto una persona para poder tomar la muestra, además puede producir resultados inconsistentes por el error humano y puede ser peligroso para el muestreador cuando la zona para muestrear es difícil su acceso o si la fuente contiene materiales peligrosos; agregando otra desventaja a este método no es factible cuando se requiere de un muestreo exhaustivo y esto puede llevar demasiado tiempo y ser muy costoso.
- Muestreo Automático: un muestreador automático es un dispositivo que puede ser programado para coleccionar muestras para cualquier tipo de

análisis ecológicos. Un programa de muestras es simplemente un set de instrucciones que controla la labor para ser ejecutada por el muestreador y siendo así hay que especificar los tipos y volúmenes de muestras a tomar; las condiciones bajo las cuales estas muestras deben ser colectadas y los contenedores dentro del cual van a ir estas muestras. Las condiciones en las cuales pueden ser basadas son el tiempo, flujo, nivel de líquido, pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto entre otros parámetros. Este método parece ser que tiene más ventajas ya que al utilizarlo este reduce significativamente el error humano, reduce costos de los mismos y puede dar un mayor promedio de muestreo.



**FIGURA 3.1** Muestreador Automático

### 3.3.1 Tipos de muestras.

Existen tres tipos de muestras, cada tipo tiene sus ventajas y desventajas, pero no hay que olvidar que están en función de las características, las condiciones y el tipo de la fuente, además la cantidad de muestra de los análisis posteriores que se les realizarán. A continuación se muestran los tipos de muestras:

- **Muestra Simple:** este tipo de muestras se toman en un punto de la fuente en cualquier tiempo dado, es decir, son obtenidas por inmersión de un contenedor y llenándolo a un volumen requerido.
- **Muestra Compuesta:** consiste de una serie de muestras simples colectadas en el mismo punto a diferentes tiempos y depositadas en el mismo contenedor.
- **Muestra Integral:** estas muestras contienen varias simples sin tener el mismo volumen y provienen de diferentes puntos de la fuente a diferentes intervalos regulares de tiempo a lo largo y ancho de la fuente en proporción al caudal.

TABLA 3.1 Tipos de muestras.

TIPO DE MUESTRAS	APLICACION
Muestras simples	Cuando las características químicas, físicas y biológicas son constantes o no varían con el tiempo, para determinar la variabilidad espacial o temporal y evitar reacciones o interferencias entre diferentes compuestos que se encuentren dentro del agua.
Muestras compuestas	Para determinar concentraciones promedio en aguas de calidad variable, caracterizar descargas y evaluar cargas y eficiencias en plantas depuradoras.
Muestras integrales	Para cuerpos de agua grandes o estratificados

### 3.4 IMPORTANCIA DEL AFORO.

La mayoría de las plantas de tratamiento requieren precisar el caudal de entrada de agua que provenga de cualquier tipo de fuente ya que el caudal es el parámetro más importante para determinar el aprovechamiento y la disponibilidad de la fuente y por lo tanto resuelve muchos problemas de abastecimiento, uso y disposición final como puede ser: la determinación de la cantidad de agua entregada y por consiguiente para establecer la cuota que se debe de pagar por parte del consumidor; de igual forma para definir el tamaño, la construcción y la operación de la planta de tratamiento. Para tener esta información se requiere la realización de aforos en las diferentes fuentes de abastecimiento.

El aforo se entiende como el conjunto de mediciones y operaciones para determinar el gasto; definiéndose este como la cantidad de líquido que pasa por una sección en una unidad de tiempo, es decir,  $Q = (V)(S)$

Donde:

Q = el gasto

V = la velocidad expresado en unidades de longitud por tiempo

S = el área expresado en unidades de superficie

Expresándose el gasto en unidades de volumen / tiempo, es decir, ( $m^3/seg.$ ), ( $m^3/hr.$ ), ( $lt./seg.$ ); el gasto puede medirse como gasto total o el flujo en las áreas individuales.

#### 3.4.1 Métodos de aforos.

Existen distintos métodos para realizar el aforo de nuestras fuentes de abastecimiento, pero en general todos los métodos de medición de corrientes de agua entran en dos tipos de clasificación:

- Métodos de velocidad-superficie: en estos métodos la velocidad puede medirse por:

1.-Medidor de corriente o molinete: El molinete es un dispositivo en el cual el mecanismo de su funcionamiento reside en que el movimiento de la corriente que hace girar un eje a través de una hélice. Al estar este dispositivo correctamente colocado en el seno de la corriente, mientras la velocidad de la misma permanezca constante, el eje girará con una velocidad también constante, de tal manera que si se puede medir la velocidad de rotación del eje, mediante una fórmula se puede conocer la velocidad de la corriente; dicha fórmula viene indicada en este aparato.

La velocidad del molinete se mide a través de un circuito eléctrico que comprende un receptor telefónico este permite salvar la distancia del observador al aparato y la inaccesibilidad del mismo. Así cada determinado número de revoluciones del eje (10, 50 y a veces más) se activa un timbre, cuyos golpeteos se pueden contrastar fácilmente con un cronómetro, y se llega a conocer con suficiente exactitud el número de revoluciones por minuto, función que determina la velocidad del agua.

Existen diversos tipos de molinete de acuerdo con el modo de situarlos uno es el diferencial o el tipo de taza cóncava que consiste en un eje vertical con una serie de cazoletas que giran por el exceso de presión de su parte cóncava sobre la convexa; y del tipo directo o de hélice con aspas dispuestas sobre un eje horizontal que giran por la acción directa de la corriente; el aforador diferencial registra siempre la plena velocidad en cualquier sentido de la corriente o aquel a que apunte el medidor. El movimiento vertical de éste, lo mismo hacía arriba que hacía abajo, hace girar la rueda en su sentido positivo, por lo que siempre tiene tendencia a indicar una velocidad demasiada alta y el de tipo hélice no tiene esta característica.

tipo taza cóncava

tipo hélice

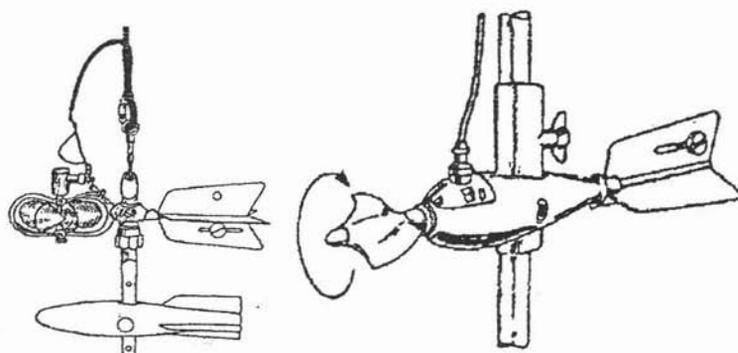


FIGURA 3.2 Tipos de Molinetes.

2.-Flotadores: Estos pueden ser cualquier tipo de objetos que floten ya que adquieren prácticamente la misma velocidad que el agua, consiste en medir el tiempo que recorre el flotador una distancia conocida. Se utilizan tres clases de flotadores: de superficie, de subsuperficie y de bastón o de varilla.

3.-Pantalla corrediza: Este método se adapta únicamente a canales abiertos de sección transversal que sean muy regulares. El trabajo anterior es muy laborioso, pero cuando este aparato ha sido colocado puede utilizarse para varias observaciones como se deseen.

Una ligera pantalla de lona, barnizada para impermeabilizarla, se suspende con un bastidor rígido de un carrito con ruedas montadas sobre rieles situados a lo largo de los márgenes de la fuente. La velocidad con que se mueva la pantalla debe ser necesariamente la velocidad media del agua que la impulsa, se asegura su movimiento libre dejando una pequeña holgura. La distancia que la pantalla pueda moverse queda limitada a la longitud del tramo de sección recta uniforme (por lo regular se disponen contactos eléctricos al inicio y al final del tramo y se registra automáticamente el tiempo empleado en el trayecto. El gasto es el producto del área de la sección transversal de la corriente por la velocidad de la pantalla.

4.-Método de color o de la velocidad de color: Este método consiste en verter una cantidad pequeña de solución concentrada de un colorante fuerte, y se mide el tiempo que tarde en propagar su color hasta un punto de observación aguas abajo. Se mide finalmente la longitud del tramo que recorrió desde que se vierte el colorante hasta el de observación. Las observaciones del tiempo deben hacerse en el momento en que se introduce el colorante y en la primera y en la última aparición de colorante en el punto de observación. El promedio de estos dos intervalos de tiempo se considera como el tiempo recorrido. En un área de sección transversal uniforme, la longitud del tramo dividida por el tiempo del recorrido es igual a la velocidad media, y el gasto es el producto de esta velocidad media y el área de la sección transversal. El colorante debe inyectarse rápidamente con un corte neto para que se desplace como una nube colorante.

5.-Método de la velocidad de la sal: Se introduce salmuera concentrada, la salmuera aumenta la conductividad eléctrica del agua. Se instalan electrodos, conectados a un amperímetro en uno a más puntos de observación aguas abajo de la introducción de la sal. Conforme se acerca el prisma de agua que contiene la sal, los electrodos indican un aumento en la intensidad de la corriente eléctrica. Al utilizar un amperímetro con un solo punto de observación, se hacen observaciones de tiempo en el instante en que se introduce la sal y además al principio y al final en que aumenta de la desviación de la aguja del amperímetro. El promedio de estos intervalos se considera como el tiempo recorrido. Si hay dos o más puntos de observación, el tiempo en que se introdujo la sal no se toma en cuenta. El tiempo del recorrido entre dos puntos de observación es el promedio de los tiempos comprendidos entre los principios y finales de los aumentos de la

desviación. El método de calcular el gasto es igual el del método de color. Se tiene que determinar el volumen para el tramo considerado. El gasto es igual al volumen dividido por el tiempo del recorrido.

- Métodos de gasto o caudal directo: estos métodos no se necesitan mediciones de la velocidad; en algunos métodos se hace la medición de esta por simple procedimiento, pero no es una medición real.

1.-Método Gravimétrico y Volumétrico: En estos casos como su nombre se indica se hace la cuantificación de peso y volumen de la cantidad de agua que fluye en un tiempo dado, relativamente son determinaciones sencillas, y se adecuan fundamentalmente a trabajos experimentales ya que se utilizan en mediciones de gastos relativamente pequeños los métodos.

2.-Vertederos: es una estructura que contiene una corte grande de forma regular que a través de la cual fluye el agua. Podemos encontrar diferentes tipos de vertederos, clasificándolos con la forma de su corte se encuentran: vertederos triangulares o de ranuras en V, rectangulares, trapeziales y parabólicas. El vertedero debe tener el extremo agudo del lado aguas arriba para que la corriente fluya libremente por encima de esta. A esto se le denomina cresta o pared aguda.

Para la determinación del gasto solo es necesario medir la altura del agua sobre la cresta del vertedero en un punto, lo suficientemente aguas arriba para salvar la curva que forma la superficie del agua sobre el vertedero, se instala un medidor en la poza de amortiguación en un lugar en el que se pueda leer fácilmente. El cero del medidor fija el nivel en el punto más bajo de la corte; el gasto es determinado mediante la fórmula correspondiente a la forma del vertedero.

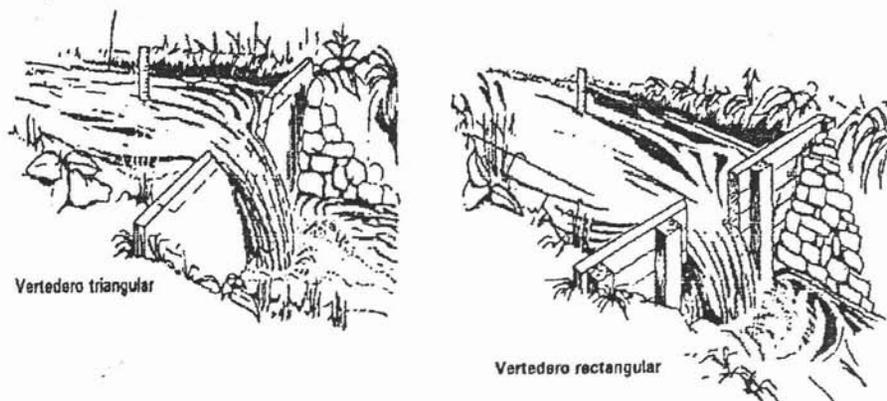


FIGURA 3.3 Tipos de Vertederos.

3.-Canal Parshall: Como este, se han diseñado diferentes tipos de aforadores (canaleta Venturi, aforador en H, aforador WSC, etc.) mediante especificaciones especiales ya que se construyen para satisfacer una determinada necesidad.

Este es un método que aplica el principio de Venturi a la medición de gastos en canales abiertos. Sus ventajas fundamentales es que existe una baja perdida de carga a través del aforador además deja pasar fácilmente sedimentos o desechos esto quiere decir que no presenta asolvamientos, no necesita condiciones especiales de acceso o una poza de amortiguación. El aforador esta compuesto por una sección de convergencia con un piso nivelado, una garganta con un piso en pendiente hacia aguas abajo y una sección de divergencia con un piso en pendiente hacia aguas arriba. Gracias a ello el caudal avanza a una velocidad crítica a través de la garganta y con una onda estacionaria en la sección de divergencia.

Con un flujo libre el nivel del agua en la salida no es lo bastante elevado como para afectar el caudal a través de la garganta y, en consecuencia, el caudal es proporcional al nivel medido en el punto especificado en la sección de convergencia. La relación del nivel del agua aguas abajo con el nivel aguas arriba se conoce como el grado de sumersión, una ventaja más de este canal de aforo es que no requiere corrección alguna hasta un 70% de sumersión.

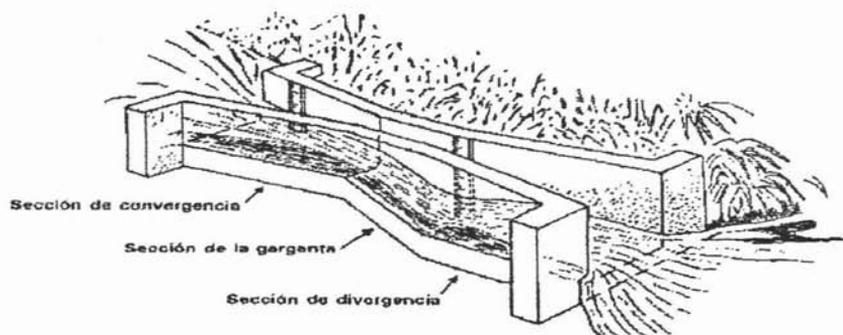
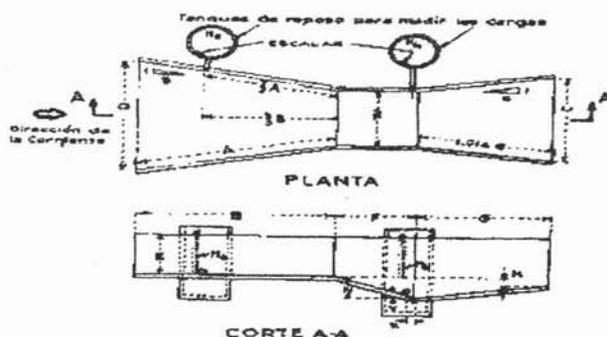


FIGURA 3.4 Canal Parshall



Tomado de Trueba (1982)

FIGURA 3.5 Perfil del canal Parshall

### 3.5 FRECUENCIA DEL MUESTREO.

La naturaleza del agua y la calidad del efluente determinan muchas veces el número de muestras requeridas. Si en la composición del agua se presentan cambios notables y frecuentes debe aumentarse el muestreo. La frecuencia muchas veces dependerá directamente del objetivo del sistema de muestreo, además la frecuencia se establece con base a la variabilidad de los datos así de como se vayan dando los avances del proyecto y la influencia de los cambios climatológicos, otras veces se determinara por las leyes que regulan la contaminación o los requerimientos de calidad con respecto al uso específicos de los cuerpos de agua, un ejemplo de esto son las tablas 1 y 2 que se presentan y que son de obediencia pública en México. Así mismo el muestreo debe ser lo suficientemente frecuente para proporcionar datos que permitan mantener la calidad del agua e indicar cualquier diferencia en el tratamiento.

En las siguientes tablas se muestran especificaciones de monitoreo y frecuencia estipulada por la comisión Nacional del Agua en la NOM-001-SEMARNAT-1996 para descargas municipales y no municipales.

TABLA 3.2 Descargas Municipales.

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

Fuente: CNA

TABLA 3.3 Descargas no Municipales.

FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DEL REPORTE
Mensual	Trimestral
Trimestral	Semestral
Semestral	Anual

### 3.6 MUESTREO Y AFORO EN AGUAS CONVENCIONALES.

Se puede decir que el manejo en la preparación, el cuidado y la conservación de las muestras regularmente son iguales en las diferentes fuentes de abastecimiento, pero en las acciones de la toma de muestras y el aforamiento son completamente diferentes, debido a las distintas condiciones geológicas de los cuerpos de agua, por lo tanto la localización de los sitios de muestreo son diferentes; pero regularmente hay instrucciones o indicaciones que se deben seguir en cualquiera de las fuentes, estas instrucciones para el muestreo y el aforo están basadas en la NMX-AA-014-1980 y se refiere a "Cuerpos receptores – Muestreo" la cual establece los lineamientos generales y recomendaciones para el muestreo en cuerpos receptores de aguas superficiales con el fin de determinar sus características físicas, químicas y bacteriológicas.

#### 3.6.1 Preparación antes al muestreo.

Siempre se deben de emplear frascos nuevos tomando en cuenta la compatibilidad del material del frasco con el agua a muestrear y que estos sean inertes, además que sean resistentes a diferentes condiciones y de preferencia de boca esmerilada o si se presenta el caso de tapones de polietileno o de teflón, mañteníéndolos durante una hora en agua destilada y secarlos posteriormente.

Los recipientes se recomienda muchas veces que se traten para poder evitar alteraciones en los resultados de los análisis por algún contaminante, estos se pueden tratar con 20 ml. de solución saturada de permanganato potásico y después de escurridos se dejarán 10 minutos en contacto con 10 ml. de ácido sulfúrico y enjuagarlos abundantemente con agua ordinaria hasta que no haya reacción de acidez con papel tornasol. Después se efectuarán algunos enjuagues con agua destilada. En cuanto al volumen de la muestra los recipientes deben de tener un mínimo de 2.5 litros y en las muestras para análisis bacteriológico se debe tener un máximo de 2.5 litros. En el momento de la toma de muestras es necesario introducir los frascos en el agua a muestrear al menos tres veces.

Se recomienda llevar un orden de cada muestra recolectada ya que esto asegura la integridad de la muestra, por eso es necesario identificar cada recipiente ya sea

colocándole una tarjeta o calcomanía; las etiquetas deberán llevar información como:

- Estudios del cuerpo receptor.
- Número y nombre de la estación de muestreo.
- Identificación de la descarga.
- Fecha y Hora del muestreo.
- Nombre y firma del personal que tomo la muestra.
- Determinaciones de los parámetros que se aplicarán a la muestra.

Otra forma de mantener el orden de las muestras es enumerando el recipiente y la información recogida anotarla en una cadena de custodia (hoja de registros) la cual deberá tener información como:

- La mencionada anteriormente.
- La localización del lugar donde se tomó la muestra.
- Resultados de pruebas de campo practicadas en la zona estudiada sobre diferentes planos de la misma.
- Temperatura ambiente y temperatura del agua.
- Datos como: pH y gasto.
- Localización de las estaciones de muestreo de tal forma que en algún otro caso se pueda tomar otra muestra en el mismo sitio.

Se permitirá el uso de muestreadores automáticos siempre y cuando se utilicen de acuerdo a las instrucciones del fabricante del equipo y con un manejo y mantenimiento adecuado. Debemos de tomar en cuenta aspectos como: las muestras no deberán contener partículas mayores de 5 cm. ya que esta alteran significativamente los resultados de los análisis y no deberán incluirse los sedimentos y la materia flotante que se halla acumulada en el punto de muestreo ya que así no se tiene una muestra representativa, los lugares y los puntos de la toma de muestras deben de ser de fácil acceso y algo muy importante se debe de tener todas las precauciones de seguridad posibles para proteger al personal en todos aspectos. Todos los equipos de muestreo deben de estar previamente calibrados de acuerdo a la normatividad.

### **3.6.2 Muestreo y Aforo en Ríos y Arroyos.**

Se recomienda generalmente que el muestreo en un río se haga donde las aguas estén bien mezcladas y puede bastar con una estación y un muestreo cotidiano, ocasionalmente se requerirá de un muestreo más frecuente en periodos de crecida (después de las tormentas) cuando la turbidez de la corriente aumenta con rapidez y durante deshielos; pero hay que tener cuidado ya que en zonas de turbulencia puede haber perdidas de compuestos volátiles.

Por lo regular las mediciones de flujo se hacen con un molinete, este mide la velocidad en un único punto y para calcular la corriente total hacen falta varias mediciones. El método consiste entonces en medir la sección del curso y la velocidad en la misma, ello se hace a través de verticales referidas a las márgenes

en las que se mide profundidad y velocidad. Se determinan así áreas parciales y velocidades medias en las áreas parciales con las cuales se determinan caudales parciales, cuya sumatoria arroja el caudal total.  $Q = A_1 V_1 + A_2 V_2 + A_3 V_3 + \dots$

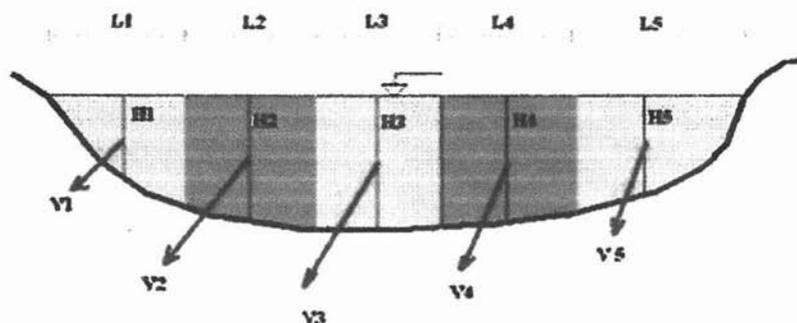


FIGURA 3.6 Aforo en ríos

En las corrientes pequeñas se montan los molinetes sobre barras que sostienen algunos operarios que caminan por el agua, cuando hay que medir caudales en grandes ríos, las lecturas se toman desde un puente o instalando un cable suspendido por encima del nivel máximo de la avenida, el molinete se baja por medio de cables con pesas para detenerlo contra la corriente del río.

En caso de que se mida el flujo con vertederos debe haber una turbulencia aguas arriba y después una poza de amortiguación o un canal de acceso para calmar cualquier turbulencia y lograr que el agua se acerque al vertedero lenta y suavemente.

### 3.6.3 Muestreo y aforo en Lagos.

Sin importar la táctica de muestreo que se realice en las aguas superficiales se debe de cumplir con los siguientes requerimientos: Se debe de implantar una red de muestreo que represente las condiciones particulares del cuerpo receptor, debiéndose tomar las muestras en la parte superior, media e inferior ya la composición de un lago profundo suele ser diferente con la profundidad y será necesario hacer un muestreo a distintos niveles.

Debemos tener en cuenta que en la mayoría de los lagos se descargan casi todas las aguas residuales por lo tanto debemos saber en donde está nuestro punto de toma de agua para que el agua llegue a la planta de tratamiento lo menos contaminada; se debe muestrear y aforar en los puntos aguas arriba de la descarga de manera que la distancia sea lo suficiente para que no se manifieste la

influencia de esta, en la descarga misma lo más cerca posible del cuerpo receptor, aguas debajo de la descarga a una distancia que ya se haya mezclado uniformemente, a una distancia la cual el cuerpo receptor ya haya absorbido el efecto de la descarga; para fines de estudios se debe de muestrear en aquellos sitios donde se aprecien cambios de sección, caídas y zonas cubiertas de lirio.

En las lagunas, embalses y presas se debe de realizar el muestreo y el aforo en los afluentes antes de desembocar y a la salida del cuerpo receptor porque la mayoría de estas fuentes son alimentadas por más de dos corrientes y dentro de la fuente en donde se aprecie una mezcla uniforme con los afluentes.

Además tratando de que sea lo bastante lejos de las orillas y de los bordes, así como de los obstáculos naturales y artificiales ya que aquí es donde más se concentra la materia flotante además evitando poner en suspensión los depósitos sedimentables.

El número de muestras debe ser tomado en relación con el tamaño del lago, los perfiles de profundidad y de temperatura deben ya de estar tomados en cuenta para poder localizar la estratificación.

En la mayoría de los lagos grandes se requiere de dos estaciones de muestreo y se debe de hacer un muestreo 3 o 4 veces al año para determinar sus características para casi todos los fines, ya que mantienen una composición constante durante largos periodos, también se recomienda hacerlo durante cinco días consecutivos durante la temporada de calor junto con una muestra al azar de preferencia durante la época anterior a la estratificación que se produce en verano, durante el mezclado siguiente a la estratificación, durante el invierno y el deshielo. Muchas veces es necesario partir de una información que nos de algunas referencias para conocer más el lago además nos ayuda para poder caracterizar aun más el lago. Esta característica es la Batimetría.

La Batimetría en algunos casos es requerida para poder saber de la presencia de varias cuencas dentro del lago y así poder calcular el volumen; además como una base para realizar un plano para poder hacer el muestreo y también para poder predecir la presencia de organismos específicos.

#### **3.6.4 Muestreo y Aforo en Presas.**

Las presas muestran muchas veces las bases hidrodinámicas de los lagos, pero muchas veces es necesario adoptar algunas modificaciones a las estrategias para valorar la calidad del agua.

La valoración de la calidad del agua se debe de tomar en cuenta los usos del agua de la presa y las condiciones del sitio donde el agua es extraída además el propósito principal por el cual la presa fue construida; está información nos ayudará para realizar una buena estrategia de muestreo.

Se recomienda seleccionar el sitio de muestreo cerca de la extracción o en la pared del dique; también debemos de tomar en cuenta la forma de la presa.

### 3.7 MUESTREO Y AFORO EN AGUAS NO CONVENCIONALES

La información descrita anteriormente como la planeación del sistema de muestreo, los métodos de muestreo y de aforo, el tipo de muestras, la preparación anterior al muestreo y la que se verá en los siguientes puntos como el manejo y la preservación que se da a las muestras de las aguas convencionales, sirve como base y regularmente se aplica a este tipo de agua no convencional por tal motivo se recomienda darles el mismo trato. Obviamente hay casos en los cuales donde la información varía, en estos casos la diferenciación se mencionará.

#### 3.7.1 Aguas Residuales

En los casos del muestreo y el aforamiento lógicamente varía totalmente ya que es difícil especificar una localización de los puntos de recolección para todas las plantas ya que las condiciones son diferentes.

Cabe mencionar que las recomendaciones de muestreo para las aguas residuales están basadas en la NMX-AA-003-1980 que se refiere a "Aguas Residuales – Muestreo" la cual establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales, con el fin de determinar sus características físicas y químicas.

En cuanto a la identificación de las muestras, la información que se debe de agregar (a la descrita en el punto 3.6.1) al llenado de la cadena de custodia (hoja de registros) es:

- Temperatura de la muestra.
- Profundidad de muestreo.
- Resultados de pruebas de campo practicadas en la descarga muestreada.
- Descripción cualitativa del olor y el color de las aguas residuales muestreadas.

Cada toma de muestreo debe de tener una válvula de cierre que permita el paso libre de las aguas residuales y de los materiales que puedan contener y proporcionar el cierre hermético de la toma. Esta válvula y los accesorios deben de ser de materiales afines a los de las tomas y de los ductos en los cuales se instalan.

Se recomienda que el recipiente contenedor de la muestra tenga un mínimo de 2 litros, también que se retiren las partículas mayores a 6 mm.

Si el muestreo en las aguas residuales se realiza en tomas, en descargas libres y en canales y colectores se pueden tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Muestreo en Tomas: se recomienda que se coloquen tomas en conductos a presión o en conductos que permitan el fácil acceso para muestrear a cielo abierto con el objeto de caracterizar como es debido el agua residual, las tomas deben de tener un diámetro apropiado para muestrear correctamente las aguas residuales en

función de los materiales que puedan contener, deben de ser de la menor longitud posible, hay que procurar situarlas de tal manera que las muestras sean representativas de la descarga, además se pide el uso de materiales similares al conducto como puede ser el acero al carbón y el acero inoxidable y se debe dejar fluir un volumen alrededor de 10 veces el volumen de la muestra y posteriormente se llena el contenedor con la muestra.

-Muestreo en descargas libres: cuando las aguas residuales fluyan en forma de chorro se debe introducir el recipiente muestreador en la descarga o de ser posible, se toma directamente la muestra en su recipiente en el que se va a realizar la muestra.

-Muestreo en canales y colectores: se recomienda tomar las muestras donde estén las aguas bien mezcladas de preferencia en lugares donde haya turbulencia, y en el centro del canal o colector, muchas veces cuando se va a evaluar el contenido de grasas y aceites se deben tomar porciones a diferentes profundidades y donde no haya demasiada turbulencia, el recipiente muestreador debe ser atado a una cuerda y sostenido con la mano preferentemente cubierta con un guante y se debe introducir completamente en el agua residual y extraer la muestra.

Como se había mencionado hay tres tipos de muestras, pero en las aguas residuales principalmente se utilizan la muestra simple y la compuesta; en estos casos la simple nos da las características del agua residual en el momento en el que la muestra es tomada, también se usa cuando el flujo de agua es intermitente y cuando las muestras compuestas pueden ocultar condiciones extremas de las aguas residuales (pH y temperatura). La muestra simple debe de tomarse a determinada hora del día, esto es cuando la planta esta trabajando a su máxima capacidad, usualmente coincide cuando se da el mayor gasto. Esta muestra sirve para determinar concentraciones altas ya que muchas veces necesitamos identificar algún contaminante en especial presente en las aguas negras y este puede durar corto tiempo a alta concentración en el agua y si se integrasen muestras compuestas se tendría una concentración media.

El volumen de una muestra simple debe de ser mínimo de 1 y 2 litros.

La mayoría de las veces las muestras se recomiendan que sean compuestas para que puedan representar el promedio de las variaciones de los contaminantes en cierto tiempo y por regla estas muestras sirven para establecer las características de las aguas negras que se van a tratar y la eficacia de las unidades de tratamiento. El procedimiento normativo para la obtención de estas muestras es el siguiente: las muestras se obtienen en volúmenes proporcionales al gasto o flujo de descarga en el sitio y momento del muestreo, el intervalo entre la toma de cada muestra simple para integrar la muestra compuesta, debe de ser el suficiente para determinar la variación de los contaminantes del agua residual, y se deben tomar de tal manera que cubran las variaciones de las descargas durante 24 hrs. como mínimo, es decir, la porción que se debe recoger debe tener cierta frecuencia para obtener resultados promedios, si la concentración y el gasto no varían mucho será necesario muestrear cada hora durante un periodo de 12 horas, pero si las

fluctuaciones varían demasiado será necesario muestrear cada 15 minutos y el período puede cubrirse cada cuatro, ocho o doce horas.

La cantidad de cada muestra simple que se requiera para una muestra compuesta debe ser proporcional al flujo del caudal en el momento en que la muestra es tomada; el gasto de las aguas residuales debe medirse cada que se toma una muestra simple.

Suponiendo que  $V$  es el volumen total de la muestra compuesta que debemos de tomar;  $V_i$  es el volumen de cada muestra simple que se debe de tomar;  $Q_m$  es el caudal medio;  $Q_i$  es el caudal instantáneo en el momento en que la muestra es tomada y  $n$  es el número de muestras que deben ser mezcladas, entonces:

$$V / n Q_m = V_i / Q_i \quad ; \quad V_i = (V / n Q_m) Q_i$$

El volumen de muestra requerida es:

$$V_i / Q_i = V / n Q_m$$

La frecuencia del muestreo depende de la variabilidad del caudal y la carga contaminante. Las muestras simples de las muestras compuestas deben tener entre 25 y 100 ml. y el volumen compuesto debe tener entre 2 y 4 litros.

En la tabla siguiente se muestra la frecuencia del muestreo, es decir, el tiempo en que se deben de tomar las muestras simples para poder obtener una muestra compuesta y así poder obtener la muestra a analizar y poder hacer la caracterización que nos indicará el nivel de calidad en la descarga de las aguas residuales al sistema de alcantarillado.

**TABLA 3.4** Frecuencia de muestreo.

HORAS POR OPERA EL GENERADOR DESCARGA	DIA QUE PROCESO DE LA	NÚMERO DE MUESTRAS SIMPLES	INTERVALO MÁXIMO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS)	
			MÍNIMO	MÁXIMO
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

Fuente: CNA

### 3.8 MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS.

Finalmente para poder asegurar la confiabilidad de los resultados de las muestras, es necesario darles un manejo adecuado desde que se tiene la muestra en el recipiente, en el transporte y en la preservación hasta el momento de su análisis.

En el momento de los cierres de los recipientes, el tapón se debe de poner de tal forma que no queden burbujas de aire dentro, al principio los recipientes no deben agitarse ya que la muestra contiene sustancias volátiles y que por ningún motivo el agua se derrame o se salga totalmente durante el trayecto.

Para la toma de muestras bacteriológicas será necesario tomarlas en recipientes esterilizados (bolsas esterilizadas, tomando un tamaño mínimo de 100 ó 1000 ml. de la muestra y dejando 2.5 cm. libre para aireación.

Las muestras tomadas deben analizarse tan pronto como sea posible; recordando que mientras más contaminada este la fuente, el tiempo tiene que ser más corto para realizar los análisis, esto si se quiere disminuir los errores.

Si el tiempo de transporte del lugar de la toma de muestras al laboratorio es largo, las muestras deben almacenarse a baja temperatura (4°C) ya que esto retarda los cambios que sufren las composiciones de la muestra o tratarlos con algún otro conservador.

No hay método determinado de conservación de las muestras, pero hay parámetros que se recomiendan realizarlos in situ, los cuales son: pH, temperatura del agua y del aire, concentración de oxígeno disuelto, de nitratos y de iones amonio y el resto se pueden hacer llegando al laboratorio como son: DQO, DBO, concentración de coloides, contenido en materia decantable, contenido de grasas, determinación de bacterias, estudios biológicos y concentración de fosfatos y detergentes.

El manejo y la preservación de las muestras por lo regular son las mismas para todas las fuentes de abastecimiento.

**TABLA 3.5 Almacenamiento y preservación de las muestras**

Determinación	Contenedor	Volumen mínimo de muestra (ml)	Preservación	Almacenamiento máximo recomendado
Acidez	Vidrio, plástico	100	Refrigeración	24h - 14d
Alcalinidad	Vidrio, plástico	200	Refrigeración	24h - 14d
DBO	Vidrio, plástico	1,000	Refrigeración	6 - 48h
Boro	Plástico	100	No se requiere	28d - 6meses
Bromuro	Vidrio, plástico	-	No se requiere	28d
Carbono orgánico total	Vidrio	100	Analizar inmediatamente o refrigerar y adicionar HCl a pH < 2	7-28d
Cloro residual	Vidrio, plástico	100	Analizar inmediatamente	0.5 h
Dióxido de cloruro	Vidrio, plástico	500	Analizar inmediatamente	0.5 h
Clorofila	Vidrio, plástico	500	30 días en oscuridad	30d
Color	Vidrio, plástico	500	Refrigeración	48 h
Conductividad	Vidrio, plástico	500	Refrigeración	28d
Cianuros total	Vidrio, plástico	500	Adicionar NaOH a pH > 12, refrigerar en oscuridad	24h - 14d
Cianuros debido a cloración	Vidrio, plástico	500	Adicionar 100 mg Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /l	14d
Fluoruros	Plástico	300	No requiere	28d
Dureza	Vidrio, plástico	100	Adicionar HNO <sub>3</sub> a pH < 2	6 meses
Ioduro	Vidrio, plástico	500	Analizar inmediatamente	0.5 h
Metales	Vidrio, plástico	-	Para disolución, filtrar y adicionar	6 meses

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA  
 CAPITULO III

			HNO <sub>3</sub> a pH <2	
Cromo hexavalente	Vidrio, plástico	300	Refrigerar	24h
Mercurio	Vidrio, plástico	500	Adicionar HNO <sub>3</sub> a pH <2, refrigerar	28d
Amoniaco	Vidrio, plástico	500	Adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH <2	7-28d
Nitratos	Vidrio, plástico	100	Analizar tan pronto como sea posible	48h
Nitrato + nitrito	Vidrio, plástico	200	Adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH <2	48h
Nitrito	Vidrio, plástico	100	Analizar tan pronto como sea posible	49h
Nitrógeno orgánico Kjendal	Vidrio, plástico	500	Refrigerar, adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH <2	7-28d
Olor	Vidrio	500	Analizar tan pronto como sea posible	6h
Grasas y aceites	Vidrio	1,000	Adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH <2, refrigerar	28d
Pesticidas	Vidrio	-	Refrigerar, adicionar 1,000 mg de ácido ascórbico/l, si hay cloro residual presente	7d
Fenoles	Vidrio, plástico	500	Adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH <2, refrigerar	28d
Oxígeno disuelto	Vidrio (frasco de DBO)	300	Analizar inmediatamente	0.5
Ozono	Vidrio	1,000	Analizar inmediatamente	0.5
pH	Vidrio, plástico	-	Analizar inmediatamente	2h
Fosfatos	Vidrio	100	Para fosfatos disueltos, filtrar inmediatamente, refrigerar	48h
Salinidad	Vidrio	240	Analizar inmediatamente	6 meses
Silica	Vidrio, plástico	-	Refrigerar	28d
Sólidos	Vidrio, plástico	1,000	Refrigerar	2-7d
Sulfato	Vidrio, plástico	-	Refrigerar	28d
Sulfuro	Vidrio, plástico	100	Refrigerar, adicionar 4 gotas de sulfato de zinc 2N/100ml, adicionar NaOH a pH >9	7-28d
Gusto	Vidrio	500	Analizar tan pronto como sea posible, refrigerar	24h
Temperatura	Vidrio, plástico	-	Analizar inmediatamente	
Turbidez	Vidrio, plástico	-	Analizar el mismo día, guardar en refrigeración y en la oscuridad	24-48h

Fuente: CNA

**Ejemplo 3.1** Se trato de llevar este trabajo a la práctica, interviniendo como si se fuera parte de alguna empresa encargada de realizar el muestreo y así poder entregar resultados en cuanto a la características del agua residual de una industria papelera.

Este ejemplo se concibe exclusivamente con fines educativos, ya que hay que aclarar que no se cuenta con la infraestructura adecuada con el cual las empresas o laboratorios cuentan.

-Se realizo la caracterización a una industria papelera ubicada al Oriente del Valle de México:

Carretera México – Texcoco.

Colonia Los reyes.

Municipio de La Paz, Estado. De México.

-Estudios anteriores al muestreo: Alrededor de la industria existe un crecimiento industrial estable, hay poblaciones cercanas, pero no hay mucha influencia con la contaminación antropogénica, alrededor de la papelera pasa una corriente de un canal; las condiciones climáticas son estables y no se han hecho muestreos anteriores.

-La producción es de 500 toneladas mensuales.

-El Objetivo principal del muestreo es el cumplir con la norma NOM-001-SEMARNAT -1996

-Preparación anterior al muestreo: se dispusieron de frascos de 2.5 litros limpios y compatibles con el agua a muestrear y etiquetados y la información se anoto en las cadenas de custodia.

- Para poder realizar el Aforo y el muestreo hay que tomar en cuenta la NMX-AA-003-1980 que se refiere a "Aguas Residuales – Muestreo" la cual establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales, con el fin de determinar sus características físicas y químicas. El muestreo se tomo en descarga libre por lo cual solo se introdujo el muestreador y el aforo se realizo por el método de gasto o caudal directo.

-La descripción visual del agua: tiene un color grisáceo con un olor fuerte y desagradable.

-Debido a que necesitamos los resultados más representativos posibles, es necesario transportar los contenedores de las muestras en refrigeración.

- La toma de muestras puede ser con un recipiente de plástico o de vidrio; se toma un mínimo de 1 lt. Para la preservación de la muestra de DBO fue necesario refrigerarla a 4°C y para su determinación se utilizó el método respirométrico, el cual reside en aportar oxígeno suficiente a la muestra para que se lleve a cabo la biodegradación; el oxígeno se suministra por medio de la electrolisis o por una bomba dosificadora a partir de un depósito de oxígeno puro a presión atmosférica.
- Para la toma de muestras se necesitan frascos de 1lt. de vidrio o plástico y se preserva a una temperatura de 4°C. Los Sólidos suspendidos totales se determinan por medio de análisis gravimétricos que consiste en poner un volumen conocido de la muestra en un vidrio de reloj previamente pesado, se introduce en la estufa a 103°C y se pesa nuevamente. El aumento de peso se debe a los sólidos totales.
- En la toma de muestras para las grasas y aceites es necesario realizarlos con un recipiente de vidrio con un mínimo de 1lt. Además es necesario tenerlos en recipientes desengrasados y no llenándolos totalmente, para su preservación es necesario agregarle unos mililitros de ácido sulfhídrico con un pH menor a 2 y se puede determinar por medio de la extracción líquido – líquido.
- Para el muestreo se necesitan recipientes ya sean de vidrio o de plástico. La determinación del pH es necesario realizarlo en el sitio de preferencia con el método electrométrico que consiste en un electrodo de vidrio y otro electrodo de referencia sumergidos en una misma solución. Los valores correspondientes en milivoltios leídos en el aparato permiten determinar el pH.
- Para tomar la muestra se necesita un recipiente de vidrio o de plástico y la determinación tiene que ser en el sitio; para poder hacer la determinación de este parámetro se utiliza un termómetro con precisión de décima de grado introducido en una funda terminada en un pequeño depósito a fin de evitar que la temperatura varíe entre el instante en que el instrumento se retira del agua y el momento de la lectura.
- Para el muestreo del nitrógeno se necesitan recipientes de vidrio o de plástico con un volumen mínimo de 500 ml., para su preservación se necesita refrigerar y adicionar ácido sulfúrico con un pH menor a 2. Para su determinación se utiliza el método Kjendal, que permite la transformación en amoníaco de los compuestos de origen biológico.
- Se necesitan de recipientes de vidrio con un volumen mínimo de 100 ml. además necesita refrigeración, para su determinación a partir de la muestra total y de la fase soluble después de la separación del fósforo insoluble por filtración inmediata.
- Para la toma de muestras de los metales se necesitan vidrios ya sean de plástico o de vidrio y su preservación se necesita filtrar y adicionar ácido nítrico a un pH menor a 2.
- Para la toma de muestras bacteriológicas será necesario tomarlas en recipientes esterilizados (bolsas esterilizadas, tomando un tamaño mínimo de 100 ó 1000 ml. de la muestra y dejando 2.5 cm. libre para aireación.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA  
EJEMPLO

**ENTREGA DE RESULTADOS**

Servicio	3er. Trimestre del 2004
No. total de muestras	2
Frecuencia del servicio	Trimestral
Punto de muestreo	Descarga final
Fecha de elaboracion	10 de enero del 2005

Clave de Muestra	2074	2075	-----	-----	-----
Parámetros analizados	29-30 dic-04	03-04 dic-04	Promedio	Norma (1)	Unidad
DBO <sub>5</sub>	126.5	132.00	129.25	75.0	mg/l
Sól.Suspendidos Totales	118.2	68.0	93.1	75.0	mg/l
GRASAS Y ACEITES	13.9	12.4	13.2	15.0	mg/l
sólidos sedimentables	<0.2	<0.2	<0.2	1.0	mg/l
pH	6.78	6.72	6.75	5-10	unidades
TEMPERATURA	28.7	32.1	30.4	40.0	°C
NITROGENO TOTAL	9.17	12.14	10.65	40.0	mg/l
FÓFORO TOTAL	0.2101	<0.0938	0.1051	20.0	mg/l
ARSÉNICO	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.1	mg/l
CADMIO	<0.023	<0.023	<0.023	0.1	mg/l
CIANURO	0.0	0.0	0.0	1.0	mg/l
COBRE	0.041	<0.016	0.021	4.0	mg/l
CROMO	<0.174	<0.174	<0.174	0.5	mg/l
MERCURIO	<0.003	<0.003	<0.003	0.005	mg/l
NÍQUEL	<0.164	<0.164	<0.164	2.0	mg/l
PLOMO	<0.162	<0.162	<0.162	0.2	mg/l
ZINC	0.098	<0.037	<0.049	10.0	mg/l
HUEVOS DE HELMINTO	0	0	0 <sub>1</sub>	N-N	Huevos/l
COLIFORMES FECALES	<3	<0.3	<3	1000	NMP/100ml
MATERIA FLOTANTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	A/P
GASTO	0.98	0.53	0.76	-----	L/s

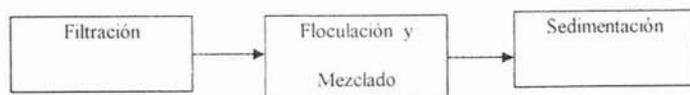
N.N = No Normado

A/P = Ausente / Presente.

(1)Establecido en la NOM-001-SEMARNAT-96

Este reporte solo representa los resultados de la muestra analizada.

Debido a los resultados obtenidos, el tratamiento que se propone para esta descarga de agua residual es:



## CARACTERÍSTICAS DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO

### 4.1 CARACTERÍSTICAS DE AGUAS CONVENCIONALES.

Debido a los estudios efectuados se puede dar una caracterización general de las diferentes fuentes de abastecimiento superficiales. Las aguas superficiales regularmente son menos duras aunque dependen del sitio geológico donde se encuentren ya que en los sitios de captación formados por calizas y cretas ocasionan aguas claras y duras, mientras que las aguas de los sitios conformadas por rocas impermeables como el granito originan aguas turbias y blandas, además las aguas superficiales contienen mucho más concentración de oxígeno que ayuda a la eliminación de hierro y magnesio y no contienen ácido sulfhídrico. En contrapartida son fácilmente contaminables, tienen alta actividad biológica, color, turbiedad, sólidos en suspensión, materia orgánica y material flotante. Aun así las aguas superficiales tienen características independientes de las cuales se hablará más adelante.

#### 4.1.1 Características de ríos y arroyos.

Los ríos son sistemas más complejos a comparación de las lagos y embalses ya que estos son sistemas dinámicos y poseen características que suelen variar, aunque no considerablemente en su calidad debido a las diferenciaciones de flujo producto de la precipitación pluvial; además de los posibles contaminantes que pueden ser arrastrados en el trayecto y pueden llegar hasta la planta de tratamiento.

El incremento en la concentración total de sólidos suspendidos en los ríos esta en función del flujo. Las partículas son derivadas por la erosión de las orillas de esté y por la resuspensión de las partículas depositadas en el fondo del río. La proporción de la erosión esta asociada con el clima, particularmente en el aumento de la intensidad del agua y puede ser modificada por la vegetación.

Las características químicas en los ríos dependen de factores como: la proporción de salidas superficiales y aguas subterráneas, las reacciones dentro del río, la mezcla de agua de afluentes de diferentes calidades y la entrada de contaminantes.

Los ríos suelen llevar diferentes elementos y la concentración suele ser altamente variable de un lugar a otro ya que puede llevar partículas del desgaste de rocas dependiendo de la consolidación de la cuenca como: granito, arsénica, rocas carbonatadas y basálticas, debido a su gran solubilidad de estos suelos pueden derivarse reacciones y crear mayores cationes (Ca, Mg, Na, K, sílica disuelta  $\text{SiO}_2$  y bicarbonatos  $\text{HCO}_3^-$ ). Además llevan cantidades atmosféricas que caen sobre la superficie del agua algunos de estos productos son: la erosión de la tierra que es transportada por el aire (rico en Ca,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ ), cantidad de aerosoles reciclados, descomposición vegetal y ceniza volcánica (rica en HCl y  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

En cuanto a las características biológicas el río puede consistir en diferentes hábitats. La estructura física de los ecosistemas se divide en tres capas: el cuerpo de agua o la cama de la corriente (zona acuática), la zona de intercambio de agua y la influenciada por el ambiente (zona terrestre). Para los propósitos de valoración de la calidad de agua la zona más importante es la zona acuática. La proporción de flujo, la erosión, la naturaleza de los suelos, la luz, temperatura y el oxígeno son parámetros muy importante para determinar la naturaleza biológica.

Los ríos mantienen una constante claridad, constante flujo y desde luego una temperatura constante durante todo el año excepto después de períodos de prolongadas lluvias. Los ríos con aguas duras originarios de una salida de aguas subterráneas tienen un pH neutro a alcalino, en comparación con las aguas blandas que contiene un pH neutro a ácido; estos ríos generalmente se originan en las escorrentías de las montañas y sufren grandes fluctuaciones en su caudal ya que están ligados a las lluvias. Químicamente estos ríos son turbios debido a los sedimentos arrastrados al río por los mismos escurrimientos y contienen altas concentraciones de humus, dándole un color marrón amarillento claro.

#### **4.1.2 Características de los lagos.**

Los lagos es otra fuente de abastecimiento que contienen agua de buena calidad, es decir, no necesitan de un tratamiento complejo; desgraciadamente la mayoría de las descargas de las aguas negras urbanas son vertidas a estas mismas fuentes y esto deteriora la calidad del agua por lo tanto muchas veces requiere de un tratamientos más completos.

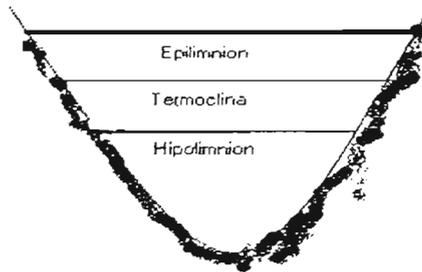
Los lagos al contrario de los ríos y arroyos no sufren tantos cambios o tan drásticos en su composición ya que tienen poco movimiento.

Los lagos profundos sufren un fenómeno llamado estratificación térmica el cual deteriora la calidad del agua; este fenómeno se produce en las temporadas de calor, ya que el calentamiento superficial provoca una diferencia de densidades, es decir, el sol calienta la superficie del agua reduciendo su densidad de tal forma que el agua fría permanece en las partes más profundas del lago, de este modo se separan las aguas frías de las aguas calientes formándose dos capas, la parte más caliente nombrada epilimnión y la parte más fría conocida como hipolimnión a estas dos capas las separa una tercera llamada termoclina y esta tiene una temperatura uniforme (ver Figura 4.1). Durante la estratificación cada capa tiene su propia calidad de agua y esto puede suponer serios problemas operacionales a las compañías de suministros de aguas.

La temperatura en el Epilimnión que es la parte más caliente del lago y los nutrientes que contiene el mismo, es favorable para el crecimiento excesivo de algas y a esto se le denomina eutrofización que es crecimiento excesivo de algas; también se le conoce como el envejecimiento natural de los lagos. Las algas pueden estar mezcladas por toda la capa del Epilimnión y el exceso de éstas

desoxigenan rápidamente la capa de la hipolimnión y las algas muertas y los materiales orgánicos se degradan y sedimentan en esta parte del lago. El lago gradualmente se va rellenando de algas y sedimentos en el fondo y se va haciendo más pequeño por la invasión de la vegetación en las orillas pudiendo llegar a ser tierra firme hasta que muchas veces logran secar el lago. Además las algas hacen que el agua tome un color fuerte y pueden producir un mal sabor en el agua incluso después del tratamiento.

Otra cosa que ocurre con el fenómeno de la eutrofización es que las algas como todas las plantas liberan oxígeno durante el día por la fotosíntesis y lógicamente por la noche elimina el oxígeno mediante la respiración y esto hace que haya una reducción de oxígeno el cual hará que los peces mueran generando contaminación biológica y grandes problemas a las plantas de tratamiento.



**FIGURA 4.1** Estratificación térmica en lagos y embalses.

Por otra parte la fuente de contaminantes tóxicos en los lagos es usualmente material derivado de las actividades humanas ya que puede incrementar la proporción de elementos naturales situados en el lago o cambiar su forma química hasta alcanzar niveles altos en su concentración y ser dañinos para el ecosistema acuático y el humano.

Las principales fuentes de contaminación de los lagos son: las descargas municipales e industriales, el escurrimiento de agua de la agricultura ya que está puede llevar contaminantes como pesticidas y plaguicidas, la acumulación de los contaminantes de todos los efluentes o ríos que conforman el lago, contaminación por la difusión directa del suelo o del agua subterránea y la precipitación directa hacia el lago con condiciones atmosféricas contaminadas (lluvia ácida).

En muchas áreas naturales conformadas por rocas también puede haber altos niveles de metales tóxicos, pero raramente causa problemas graves para la salud.

#### **4.1.3 Características de las Presas.**

Las características físicas, químicas y biológicas del agua que contienen las presas pueden ser alteradas significativamente por el modo de operación, la localización y

la forma de la presa. La estructura térmica de las presas podría decirse que es la misma que la de los lagos.

Un problema particular asociado con la estratificación es que se forman dos capas una llamada epilimnetica (por lo regular es agua caliente, contiene oxígeno y así mismo una alta población de algas) y la otra capa llamada hypolimnetica (agua fría, sin oxígeno y concentraciones de Fe, Mn, H<sub>2</sub>S) y dividida por la termoclina; Estas pueden crear particularmente problemas en la calidad del agua.

Generalmente las características químicas y biológicas de las presas son las mismas a las de los lagos.

Algunos contaminantes de particular interés que se encuentran en las presas son: los componentes orgánicos sintéticos, nitratos, bacterias patógenas, virus y algunos componentes tóxicos.

#### **4.1.4 Características de las aguas subterráneas.**

La composición de estos mantos acuíferos varía ligeramente. Una característica de estos mantos acuíferos es que generalmente contienen aguas excesivamente duras, lo cual es originado porque en el momento de la infiltración hay un lavado de los compuestos minerales que constituyen las diferentes capas del suelo y son transportados hasta la formación del cuerpo de agua.

La calidad de estas aguas suele ser mejor que las de las aguas superficiales ya que contiene normalmente menor cantidad de bacterias y otros patógenos, menor cantidad orgánica y casi siempre son libres de sólidos en suspensión ya que son eliminados al ocurrir la infiltración y esto suele ser una ventaja ya que requiere de un menor tratamiento, aunque muchas veces depende de la profundidad del acuífero ya que mientras más profundo sea esté más contaminantes eliminará. Pero esto no indica que pueda ser afectada por la contaminación misma del suelo debido a la misma consolidación rocosa además el tipo de suelo no puede tener la eficacia para poder eliminar la mayoría de las impurezas y posiblemente que halla una percolación de una corriente cercana; los acuíferos libres regularmente son los que sufren más de la contaminación por estos factores.

#### **4.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS NO CONVENCIONALES.**

El agua residual puede clasificarse en fresca, séptica o estabilizada; se considera fresca (recién contaminada) cuando aún contiene oxígeno disuelto, de olor mohoso y con muchos sólidos suspendidos. Es séptica cuando no contiene oxígeno disuelto, hay producción de H<sub>2</sub>S, es de olor fétido, color negro y aún contiene muchos sólidos suspendidos. El agua es estabilizada cuando nuevamente se encuentra oxígeno disuelto, casi no contiene material orgánico tiene olor ligero o nulo y es traslúcida.

#### 4.2.1 Características del Agua Residual Domestica

Por lo regular las aguas residuales domesticas se componen fundamentalmente, en su carga contaminante, de materia orgánica en forma soluble o coloidal y de sólidos en suspensión con una concentración considerablemente variable. A esta carga de aguas se asocian concentraciones de aceites y grasas. Esta agua aparece como un líquido turbio generalmente grisáceo.

#### 4.2.2 Características del Agua Residual Industrial

Debido a que existen infinidad de giros industriales es casi imposible hacer una clasificación general a todos ellos, de este modo es necesario realizar un estudio más detallado a cada una de la industria interesada ya que el tipo de agua residual tiene una composición más específica; además depende de la hora del día o de la estación del año en que se descarguen esas aguas. Debido a esto y de forma teórica, se ha realizado una clasificación en función a los constituyentes de la descarga, de tal forma que se han clasificado en cinco grupos:

-Aguas residuales con constituyentes minerales: esta agua están conformadas principalmente por metales compuestos halogenados, complejos metálicos y otra gran infinidad de sustancias inorgánicas altamente tóxicas. Las principales industrias, las cuales conforman estos vertidos son: las industrias siderúrgicas, mineras, metalúrgicas, petroquímicas y galvanoplásticas.

-Aguas residuales con contenido orgánico: esta agua tiene altos contenidos de celulosa, taninos, compuestos azufrados, y clorados y que son difíciles de biodegradar. Entre las industrias que producen este tipo de aguas se encuentran las industrias farmacéuticas y las alimenticias.

-Aguas residuales con constituyentes minerales y orgánicos: esta agua tiene un composición de las dos anteriores las cuales son altamente peligrosas. Las principales industrias causantes de estos vertidos son: las industrias de celulosa y papel, las textileras, la industria de la piel y destilerías de madera

-Aguas residuales con contenido radiactivo: Las industrias con esta especialidad son fácilmente detectables y debido a su contenido altamente peligroso para los seres humanos y otros tipos de vida; por lo tanto es necesario darles un tratamiento cuidadoso. Las industrias que integran estos vertidos se encuentran: los laboratorios de investigación, determinadas técnicas medicas y donde hay reactores nucleares.

-Aguas residuales que producen contaminación térmica: este tipo de aguas son realmente peligrosas para la fauna y la flora del cuerpo receptor ya que altera las condiciones del ecosistema acuático. Entre las principales industrias que realizan estos vertidos se encuentran las termoeléctricas, las industrias con emisión de vapor o de líquidos enfriados.

#### 4.2.3 Características del Agua de Lluvia.

Antiguamente se creía que el agua de lluvia era limpia, pero la contaminación del aire, el arrastre de la basura por la misma lluvia, polvo y material depositado en el

suelo, y banquetas, así como los agroquímicos y la propia tierra de los cultivos han hecho que su calidad se deteriore, aunado a esto el lavado atmosférico durante el periodo de lluvias en las ciudades acarrea contaminantes como : ceniza volcánica, monóxido de carbono, óxidos de azufre y nitrógeno, hidrocarburos y metales pesados como: plomo, cadmio y zinc.

#### **4.2.4 Características del Agua Agrícola.**

Las aguas agrícolas son las que mayor volumen tienen en las descargas. Es difícil caracterizar enumerando los compuestos que las aguas de este tipo contienen, pero si se puede especificar algunos y darnos cuenta de todo lo que pueden llegar a contener; primeramente la aplicación de agroquímicos no recomendados en el mercado en México hay registrados cantidades grandes y diferentes de sustancias activas entre: Fertilizantes, herbicidas, insecticidas, acaricidas y plaguicidas; y aunado a esto se encuentra el grave problema de la erosión, regiones con explotación minera, rellenos sanitarios y tiraderos industriales, por supuesto, todo esto dificulta el control de las aguas.

## TRATAMIENTOS DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO

### 5.1 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS.

En este capítulo se trata de dar una información acerca de los tratamientos que se les debe realizar a las fuentes de abastecimiento dependiendo del uso que se les de en un futuro y por supuesto sin olvidar las características particulares de cada una de las diferentes fuentes o industrias; no se trata de que esta información sea un patrón el cual deba de seguirse debido a que la información contenida simplemente no es un estudio profundo y detallado y se sugiere consultar literatura especializada, lo que si se espera de que sea un apoyo para elegir el uso más adecuado y posiblemente más económico.

Con los tratamientos de aguas se pretende disminuir, controlar o eliminar aquellos elementos que alteran las condiciones naturales del agua. Estos tratamientos intentarán devolver las aguas potables o reusables, evitando así el desperdicio y aprender a darles un mayor aprovechamiento.

Un tratamiento se comprende de procesos unitarios físicos, estas operaciones se basan básicamente en utilizar fuerzas físicas; los químicos, estos procesos dependen de las propiedades químicas debido a la agregación de agentes químicos o por reacciones químicas llevadas a cabo; y los procesos biológicos que se basan en las reacciones bioquímicas para eliminar materia orgánica biodegradable suspendida o soluble.

Los primeros métodos que se utilizan, son conocidos como pretratamiento y tratamientos primarios, el método siguiente es el tratamiento secundario, el tratamiento posterior es el tratamiento terciario y el último es conocido como tratamiento complementario, cabe mencionar que en los cuatro tratamientos regularmente se encuentran conjuntamente procesos tanto físicos, como químicos y biológicos.

En cada tipo de fuente a tratar, muchas veces no será necesario requerir de los cuatro tipos de tratamientos mencionados; si no que están en función de la calidad que se requiera por parte del usuario y por supuesto tomando en cuenta el factor económico.

#### 5.1.1 Pretratamiento de las fuentes de abastecimiento.

El pretratamiento principalmente sirve para eliminar sólidos grandes, gruesos o flotantes como: residuos fecales, trozos de caucho, plástico, residuos de alimentos, madera, llantas, telas, papel, basura, plantas, algas, etc. así mismo sólidos inorgánicos como: arena, grava y algunos metales. Regularmente se hace para cuidar los equipos de los tratamientos subsecuentes ya que puede dañar el funcionamiento debido a él tamaño.

En muchas ocasiones el pretratamiento se toma en cuenta como si fuera parte del tratamiento primario; este tratamiento preliminar no es un tratamiento purificador, si no el inicio o la preparación de los tratamientos posteriores.

Los procesos unitarios que forman parte del pretratamiento se encuentra:

- **Cribado:** el cribado es un proceso que esta conformado por rejillas, mallas que sirven para retener sólidos voluminosos que flotan o están suspendidos en la fuente, estas rejillas pueden ser de arreglos horizontales, verticales son regularmente de acero inoxidable y sus aberturas que van desde los 1,5 cm. hasta los 15 cm.

**TABLA 5.1** Tamaño de rejas

TIPOS DE REJAS	ABERTURA (cm.)
Rejas gruesas	5 - 15
Rejas medianas	2 - 5
Rejas finas (rejillas)	1 - 2

Fuente: CNA

Son limpiados periódicamente ya sea manual o automáticamente y los sólidos que se retiran son enterrados, incinerados. Dependiendo del método de limpieza manual o automático será el ángulo de inclinación de las rejillas.

El proceso de cribado suele tener dos desventajas ya que suele tener un taponamiento constante y puede ser causa de corrosión dependiendo del material de las rejillas, por tal motivo se debe tener un buen control sobre la frecuencia de limpieza y esto depende del tipo de fuente

En cuanto al dimensionamiento de las rejillas se suele tomar en cuenta variables como: la velocidad del agua en la fuente y sobre las rejillas, la pérdida de carga a través de una reja, el gasto y el área entre rejillas.

Hay otro proceso con el mismo principio que el cribado y este es el tamizado y depende del tipo de fuente y los tamaños de los sólidos ya que si el caudal es muy fuerte y el tamaño de los sólidos flotantes es grande corre el riesgo de romper las rejillas del tamiz.

- **Desmenzadores:** estos dispositivos sirven para reducir el tamaño de los sólidos grandes de manera que puedan continuar con el flujo de las aguas sin obstruir los dispositivos de los tratamientos posteriores con la certeza de que las concentraciones no varíen al desalojar los sólidos suspendidos como en el caso del cribado, pero cargando un trabajo en los procesos de tratamiento posteriores. En estas operaciones se encuentran dispositivos como: cilindro de cuchillas tambor de rendijas y bomba desmenzadora.
- **Desarenación:** Las aguas contienen material como cenizas, arena, grava y arcillas las cuales si no son retiradas pueden dañar el equipo de tratamiento posterior, ya sea por abrasión o por obstrucción. Los desarenadores consisten en aumentar la sección, es decir, un canal que reduce la velocidad del agua, de tal forma que la velocidad de flujo baja lo suficiente para que las arenas se depositen en el fondo. Cabe destacar que esta

separación podría hacerse en un tanque sedimentador pero la mezcla de arenas depositadas en el fondo y los lodos complicarían los procesos siguientes para el tratamiento de los lodos; además es necesario hacer el cálculo correcto para bajar la velocidad por debajo de la precipitación de la arena pero por encima de la sedimentación de la materia orgánica.

Los canales se instalan antes de los desmenuzadores; regularmente los tipos de desarenadores son: desarenadores de flujo horizontal y desarenadores de tanques aireados: estos desarenadores consisten en inducir aire con flujo en espiral, donde la velocidad es manejada por las dimensiones y la cantidad de aire suministrado al tanque, la inyección de aire impide la sedimentación de la materia orgánica, además transforma las grasas y aceites en espumas y facilita la remoción posterior de las mismas, realiza la separación de las materias orgánicas adheridas a las arenas y proporciona una cantidad de oxígeno a la masa de agua el cual mantiene las condiciones aerobias. El recogido de arena se realiza por medio de una inclinación en el fondo del desarenador, el cual el mismo peso hace que corra hacia la salida y puedan ser recogidos o bien por unas bombas aspirantes.

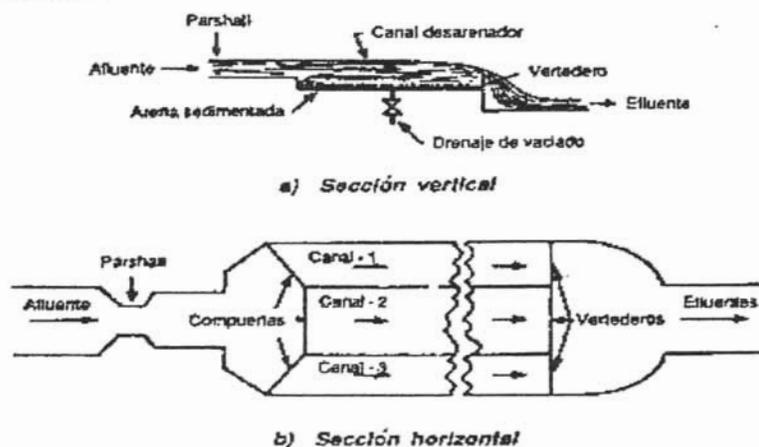


FIGURA 5.1 Desarenador de flujo horizontal

- Cámara separadora de grasas: son tanques los cuales eliminan las grasas y los aceites, como sabemos las grasas y los aceites tienden a flotar y esto hace que permanezcan en la superficie, mientras que el líquido saldrá por una perforación que contiene en la profundidad de la cámara de desengrasado.

### 5.1.2 Tratamiento Primario.

El funcionamiento general de los dispositivos del tratamiento primario consiste en disminuir la velocidad del agua de tal manera que se depositen en el fondo los sólidos; de esta manera este tratamiento regularmente quita el 60% de los sólidos en suspensión y el 35% de materia orgánica. Dentro de las operaciones unitarias se encuentran:

- **Flotación:** Este método consiste en separar los sólidos de menor densidad que la del líquido, es decir, por diferencia de densidades de tal forma que al inyectar aire a presión a las aguas la ascensión de burbujas de aire a la superficie adhiera los sólidos a las burbujas y los traiga consigo a la superficie el cual hace más fácil retirarlas por medio de un desnatado además la misma agitación de las aguas por el aire tiende a aglomerar o flocular los sólidos suspendidos más ligeros, formándose masas más pesadas que se depositan rápidamente en el fondo; y así mismo restaura las condiciones aerobias favoreciendo los tratamientos posteriores.

Este proceso generalmente remueve más sólidos que el proceso de sedimentación y es aún más empleado cuando la velocidad de sedimentación de los sólidos suspendidos son realmente bajas.

- **Sedimentación:** La sedimentación es un proceso sólido-líquido, el cual separa el agua en dos fases, una donde los sólidos más densos se depositan en el fondo por gravedad y otra con sólidos coloidales en suspensión. Al parecer es el proceso unitario más utilizado en un tratamiento de aguas. Regularmente se manejan cuatro tipos de sedimentación:

-La sedimentación simple es cuando las partículas llamadas discretas denominadas así por que en el transcurso de su sedimentación no cambian en el tamaño, su forma y su masa y regularmente esta sedimentación se lleva a cabo en un tanque denominado de sedimentación primaria.

-La sedimentación de partículas floculentas estas son aquellas que en el transcurso de su sedimentación se aglomeran y no tienen características constantes de tal manera que aumenta su velocidad durante la sedimentación, generalmente este proceso se realiza en tanque secundarios, estos tanques podemos caracterizarlos porque generalmente se colocan después de algún proceso secundario.

-La sedimentación por zona esta se da cuando la concentración de sólidos es relativamente elevada, las partículas están lo suficientemente cerca para que la atracción entre ellas las mantenga fijas en relación de unas con otras de tal manera que sedimenten como una unidad.

-La sedimentación por compresión esta se presenta cuando las partículas se encuentran en contacto físico unas con otras en altas concentraciones, estos dos últimos tipos de sedimentación puede llevarse a cabo en cualquier tipo de tanques mencionados anteriormente.

Los sólidos que permanecen en el fondo son limpiados continuamente para no dar tiempo a que se desarrolle la descomposición con formaciones de gases.

Existen diferentes tipos de sedimentadores basados normalmente en la dirección de flujo los cuales son: El tanque horizontal el cual el agua fluye en dirección a la longitud del tanque; en el tanque circular el agua fluye radialmente desde el centro al perímetro externo y esto se conoce como flujo radial y hay otros tanques en el cual tienen dosificación perimetral y a este se le llama flujo espiral.

- **Filtración:** Podemos referir esta operación al que ocurre de forma natural entre el agua que escurre en la superficie terrestre hacia el interior de los suelos de consolidación porosa, el agua logra pasar o infiltrarse entre los poros hacia una zona impermeable el cual el agua no logra infiltrarse más, y cabe indicar que el agua infiltrada es de muy buena calidad debido a los poros que no dejan pasar ciertos contaminantes, de hecho este es el principio de la filtración ya que permite la separación de los sólidos suspendidos y coloidales de la fase líquida que por diferentes motivos no se han quedado en el proceso de sedimentación y coagulación; la filtración es el paso del agua a través de un material granular o poroso con o sin adición de químicos que evita el paso de sólidos suspendidos. Debe tomarse en cuenta que la eficiencia de esta operación, esta en función del filtro y de la concentración de sólidos suspendidos, ya que pueden rellenar los poros y esto hace que el filtro tenga que ser lavado; generalmente los medios filtrantes suelen ser arena, arena más antracita o bien carbón activo en forma de grano.

El termino de la filtraciones es cuando los sólidos en suspensión ha rebasado el limite de perdida de carga, aquí comienza la etapa de limpieza con el retrolavado y este es a una velocidad diez veces mayor a la velocidad normal de filtrado. En cuanto a la dirección de flujo, los filtros pueden ser de flujo hacia abajo, hacia arriba y de flujo dual.

Hay dos tipos de filtros, los filtros de arena lentos estos filtros tienen varias desventajas ya que son grandes y su limpieza es costosa, no son adecuados para usarse después de la coagulación en la cual esta tapa regularmente los poros, aun así son muy utilizados debido a la baja carga hidráulica; y los filtros rápidos.

En cuanto a la fuerza motriz de los filtros suelen ser de gravedad y a presión.

### 5.1.3 Tratamiento Secundario.

Ya que está eliminado un alto porcentaje de sólidos suspendidos y algún porcentaje de Demanda Bioquímica de Oxígeno; el tratamiento secundario es un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que reducirá la cantidad de materia orgánica contenida en el agua.

Los procesos químicos utilizados se basan en la adición de reactivos químicos o bien mediante las propiedades químicas de diversos compuestos. Este tratamiento estriba especialmente de los organismos aerobios, es decir, los microorganismos actúan en presencia de oxígeno disuelto además se emplea el uso de un tanque de sedimentación secundaria. Este tratamiento supone emplear y acelerar los procesos naturales de eliminación de los residuos cambiando la materia orgánica en sólidos inorgánicos o en sólidos orgánicos más estables.

Entre el tratamiento primario y el secundario remueven cerca del 90% de los sólidos en suspensión y cerca del 90% de la materia orgánica. Los procesos unitarios que se encuentran dentro del tratamiento secundario son:

- **Coagulación - Floculación:** El método de coagulación sirve para desestabilizar las partículas coloidales; este tipo de impurezas coloidales se eliminan coagulándolas primeramente y luego sometiéndolas a filtración o sedimentación una vez más. La coagulación depende de diversos factores como; el tipo de coagulante ya que la elección del coagulante dependerá de la eficiencia de remoción y el costo del tratamiento; la cantidad del coagulante ya que es muy variable y depende del tiempo de mezclado para su determinación se necesita hacer la prueba de jarras; el tiempo de coagulación este tiempo generalmente su rango es de 30 a 90 minutos; la temperatura ya que mayor sea esta la velocidad de floculación será más rápida, de la agitación y el pH. Los coagulantes generalmente utilizados son el: sulfato de alúmina, sulfato ferroso, sulfato Ferrico cloruro Ferrico, aluminato Ferrico, cloruro de aluminio, hidróxido aluminico y a veces el hidróxido Ferrico. El agua contiene un constituyente capaz de flocular mediante una simple agitación del agua ya que la agitación aumenta la posibilidad de contacto entre partículas, pero el método de floculación consiste en agregar químicos para formar flóculos, que es un compuesto químico que absorbe la materia coloidal, envolviendo a los sólidos suspendidos no sedimentables para que se depositen rápidamente y muchas veces se. Los reactivos más utilizados son el sulfato de aluminio o alumbre, el sulfato ferroso con cal, el sulfato férrico y el cloruro Férrico. Estos son tratamientos químicos que suelen considerarse como tratamiento intermedio, porque los resultados que se obtienen son mejores que los tratamientos primarios pero no como los tratamientos secundarios, además sirve para poder complementar la sedimentación.
- **Filtro por goteo con sedimentador secundario:** En este procedimiento una corriente de agua sedimentada se distribuye alternamente sobre un lecho o columna de algún medio poroso revestido con una película gelatinosa de microorganismos que actúan como agentes destructores de la materia orgánica, subsecuentemente se hace pasar a otro tanque sedimentador; muchas veces este método se conoce como lecho de oxidación biológica.
- **Intercambio iónico:** Para apartar el exceso de iones inorgánicos positivos y negativos se utiliza este método Es un proceso donde los iones que

mantiene a los grupos funcionales sobre la superficie de un sólido por fuerzas electrostáticas se intercambian por iones de diferentes especies en solución. En un principio se utilizaban zeolitas naturales como las resinas de intercambio disponibles, en la actualidad se utilizan resinas sintéticas.

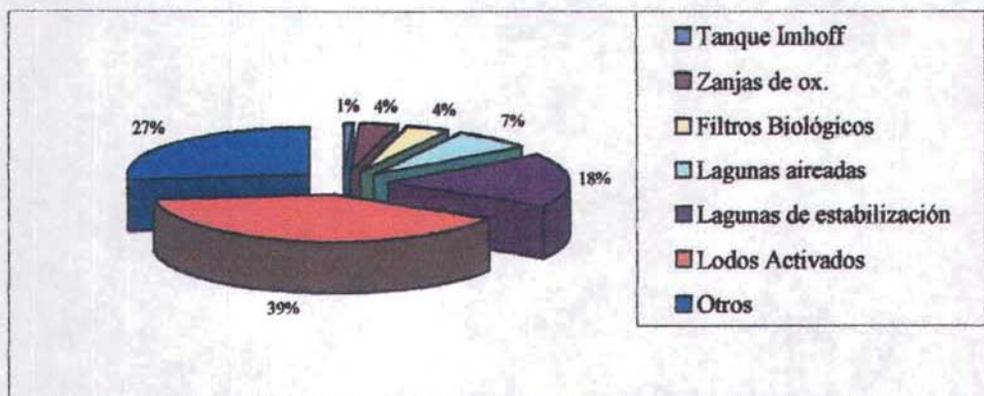
Las operaciones de intercambio iónico pueden ser del tipo continuo o discontinuo. En un proceso discontinuo, la resina se agita con el agua que se ha de tratar en un reactor hasta completar la reacción. La resina agotada es extraída por sedimentación y enseguida se regenera y reutiliza. En un proceso continuo, el material de intercambio se coloca en un lecho o torre y se hace pasar por ella el agua a tratar.

Un problema grave que se presenta con la aplicación del intercambio iónico al tratamiento de aguas residuales es el aglutinamiento de la resina causado por la materia orgánica residual presente en el efluente procedente de un tratamiento biológico. Este problema puede resolverse parcialmente filtrando previamente el agua residual o utilizando resinas intercambiadoras eliminadoras antes de su aplicación a la torre de intercambio.

Para que el intercambio iónico resulte económico en el tratamiento avanzado de las aguas residuales, conviene utilizar productos regeneradores y restauradores que eliminen tanto los aniones inorgánicos como el material orgánico de la resina agotada. Los restauradores físicos y químicos cuya aplicación en la separación de materias orgánicas de la resina se han realizado con éxito son el hidróxido de sodio, el ácido clorhídrico, el metanol y la bentonita.

- Suavización: La suavización del agua por medio de cal sodada es el método químico más importante para retirar la dureza; Ya que la dureza permanente que es debida a sulfatos de calcio y de magnesio solubles no puede eliminarse por ebullición de agua y es necesario que las sales solubles se transformen químicamente en compuestos insolubles, que son parte de precipitados y en parte filtrados. Generalmente es necesario agregar los reactivos, uno para eliminar la dureza temporal provocada por el carbonato ácido de calcio y a las sales de magnesio; y el otro reactivo, para eliminar la dureza permanente.
- Aireación: Es el proceso en el cual el gas es transferido de una fase a otra regularmente de la fase gaseosa a la líquida bajo presiones normales. Regularmente estos aireados sirven para mantener las condiciones aerobias en el agua, la adición de oxígeno por este proceso para la remoción de hierro, manganeso, bióxido de carbono, ácido sulfhídrico y sustancias volátiles olorosas, además para la recarbonatación de aguas suavizadas por cal. Como podemos ver tiene muchas ventajas el proceso de transferencia de gas.

- **Lodos activados:** Las aguas que proviene del tratamiento primario son llevadas a un tanque de aireación en donde se hace burbujear aire y otras veces oxígeno desde el fondo del tanque, el cual beneficia el rápido crecimiento de las bacterias y microorganismos, éstos utilizan el oxígeno para descomponer los desechos orgánicos. Los sólidos en suspensión forman una especie de lodo conocido como lodo activado el cual se deja sedimentar y luego es llevado a un tanque digestor aeróbico para que sea degradado. Los lodos activados son utilizados como fertilizante en los campos de cultivo, incinerado, llevado a un relleno sanitario o vertido al mar.
- **Estanque de estabilización o Laguna de oxidación:** Este es otra forma de tratamiento biológico, está técnica radica en un espacio considerable de terreno, por tal motivo suelen construirse en lugares rurales, tienen una profundidad de 60 cm. a 1,20 mts. con una extensión superior a una hectárea. El proceso consiste en que la descomposición de la materia orgánica que se encuentra en la superficie es descompuesta en condiciones aerobias con formación de bióxido de carbono, el cual es requerido por las algas en su fotosíntesis. En este proceso, el oxígeno del bióxido de carbono es liberado y de esta manera se disuelve en el agua en el que crecen las algas. Como consecuencia de esto la materia orgánica es transformada en algas y estas algas reciben el oxígeno para mantener la descomposición aerobia. De este modo el agua contaminada entra en estado putrescible y sale en forma de algas muy estables, las cuales dentro de los límites pueden descargarse a las aguas receptoras sin necesidad de afectar.



Fuente: CNA (2003)

**Figura 5.2** Principales procesos de tratamiento de aguas residuales municipales.

#### 5.1.4 Tratamiento terciario.

Como los tratamientos anteriores no eliminan productos químicos persistentes los grupos ambientalistas y las industrias que requieren de una alta calidad de agua, los consideran insuficientes, limitados e imperfectos por lo que exigen un mejor tratamiento. Los dos primeros tratamientos dejan entre 3% y 5% en peso de los desechos que requieren oxígeno, 3% de los sólidos en suspensión, 50% de nitrógeno (nitratos), 70% del fósforo (fosfatos) y 30% de la mayoría de los metales tóxicos y de productos químicos orgánicos. Entre las operaciones que se utilizan en el tratamiento terciario están:

- La Ultrafiltración: El agua se hace pasar a presión por una membrana, con poros de diámetro suficiente, para que se filtren las moléculas de agua y no puedan filtrarse las moléculas de otros productos; de esta manera se consigue un agua sin contaminación y un concentrado contaminado de moléculas de mayor tamaño que las del agua.
- La Precipitación Química: Consiste en agregar ciertos productos químicos al agua para lograr que estos alteren el estado físico de los sólidos disueltos o en suspensión y se propicie una separación por sedimentación. La eliminación se obtiene cuando los sólidos quedan atrapados en un volumen de precipitados formados principalmente por el coagulante adicionado, como consecuencia de la precipitación hay un aumento de constituyentes disueltos en la fuente. Los productos químicos más manejados como agentes precipitantes son: Sulfato de Aluminio hidratado, sulfato ferroso hidratado y sales férricas (cloruro y sulfatos).
- Adsorción por Carbón Activado: Existe material orgánico que las bacterias no degradan a esté se le llama material refractario; la forma de separar este material es mediante carbón activado que tiene la propiedad de adsorber mucho de los materiales no biodegradables, porque es muy poroso y tiene una gran superficie de contacto a la cual se adhieren. Algunos sistemas de digestión biológica utilizan el carbón activado en polvo para concentrar la fuente de alimento de las bacterias para que conviertan de manera más eficiente a la materia orgánica en biomasa o hasta en bióxido de carbono.
- Osmosis Inversa: Se define osmosis como una difusión pasiva, caracterizada por el paso del agua, disolvente, a través de la membrana semipermeable, desde la solución más diluida a la más concentrada. En este proceso se requiere de una membrana semipermeable (cuando están en contacto con la solución, permite el paso de pequeñas moléculas de disolvente y bloquea el paso de moléculas o iones de mayor tamaño como el soluto) que solamente permita el paso del agua. Este fenómeno es útil para la desmineralización del agua y para la eliminación de materias orgánicas y nutrientes.

### 5.1.5 Tratamiento Complementario

El tratamiento complementario se basa en la desinfección de la fuente, ya que la mayoría de las fuentes de agua contienen microorganismos tan pequeños que los tratamientos anteriores no pudieron removerlos y estos microorganismos son productores de enfermedades potencialmente dañinas para el ser humano por tal motivo es necesario aplicar procesos de desinfección al agua.

La desinfección de las aguas no se logra a través de medios biológicos sino físicos y químicos y a su vez la desinfección química logra mejores resultados que la desinfección física.

La desinfección se define como la eliminación selectiva de los organismos causantes de enfermedades, es decir la desinfección tiene la tarea específica de matar, en forma selectiva si es necesario aquellos microorganismos vivientes que pueden difundir o transmitir infecciones o enfermedades a través del agua o en ella. La desinfección se realiza por diferentes medios, entre los cuales se encuentran:

- Medios físicos:

**CALOR:** se basa en el aumento de temperatura hasta alcanzar su punto de ebullición, pero es poco práctico en grandes volúmenes.

- Radiación:

**RAYOS ULTRAVIOLETA:** La máxima acción destructiva es en las longitudes de onda comprendidas entre los 2,500 a 2,650 Å. Artificialmente, este tipo de luz se obtiene mediante una lámpara de vapor de mercurio construida de cuarzo o de algún material transparente a la luz de longitud de onda de 2,537 Å. La irradiación del agua con luz ultravioleta implica la exposición de una película de agua, generalmente hasta de 12 cm de espesor a una o varias lámparas que emitan radiaciones ultravioleta. Las ventajas de utilizar radiación ultravioleta para la desinfección son: las características fisicoquímicas del agua no se afectan, no provoca olor ni sabor, tiempos de contacto reducidos y no se forman subproductos residuales. Las desventajas son: las esporas, los quistes y virus son invulnerables a la luz ultravioleta, no es útil en aguas que presenten turbiedad y color, no tiene efectos residuales, requiere equipos sofisticados con alto consumo de energía, elevados gastos de mantenimiento.

- Medios químicos:

**OZONO:** es un oxidante muy energético, su poder oxidante y desinfectante es mayor que la del cloro lo cual lo hace más eficaz en la eliminación de bacterias, virus y otros microorganismos además es más potente y de más rápida acción que el cloro, el dióxido de cloro y las cloraminas. Su empleo en el campo de la

desinfección no se ha extendido debido a su alto costo; El ozono se forma de manera natural en los niveles altos de la atmósfera formando un filtro que nos protege de las radiaciones UV procedentes del sol. También puede generarse en el arco producido en el proceso de soldadura y cuando unos componentes de los gases de escape de los automóviles e industrias reaccionan con la luz del sol; Se produce en un aparato cerrado llamado ozonizador, a través de descargas eléctricas de alto voltaje, entre electrodos fijos en aire atmosférico seco. En nuestro medio ambiente la molécula de ozono es inestable y se va descomponiendo en oxígeno a medida que se genera, la vida media del ozono es de diez a quince minutos por tal motivo se obliga a generarlo in situ.

**IONES METÁLICOS:** entre los iones metálicos que se utilizan como desinfectantes son el mercurio, el cobre y la plata. El cobre es un excelente alguicida y la plata un poderoso bactericida. En el caso de la plata sus ventajas son: las dosis que se requieren son pequeñas, importante efecto residual, los organismos no afectan sus propiedades, inhibe el crecimiento de algas y hongos, no provoca sabor, no es tóxica y es de fácil manejo. Entre sus desventajas se menciona: son requeridos procesos previos de tratamiento para eliminar la turbiedad y color del agua, los microorganismos anaerobios, quistes y esporas son insensibles a su acción, requiere grandes tiempos de contacto y su costo es muy elevado.

**ÁLCALIS Y ACIDOS:** gracias a pH debajo de 3 y arriba de 11, se aseguran índices de mortalidad altos en los microorganismos.

**HÁLOGENOS:** entre los halógenos mas utilizados se encuentran el bromo, el yodo y el cloro; el primero es mas utilizado en albercas y el segundo por su costo esta más limitado en su utilización.

**AGENTES TENSOACTIVOS:** entre los agentes tensoactivos se encuentran los detergentes catiónicos y estos son los mejores agentes destructores de bacterias.

**CLORACIÓN:** Es el método más utilizado y conocido, oxida fácilmente al hierro y sulfuros, mejora los procesos de coagulación y filtración, elimina el amonio previa transformación en cloramina y mejora generalmente la reducción del color, olor y sabor. Este es el desinfectante más barato, se obtiene fácilmente como polvo, gas y líquido.

**Tabla 5.2** Dosis recomendadas de cloro para la desinfección.

Procedencia del efluente	Dosis (mg/l)
Agua residual cruda (precloración)	6 - 25
Decantación primaria	5 - 20
Planta de precipitación química	2 - 6
Planta de filtros percoladores	3 - 15
Planta de lodos activados	2 - 8
Planta de filtros multimedio después de lodos activados	1 - 5

Fuente: CNA

Los cuatro mecanismos para la acción de los desinfectantes son: daño ala pared celular, alteración en la permeabilidad de la célula, alteración de la naturaleza coloidal del protoplasma y la inhibición de la actividad enzimática.

Son diversos los criterios que tienen que considerar para valorar el desinfectante más efectivo, entre los que figuran: la aptitud para destruir las diversas clases de organismos en periodos de tiempo razonables, la capacidad para que las concentraciones utilizadas no comuniquen al agua características tóxicas para los humanos y animales, la facilidad de aplicación técnica y económica y la adaptabilidad de técnicas de valoración prácticas, rápidas y exactas y proporcionar una protección residual por la posible recontaminación del agua antes de su uso.

## 5.2 Tratamiento de las fuentes de abastecimiento para uso potable.

Para poder asegurar la distribución de agua que se suministra a la población para el consumo humano y que está sea de buena calidad es necesario tratar las fuentes ya sean subterráneas o superficiales que no cumple con la normatividad. En el país existen 439 plantas de tratamientos para uso potable en operación (CNA), por lo tanto, hay dos esquemas habituales de tratamiento para uso potable los cuales son:

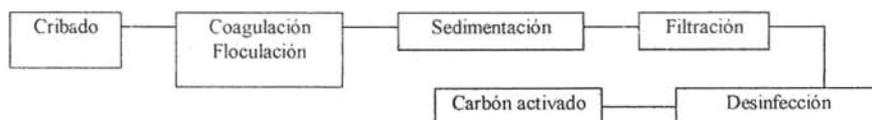


FIGURA 5.3 Tratamiento regular de fuentes de abastecimiento superficial.



FIGURA 5.4 Tratamiento regular para fuentes de abastecimiento subterráneas.

En casos de que esta fuente este contaminada necesita un tratamiento más complejo.



Figura 5.5 Tratamiento regular para fuentes de abastecimiento subterráneas contaminadas.

### 5.3 Tratamiento de las fuentes de abastecimiento para uso industrial

Cabe destacar que para elegir el tren de tratamiento de las aguas residuales, se debe tomar en cuenta su procedencia y el uso determinado que se le dará.

**TABLA 5.3** Características del agua residual y su procedencia.

CARACTERÍSTICAS	PROCEDENCIA
<b>FÍSICAS</b>	
Color	Aguas residuales domésticas, industriales, desintegración natural de materiales orgánicos
Olor	Agua residual en descomposición, residuales industriales
Sólidos	Aguas de abastecimiento, residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas
Temperatura	Aguas residuales domésticas e industriales
<b>QUÍMICOS ORGÁNICOS</b>	
Carbohidratos	Aguas residuales domésticas, comerciales e industriales
Grasas y aceites	Aguas residuales domésticas, comerciales e industriales
Pesticidas	Residuos agrícolas
Fenoles	Descargas residuales industriales
Proteínas	Aguas residuales domésticas y comerciales
Agentes tensoactivos	Aguas residuales domésticas e industriales
Otros	Desintegración natural de materiales orgánicos
<b>QUÍMICOS INORGÁNICOS</b>	
Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, agua de abastecimiento, infiltraciones de agua subterránea
Cloruros	Agua de abastecimiento, residual doméstica, infiltración de agua subterránea, ablandadores de agua
Metales pesados	Aguas residuales industriales
Nitrógeno	Aguas residuales domésticas y residuos agrícolas
pH	Aguas residuales industriales
Fósforo	Aguas residuales domésticas e industriales, escorrentía residual
Azufre	Aguas de abastecimiento, aguas residuales domésticas e industriales
Compuestos tóxicos	Residuos industriales
<b>GASES</b>	
Sulfuro de hidrógeno	Descomposición de aguas residuales domésticas
Metano	Descomposición de aguas residuales domésticas
Oxígeno	Agua de abastecimiento, infiltración de agua superficial
<b>BIOLOGICAS</b>	
Animales	Corrientes de agua y plantas de tratamiento
Plantas	Corrientes de agua y plantas de tratamiento
Protistas	Aguas residuales domésticas y plantas de tratamiento
Virus	Aguas residuales domésticas

Fuente: Metcalf-Eddy (1994)

#### 5.4 NORMAS OFICIALES MEXICANAS.

En cuestión las normas para proteger y controlar la contaminación del agua en nuestras fuentes de abastecimiento públicos que deben ser aplicadas son:

- NOM-001-SEMARNAT-1996: Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de Enero de 1997. En la siguiente tabla se muestran algunos límites máximos permisibles para ejemplificar, pero será necesario si se requieren de más información que se consulte la norma completa.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA  
CAPITULO V

TABLA 5.4 NOM-001.SEMARNAT-96 Límites máximos permisibles para descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales.

CRITERIOS ECOLÓGICOS DE CALIDAD DEL AGUA

Sustancia o parámetro	Niveles máximos en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad					Agua dulce	Agua marina (áreas costeras)
	Fuente de abastecimiento de agua potable	Recreativo con contacto primario	Riego agrícola	Pecuario			
Acenafteno	0.02					0.02 (I)	0.01 (I)
Ácido 2,4 diclorofenoxiacético	0.1						
Acilonitrilo (II)	0.0006 (III)					0.07 (I)	
Acroleína	0.3		0.1			0.0007 (I)	0.0005(I)
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	400.0					(IV)	(IV)
Aldrin (II)	0.00003 (III)	0.00005	0.02			0.003	0.001
Aluminio	0.02		5.0	5.0		0.05	0.2
Antimonio	0.1		0.1			0.09 (I)	
Arsénico (II)	0.05 (III)		0.1	0.2		0.2 (como As III)	0.04 (como As III)
Asbestos (II) (fibras/l)	3000 (III)						
Aspectos estéticos	(V)	(V)	(V)	(V)		(V)	(V)
Bario	1.0					0.01	0.5
Benceno (II)	0.01 (III)					0.05 (I)	0.005
Bencidina (II)	0.000001 (III)					0.02 (I)	
Berilio (II)	0.00007 (III)		(VI)	0.1		0.001	
Bifenilos policlorados (II)	0.0000008 (III)					0.00001	0.00003
BHC (II) (VII)						0.001 (I)	0.000003 (I)
BHC (Lindano)	0.003 (III)					0.002	0.0002
Bis (2-cloroetil) éter	0.0003 (III)					(VIII)	
Bis (2-cloroisopropil) éter	0.03 (III)					(VIII)	
Bis (2-etilhexil) etalato	32.0					(IX)	(X)
4-bromofenil-fenil-éter						0.01	
Boro (II)	1.0		0.7 (XI)	5.0			0.009 (XII)
Bromoformo (II)	0.002 (III)						
Bromuro de metilo	0.002						
Cadmio (II)	0.01		0.01	0.02		(XIII)	0.0009
Carbono orgánico:							
- extractable en alcohol	1.5						
- extractable en cloroformo	3.0						

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA  
CAPITULO V

Sustancia o parámetro	Fuente de abastecimiento de agua potable	Recreativo con contacto primario	Riego agrícola	Pecuario	Agua dulce	Agua marina (áreas costeras)
Cianuro (como CN)	0.2	0.02	0.02		0.005 (XII)	0.001 (XIV)
Clordano (II)	0.003 (III)	0.00002	0.003		0.002	0.00009
Mezcla técnica de metabolitos						
Cloro residual					0.011 (XII)	0.0075 (XII)
Cloro benceno	0.02				(XV)	(XVI)
2 cloro etil vinil éter					0.5 (I)	
2 clorofenol	0.03				0.04	0.01
Cloroformo (II)	0.03 (III)				0.3 (I)	
Cloronaftalenos					0.02 (I)	0.00007(I)
Cloruros (como Cl)	250		147.5		250	
Cloruro de metileno	0.002 (III)					
Cloruro de metilo	0.002 (III)					
Cloruro de vinilo	0.02 (III)					
Cobre	1.0		0.20	0.5	(XVII)	0.003 (XIV)
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	1000	(XVIII)	1000		(XVIII)	(XVIII)
Color (unidades de escala Pt - Co)	75				(XIX)	(XIX)
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)			1.0 (XX)			
Cromo hexavalente	0.05		1.0	1.0	0.01 (XII)	0.05 (XII)
DDD (II)	0.0000002 (III)				0.000006 (I)	0.00004 (I)
DDE (II)			0.04		0.01 (I)	0.0001 (I)
DDT (II)	0.001 (III)	0.000005			0.001	0.0001
Diclorobencenos	0.4				0.01	0.02
1,2 Dicloroetano (II)	0.005				1.2 (I)	1.1 (I)
1,1 Dicloroetileno (II)	0.0003				(XXI)	(XXII)
1,2 Dicloroetileno (II)	0.0003				(XXI)	(XXII)
2,4 Diclorofenol	0.03				0.02 (I)	
1, 2 Dicloropropano					0.2 (I)	0.1 (I)
1,2 Dicloropropileno	0.09				0.06 (I)	0.008 (I)
Dieldrin (II)	0.0000007 (III)	0.000003	0.02		0.002	0.0007
Diethyltalato	350				(IX)	(X)
1,2 Difenilhidracina (II)	0.0004 (III)				0.003	
2,4 Dimetilfenol	0.4				0.02	
Dimetil ftalato	313				(IX)	(X)
2,4 dinitrofenol	0.07				0.002 (I)	0.05
Dinitro - o - cresol	0.01 (III)					0.01

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA  
CAPITULO V

2,4 Dinitrotolueno (II)	0.001 (III)				(XXIII)	(XXIV)
2,6 Dinitrotolueno					(XXIII)	(XXIV)
Endosulfano (alfa y beta) (II)	0.07				0.0002	0.00003
Endrín	0.001	0.000002			0.00002	0.00004
Sustancia o parámetro	Fuente de abastecimiento de agua potable	Recreativo con contacto primario	Riego agrícola	Pecuario	Agua dulce	Agua marina (áreas costeras)
Etilbenceno	1.4					0.5
Fenol	0.3	0.001			0.1 (I)	0.06 (I)
Fierro	0.3		5.0		1.0	0.05
Fluoranteno	0.04				0.04 (I)	0.0004 (I)
Fluoruros (como F)	1.5		1.0	2.0	1.0	0.5
Fosfatos (como PO <sub>4</sub> )	0.1				(XXV)	0.002
Fósforo elemental					0.0001	0.0001
Gases disueltos					(XXVI)	(XXVI)
Grasas y aceites	Ausente					
Halometanos (II)	0.002 (III)				0.1 (I)	
Heptacloro (II)	0.0001 (III)	0.000002	0.02		0.0005	0.0005
Hexaclorobenceno	0.00001 (III)				(XV)	(XVI)
Hexaclorobutadieno (II)	0.004 (III)				0.0009 (I)	0.0003 (I)
Hexaclorociclopentadieno	0.001				0.00007 (I)	0.00007 (I)
Hexacloroetano (II)	0.02 (III)				0.01 (I)	0.009 (I)
Hidrocarburos aromáticos polinucleares (II)	0.00003 (III)					0.1
Isoforona	5.2				1.2 (I)	0.1 (I)
Manganeso	0.1					
Materia flotante	V.2	V.2	V.2	V.2	V.2	V.2
Mercurio (II)	0.001			0.003	0.00001 (XII)	0.00002 (XII)
Metoxicloro	0.03					
Naftaleno					0.02 (I)	0.02 (I)
Niquel	0.01		0.2	1.0	(XXVII)	0.008 (XII)
Nitratos (como N)	5.0			90.0		0.04
Nitritos (como N)	0.05			10.0		0.002
Nitrobenceno	20.0				0.3 (I)	0.07 (I)
2 nitrofenol y 4 nitrofenol	0.07				0.002 (I)	0.05 (I)
Nitrógeno amoniacal					0.06	0.01
N - Nitrosodifenilamina (II)	0.05 (III)				(XXVIII)	(XXIX)
N - Nitrosodimetilamina (II)	0.00001 (III)				(XXVIII)	(XXIX)
N - Nitrosodi - N Propilamina (II)					(XXVIII)	(XXIX)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA  
CAPÍTULO V

Oxígeno disuelto (XXX)	4.0				5.0	5.0
Olor	Ausente					
Paratión	0.00003				0.00004	0.00004
Pentaclorofenol	0.03				0.0005 (I)	0.0005 (I)
Potencial hidrógeno (pH) (XXXI)	5-9		4.5-9.0		(XXXII)	(XXXII)
Plata	0.05				(XXXIII)	0.002
Plomo	0.05		5.0	0.1	(XXXIV)	0.006 (XII)
Sustancia o parámetro	Fuente de abastecimiento de agua potable	Recreativo con contacto primario	Riego agrícola	Pecuario	Agua dulce	Agua marina (áreas costeras)
Sabor	Característico					
Selenio (como selenato)	0.01		0.02	0.05	0.008	0.4
Sólidos disueltos	500		500 (XXXV)	1000		
Sólidos suspendidos	500		50		(XIX)	(XIX)
Sólidos totales	1000					
Sustancias activas al azul de metileno	0.5				0.1	0.1
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	500		130		0.005	
Sulfuros (como H <sub>2</sub> S)	0.2				0.002	0.002
Talio	0.01				0.01 (I)	0.02 (I)
Temperatura	Condiciones naturales +2.5				Condiciones naturales +1.5	Condiciones naturales +1.5
2,3,7,8.- Tetraclorodibenzo-P-Dioxina (II)	0.000000001 (III)				0.00000001	0.00000001
1,1,2,2, Tetracloroetano (II)	0.002 (III)				0.09 (I)	0.09 (I)
Tetracloroetileno (II)	0.008 (III)				0.05 (I)	0.1 (I)
Tetracloruro de carbono (II)	0.004 (III)				0.3 (I)	0.5 (I)
Tolueno	14.3				0.2 (I)	0.06 (I)
Toxafeno	0.000007	0.00003	0.005		0.0000002 (XII)	0.0000002 (XII)
1,1,1, Tricloroetano (II)	18.4 (III)				0.2 (I)	0.3 (I)
1,1,2, Tricloroetano (II)	0.006 (III)				0.2 (I)	
Tricloroetileno (II)	0.03 (III)				0.01	0.02
2,4,6, Triclorofenol (II)	0.01 (III)				0.01	
Turbiedad (Unidades escala de sílice)	Condiciones naturales				(XIX)	(XIX)
Zinc	5.0		2.0	50.0	(XXXVI)	0.09 (XII)
Radiactividad:						
Alfa total (Bq/l)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Beta total (Bq/l)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

- NOM-002-SEMARNAT-1996: Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Fue publicado en el diario Oficial de la Federación el día 3 de junio de 1998.

**TABLA 5.5** Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

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

- NOM-003-SEMARNAT-1996 Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. Fue publicado en el Diario Oficial de la Federación 21 de Septiembre de 1998.

**TABLA 5.6** Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.

Tipo de reuso	Promedio mensual				
	Colifórmes 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 público con contacto directo	240	<=1	15	20	20
Servicios al público con contacto indirecto u ocasional	1,000	<=5	15	30	30

Fuente: CNA

- NOM-004-SEMARNAT-2002: Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su

aprovechamiento y disposición final. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 15 de Agosto de 2003.

Para cumplir con los criterios establecidos en la Norma, las aguas residuales deben recibir un tratamiento, a fin de alcanzar los valores permitidos para su descarga. A nivel internacional se exige como mínimo un tratamiento secundario de los efluentes de origen municipal e industrial o con la mejor tecnología disponible. Cuando existen algunos contaminantes en el agua residual no contemplados en la Norma, se fijan Condiciones Particulares de Descarga, para esas sustancias, de tal manera que no se altere el equilibrio ecológico

Los valores expresados en las Normas para los diferentes parámetros se definen no solamente considerando el origen del agua, sino considerando las características del cuerpo receptor, su capacidad de autopurificación o asimilación de las sustancias, o en base a criterios de calidad de agua recomendados para ecosistemas acuáticos naturales. En el caso de que el receptor sea el sistema de drenaje y alcantarillado, los valores límites se fijan en base a los procesos de tratamiento que recibirán en la planta las aguas residuales municipales.

En el Artículo 112 de la Ley de Aguas Nacionales establece que para utilizar las aguas nacionales se necesita una concesión o una asignación, además menciona que en el caso de descarga de aguas residuales a bienes nacionales, se necesita un permiso de descarga y se cobra un derecho federal por la utilización de los bienes como cuerpos receptores de las descargas.

#### **5.4.1 Normas Oficiales Mexicanas con Relación al Sector Agua**

La Comisión Nacional del Agua a través de su comité consultivo Nacional de Normalización del sector agua, expide normas oficiales mexicanas en la materia, mediante las cuales ejerce las atribuciones que le confiere la Ley de Aguas Nacionales y su reglamento, como son aprovechar adecuadamente y proteger el recurso hídrico nacional.

Dichas normas establecen las disposiciones, las especificaciones y los métodos de prueba que permiten garantizar que los productos y servicios cumplan con el objetivo de aprovechar, preservar en cantidad y calidad y manejar adecuada y eficientemente el agua. Las normas oficiales mexicanas en vigor son las siguientes:

- NOM-001-CNA-1995: Sistemas de alcantarillado sanitario- Especificaciones de hermeticidad. Se publicó en el diario Oficial de la Federación el 11 de Octubre de 1996. Norma vigente, actualmente en revisión.
- NOM-002-CNA-1995: Toma domiciliaria para abastecimiento de agua potable - Especificaciones y métodos de prueba. Se publicó en el diario Oficial de la Federación el 14 de Octubre de 1996. Norma vigente, actualmente en revisión.

- NOM-003-CNA-1996: Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos. Se publicó en el diario Oficial de la Federación el 03 de Febrero de 1996. Norma vigente, actualmente en revisión.
- NOM-004-CNA-1996: Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos. Se publicó en el diario Oficial de la Federación el 08 de octubre de 1997. Norma vigente, actualmente en revisión.
- NOM-005-CNA-1996: Fluxómetros – Especificaciones y métodos de prueba. Se publicó en el diario Oficial de la Federación el 25 de Julio de 1997. Norma vigente, actualmente en revisión.
- NOM-006-CNA-1997: Fosas sépticas prefabricadas – Especificaciones y métodos de prueba. Se publicó en el diario Oficial de la Federación el 29 de Enero de 1999. Norma vigente, se ratificó.
- NOM-007-CNA-1997: Requisitos de seguridad para la construcción y operación de tanques para agua. Se publicó en el diario Oficial de la Federación el 01 de Febrero de 1999. Norma vigente, se ratificó.
- NOM-008-CNA-1998: Regaderas empleadas en el aseo corporal – Especificaciones y métodos de prueba. Se publicó en el diario Oficial de la Federación el 25 de Junio de 2001. Norma vigente. Entro en vigor en diciembre de 2001.
- NOM-009-CNA-1998: Inodoros para uso sanitario – Especificaciones y métodos de prueba. Se publicó en el diario Oficial de la Federación el 02 de Agosto de 2001. Entro en vigor en Noviembre de 2001.
- NOM-010-CNA-1999: Válvula de admisión y válvula de descarga para tanque de inodoro – Especificaciones y métodos de prueba. Se publicó en el diario Oficial de la Federación el 02 de Septiembre de 2003. Entrará en vigor el 29 de Febrero de 2004.
- NOM-011-CNA-200: Conservación del recurso agua – Establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Se publicó en el diario Oficial de la Federación el 17 de Abril de 2002. Entro en vigor el 17 de Junio de 2002.

Así mismo se encuentran en proyecto otras dos normas:

- PROY-NOM-012-CNA-2002: Requisitos generales de seguridad de presas.
- PROY-NOM-013-CNA-2001: Redes de distribución de agua potable

#### **5.4.2 Normas Oficiales Mexicanas de la Secretaría de Salud Relacionadas con el Sector Agua.**

La Secretaría de Salud en coordinación con la Comisión Nacional del Agua ha elaborado normas, ya que el agua para uso y consumo humano debe de contar con cierta calidad para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y por tal motivo fue necesario establecer límites permisibles en

cuanto a las características del agua, con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas hasta la entrega al consumidor aquí se muestran algunas normas en cuestión salud:

- NOM-127-SSA1-1994: (Modificación) Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Se publicó en el diario Oficial de la Federación el 22 de Noviembre de 2000. Originalmente se publicó el 18 de Enero de 1996. Norma vigente.
- NOM-0179-SSA1-1998: Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por los sistemas de abastecimiento público. Publicada el 24 de Septiembre de 2001.
- NOM-012-SSA1-1993: Requisitos sanitarios que deben de cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano, públicos y privados; publicada el 12 de Agosto de 1994.
- NOM-013-SSA1-1993: Requisitos sanitarios que debe de cumplir la cisterna de un vehículo para el transporte y distribución de agua para uso y consumo humano. Se publicó en el diario Oficial de la Federación el 12 de Agosto de 1994.
- NOM-014-SSA1-1993: Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento públicos y privados. Se publicó en el diario Oficial de la Federación el 12 de Agosto de 1994.

## CONCLUSIÓN

Este trabajo cumplió con las expectativas requeridas a su inicio, ya que su finalidad es servir como fuente de información segura y concisa, para que el estudiante o profesionista interesado en las técnicas de muestreo y aforo de las diferentes fuentes de abastecimiento de agua encuentre información depurada e integrada para facilitarle la búsqueda de la misma; igualmente este trabajo muestra algunos de los diferentes parámetros de medición para caracterizar cualquier fuente de agua, además las operaciones unitarias para los diferentes trenes de tratamiento. Aunado a esto, se dan a conocer las normas oficiales estipuladas por la ley relacionada con el sector agua, que deben de ser acatadas y que la mayoría desconocen.

Así mismo, tratando de que este trabajo al ser consultado cumpla con una finalidad muy importante, como es el de crear una concientización y cultura sobre el uso y el cuidado de este recurso natural y así poder alcanzar un desarrollo sustentable.

## GLOSARIO

### A

**Acuífero:** Dícese de la capa, zona o terreno que contiene agua.

**Adsorción:** fijación de gases, vapores y sustancias disueltas en la superficie de cuerpos sólidos.

**Aerobio:** Dicho de un ser vivo que necesita oxígeno para subsistir.

**Afluente:** Arroyo o río secundario que desemboca o desagua en otro principal.

**Agente tensoactivo:** Producto químico que se agrega a los detergentes para disminuir la tensión superficial para disminuir la fuerza de adhesión de las partículas (mugre) a una superficie.

**Agua dura:** Contiene más minerales que el agua blanda. El agua dura no reacciona bien con el jabón ya que sus minerales no le permiten mezclarse bien. Dependiendo de la naturaleza del terreno que atraviesan pueden contener distintos contenidos de sales minerales, denominándose "aguas duras" cuando tienen concentraciones altas de calcio, magnesio, sodio o hierro y "aguas blandas" cuando estas concentraciones son bajas.

**Anaerobio:** Dicho de un organismo que puede vivir sin oxígeno.

**Anión:** Un anión es un ión (sea átomo o molécula) con carga eléctrica negativa, esto es, con exceso de electrones. Los aniones se describen con un estado de oxidación negativo.

Las sales típicamente están formadas por cationes y aniones (aunque el enlace nunca es puramente iónico, siempre hay una contribución covalente).

### C

**Catión:** Un catión es un ión (sea átomo o molécula) con carga eléctrica positiva, esto es, con defecto de electrones. Los cationes se describen con un estado de oxidación positivo.

Las sales típicamente están formadas por cationes y aniones (aunque el enlace nunca es puramente iónico, siempre hay una contribución covalente).

**Caudal:** Cantidad de un líquido o un gas que fluye en un determinado lugar por unidad de tiempo.

**Coloide:** Un coloide, suspensión coloidal o dispersión coloidal es un sistema físico compuesto de un material en forma líquida o gaseosa, en el cual hay inmersas partículas, por lo general sólidas, de tamaño mesoscópico, es decir, a medio camino entre los mundos macroscópico y microscópico. Así, se trata de partículas que no son apreciables a simple vista, pero mucho más grandes que cualquier

molécula. En particular, la comunidad científica define la escala mesoscópica como la situada entre unos 10 nanómetros y 10 micrómetros.

**Convergencia:** dirigirse dos o más líneas a unirse en un punto, concurrir al mismo fin los dictámenes, opiniones o ideas de dos o más personas.

**Contaminación antropogénica:** contaminación producida por las zonas urbanas.

**Corrosión:** Destrucción paulatina de los cuerpos metálicos por acción de agentes externos, persista o no su forma.

**Cromosoma:** Filamento condensado de ácido desoxirribonucleico, visible en el núcleo de las células durante la mitosis. Su número es constante para cada especie animal o vegetal.

**Cuenca:** Territorio cuyas aguas afluyen todas a un mismo río, lago o mar.

## D

**Densidad:** Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. Su unidad en el Sistema Internacional es el kilogramo por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>).

**Depuración:** Limpiar, purificar.

**Desarrollo sustentable:** Es el proceso evaluable mediante criterios e indicadores de carácter ambiental, económico y social que tienden a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en las medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras. (art. 3º- XI-LGEEPA).

**Difusión:** Acción y efecto de difundir.

**Digestión:** Infusión prolongada, en un líquido apropiado, de aquel cuerpo de que se quiere extraer alguna sustancia.

**Divergencia:** Diversidad de opiniones o pareceres,

**Drenar:** Dar salida y corriente a las aguas muertas o a la excesiva humedad de los terrenos, por medio de zanjas o cañerías.

## E

**Efluente:** Líquido que procede de una planta industrial.

**Estero:** Terreno bajo pantanoso, intransitable, que suele llenarse de agua por la lluvia o por la filtración de un río o laguna cercana, y que abunda en plantas acuáticas.

**Esteres:** Son compuestos que se forman al sustituir el H de un ácido orgánico por una cadena hidrocarbonada, R'.

## F

**Floculación:** Agregación de partículas sólidas en una dispersión coloidal, en general por la adición de algún agente.

**Fuerzas electrostáticas:** Cuando dos partículas coloidales con carga superficial neta se aproximan entre sí, se produce una superposición de las partes difusas de sus correspondientes dobles capas eléctricas, dando lugar a fuerzas de tipo repulsivo.

## G

**Gasto:** Cantidad de líquido o de gas que, en determinadas circunstancias, pasa por un orificio o por una tubería cada unidad de tiempo.

## H

**Halógeno:** El grupo de los halógenos es el grupo 17 de la tabla periódica de los elementos, formado por los siguientes elementos: flúor, cloro, bromo, yodo y astato (este último, radioactivo y poco común). La palabra proviene del griego y significa formador de sales.

## I

**Iones:** Los iones son componentes esenciales de la materia tanto inerte como viva. Son partículas con carga eléctrica neta que participan en un buen número de fenómenos químicos.

## M

**Micra:** La micra es la unidad de longitud equivalente a la millonésima parte de un metro, o micrómetro, y representada por el símbolo griego  $\mu$ .

$$1 \text{ m} = 10^{-6} \text{ m} = 10^{-3} \text{ mm}$$

Actualmente, se desaconseja el uso del término micra. Se recomienda usar, en su lugar, el término micrómetro.

**Microorganismo:** Ser vivo que sólo se puede observar utilizando microscopios ópticos o electrónicos.

**Molécula:** Una molécula es una partícula formada por un conjunto de átomos ligados por enlaces covalentes, de forma que permanecen unidos el tiempo suficiente como para completar un número considerable de vibraciones moleculares.

## N

**Nanómetro:** Un nanómetro es la milmillonésima parte de un metro  $10^{-9}$  metros. Abreviación es nm. Es una medida de longitud en el SI, comúnmente utilizada en medidas de longitud de onda o radiación ultravioleta y rayos gamma, entre otras.  
1 nm = 1000 picómetros.  
1000 nm = 1 micrómetro.

**P**

**Plancton:** El plancton (del griego plagktos, "errante") es un conjunto de organismos animales y vegetales, generalmente microscópicos, que flotan en aguas saladas o dulces hasta los 200 metros de profundidad aproximadamente. Es lo contrario del necton, que son todos los nadadores activos.

**Permeabilidad:** que puede ser penetrado por el agua u otro fluido.

**S**

**Sumersión:** Acción y efecto de sumergir o sumergirse.

**T**

**Topografía:** Arte de describir y delinear detalladamente la superficie de un terreno. Conjunto de particularidades que presenta un terreno en su configuración superficial.

**V**

**Volatilidad:** Transformar un cuerpo sólido o líquido en vapor o gas.

## BIBLIOGRAFÍAS

- 1.- J. RODIER. Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, aguas de mar. Ed. Omega, Barcelona, 1990.
- 2.- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Manual de aguas para usos industriales. Ed. Limusa, Nueva York, 1994.
- 3.- LAWRENCE, H. KEITH. Principles of environmental sampling. 2<sup>nd</sup>.Ed. American Chemical Society, Washington DC, 1996.
- 4.- FRANK, N. KEMMER. Manual del agua: su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. Tomo 1. Ed. McGraw Hill, México, 1989.
- 5.- BLANCA ELENA, JIMENEZ CISNEROS. La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. Ed. Limusa, México, 2002.
- 6.- HORACE, WILLIAM KING. Manual de hidráulica. Ed. Limusa, México, 1995.
- 7.- METCALF-EDDY. Tratamiento y depuración de las aguas residuales. Ed. Labor, Barcelona, 1981.
- 8.- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZACIÓN. Manual on water-quality monitoring: planning and implementation of sampling and field testing. Geneva-Switzerland, 1988.
- 9.- JAMMIE BARTRAM, RICHARD BALLANCE. Water quality monitoring. Ed. E&EN Spon, London, 1996.
- 10.- DEBORAH, CHAPMAN. Water quality assesment. 2<sup>nd</sup>. Ed. Ed. E&EN Spon, London, 1996.
- 11.- AURELIO, HERNÁNDEZ MUÑOZ. Depuración de aguas residuales. 2<sup>a</sup>. Ed. Editorial Paraninfo, España 1992.
- 12.- JAIRO ALBERTO, ROMERO ROJAS. Potabilización del agua. 3<sup>a</sup>. Edición. Editorial Alfaomega, Colombia 1999.
- 13.- T.H.Y. TEBBUT. Fundamentos de control de la calidad del agua. Editorial Limusa, 9<sup>a</sup>. Reimpresión, México 1990.
- 14.- N.F. GRAY. Calidad del agua potable, problemas y soluciones. Editorial Acribia. Zaragoza España, 1996.
- 15.- DEPARTAMENTO DE SANIDADEL ESTADO DE NUEVA YORK. Manual de tratamiento de aguas. Editorial Limusa, N.Y. Estados Unidos, 1996.
- 16.- RAMÓN, SANS FONFRIA. Ingeniería ambiental, contaminación y tratamiento. Editorial Alfaomega, Colombia, 1999.

- 17.- FAIR-GEYER-OKUN. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales, Ingeniería de aguas residuales Tomo 1. Editorial Limusa, México, 1996.
- 18.- FAIR-GEYER-OKUN. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales, Ingeniería de aguas residuales Tomo 2. Editorial Limusa, México, 1996.
- 19.- THE AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (A.W.W.A). Control de calidad y tratamiento del agua, manual de abastecimientos públicos de aguas. Madrid España, 1975.
- 20.- COMISION NACIONAL DEL AGUA (CNA). Estadísticas del agua en México 2004. 2ª. Edición Marzo 2004, México 2004.
- 21.- I.P.N.-CENTRO DE INVESTIGACIONES ECONOMICAS, ADMINISTRATIVAS Y SOCIALES (CIECAS). Más allá del H<sub>2</sub>O, alternativas y propósitos. Volumen VI 4/2004 Eco –catástrofe. Pag 46, México 2004.
- 22.- NOM-001-SEMARNAT-1996 Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de Enero de 1997.
- 23 - NOM-002-SEMARNAT-1996 Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Fue publicado en el diario Oficial de la Federación el día 3 de junio de 1998.
- 24.- NOM-003-SEMARNAT-1996 Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. Fue publicado en el Diario Oficial de la Federación 21 de Septiembre de 1998.
- 25.- NMX-AA-014-1980 se refiere a "Cuerpos receptores – Muestreo" la cual establece los lineamientos generales y recomendaciones para el muestreo en cuerpos receptores de aguas superficiales con el fin de determinar sus características físicas, químicas y bacteriológicas.
- 26.- NMX-AA-003-1980 que se refiere a "Aguas Residuales – Muestreo" la cual establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales, con el fin de determinar sus características físicas y químicas.

Páginas electrónicas

[www.aquaydesarrollosustentable.com](http://www.aquaydesarrollosustentable.com)

[www.aguasblancasyresiduales.com](http://www.aguasblancasyresiduales.com)

[www.chlorine.com](http://www.chlorine.com)

[www.calidadde-la-agua.com](http://www.calidadde-la-agua.com)

[www.monografias.com](http://www.monografias.com)

[www.distribucionde-la-agua-dulce.com](http://www.distribucionde-la-agua-dulce.com)

[www.aforos.com](http://www.aforos.com)

[www.disponibilidadyusosde-la-agua.com](http://www.disponibilidadyusosde-la-agua.com)