

70



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

PROPUESTA PARA EL CONTROL DE  
DESCARGAS EN MEXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA QUIMICA

P R E S E N T A :

DIANA HUICOHEA ORTIZ



MEXICO, D. F.



282943

2000



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.

Jurado asignado

Presidente	Prof Leticia Ma. De los Ángeles Gonzalez Arredondo
Vocal	Prof Rodolfo Torres Barrera
Secretario	Prof Luis Miguel Rivera Chávez
1er sup	Prof Victor Manuel Luna Pabello
2do sup	Prof Landy Irene Ramírez Burgos

Sitio donde se desarrolló el tema Comisión Nacional del Agua

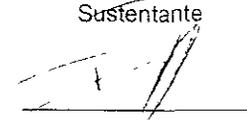
Asesor del tema



---

M en I Luis Miguel Rivera Chávez

Sustentante



---

Diana Huicochea Ortiz

Gracias a esa fuerza universal la cual hace posible que mi persona exista en este mundo, en este país y en este tiempo. La misma que hace posible que pueda disfrutar de la belleza indescriptible que me rodea. La misma que me ha bendecido con una familia y con un porvenir.

Gracias a mis padres y a mi hermano, a cuyo apoyo incondicional dedico este logro. Les agradezco su confianza, su esfuerzo, su dedicación, sus desveladas, sus consejos

Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México por el privilegio de estudiar en sus aulas. Le agradezco la oportunidad de conocer a gente maravillosa y de haber pasado en ella la mejor época de mi vida.

Le agradezco al M. en I. Luis Miguel Rivera Chávez el haber sido mi asesor en este trabajo. Gracias por su dedicación, su interés y su paciencia. Sobre todo, gracias por ser más que un maestro, un amigo.

Gracias a Bibiana, a Fernando, a José y a Miguel Ángel por su amistad incondicional; por todos los momentos alegres, los momentos tristes, los momentos inteligentes y los momentos locos que hemos pasado juntos.

Es un orgullo ser egresada de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México. Asimismo, se establece un compromiso: ser una Profesionalista útil para la Sociedad, para el País y para las personas que confían en mí.

Desde que tengo uso de razón, mi afición por el aprendizaje ha sido tan fuerte y violenta que ni siquiera las recriminaciones de otras personas. ni mis propios reproches... me impidieron que siguiera esta inclinación natural que Dios me dio. Sólo Él conoce el porqué, y también sabe que le he implorado que me quite la luz del discernimiento, que me deje únicamente la necesaria como para cumplir con su mandato ya que, según algunos, todo lo demás es excesivo para una mujer. Otros afirman que hasta es pernicioso.

*Sor Juana Inés de la Cruz  
Réplica al Obispo de Puebla  
(1691), que había criticado  
su trabajo erudito por ser  
inapropiado para su sexo.*

Evidentemente, no experimentará temor quien cree que nada puede sucederle [...] Sienten miedo aquellos que juzgan probable que algo les pase [ . ]. Los hombres no piensan así cuando se encuentran o creen hallarse en la plenitud de la prosperidad, y en consecuencia se muestran insolentes, desdefiosos y temerarios [ ..]. [Pero si] conocen la angustia de la incertidumbre, tiene que haber alguna esperanza de salvación, por exigua que sea.

*Aristóteles (384-322 a.de C.),  
Retórica, 1382 29*

Hacia el primer día, todos señalábamos a nuestros países. Hacia el tercero o el cuarto, señalábamos a nuestros continentes. Para el quinto día, ya éramos conscientes de que sólo hay una Tierra

*Príncipe Sultán Bin Salmon  
Al-Saud, astronauta de  
Arabia Saudí*

**Indice**

<b>Introducción</b>	1
<b>1.- Generalidades</b>	3
1.1.- Definiciones	4
1.1.1.- Generales	4
1.1.2.- Tipos de Contaminantes	7
1.1.3 - Tipo de Muestra	8
1.1.4.- Tipos de Tratamiento del Agua Residual	9
<b>2.- Legislación En México</b>	10
2.1.- Organismos Gubernamentales	11
2.2.- Normatividad	11
2.3.- Protección al Ambiente	14
2.4.- Parámetros	16
2.5.- Monitoreo	16
2.6.- Métodos de Prueba	21
2.7.- Inspección y Vigilancia	23
2.8.- Sanciones Administrativas	26
<b>3.- Procedimiento de Muestreo en México</b>	30
3.1.- Procedimiento Técnico Actual	31
3.1.1.- Material	31
3.1.1.1 - Recipientes	31
3.1.1.2 - Tapas y Cierres	33
3.1.1.3 - Pretratamiento y/o Limpieza	34
3.2.- Objetivo del Muestreo	35
3.3.- Frecuencia de la Toma de Muestras	36
3.4.- Preparación y Aplicación de los Procedimientos de Muestreo	37
3.5.- Coordinación con Laboratorios de Análisis	38

---

---

Propuesta para el Control de Descargas en México

3 6.- Preparación de Equipo de Seguridad y de Muestreo	38
3 7 - Lugar de Muestreo	41
3 8.- Tipos de Muestras	42
3 8 1 - Muestras Instantáneas	42
3 8.2.- Muestras Compuestas	43
3.8.2.1.- Muestras Compuestas Proporcionales a la Corriente	43
3.8.2.2.- Muestras Compuestas con Relación al Tiempo	43
3.9.- Equipo para la Toma de Muestras	44
3 10.- Volumen de las Muestras	46
3 11.- Conservación de Muestras y Período de Retención antes del Análisis	46
3.12 - Toma de Muestras y Métodos de Conservación para Contaminantes Específicos	47
3.12 1 - Muestras de Metales, incluyendo Cobre, Cadmio, Cromo, Plomo, Níquel, Zinc y Mercurio	47
3 12.2.- Muestras de Compuestos Volátiles Orgánicos Incluyendo Benceno, Tetracloruro de Carbono, Tricloroetileno y Tolueno	47
3 12.3.- Muestras de Grasas y Aceites	48
3 12.4.- Muestras de Cianuros	48
3.12.5.-Compuestos Orgánicos y Plaguicidas, Incluyendo Aldrin, Chlordano y Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	49
3.12.6.- pH	49
3 12.7 - Fenoles	50
3 12 8 - DBO	50
3 12.9.- DQO	50
3 12 10.- SST	51
3 12 11 - Conductividad	51
3 12 12 - Turbiedad	51

---

3.13 - Medida del Flujo	51
3.13.1.- Vertedores	52
3 13.1.1 - Determinación de Caudales en un Vertedor Rectangular	54
3.13.1.2.- Determinación de Caudales en un Vertedor Triangular	55
3.13.1.3.- Determinación de Caudales en un Vertedor Trapezoidal	56
3 13.1.4.- Verificación de la Instalación de Vertedores	60
3.13.2.- Canales Parshall	61
3 13 3.- Método de Área-Velocidad	68
3 13.3.1.- Velocidad Media del Agua en una Corriente	68
3 13 3.2 - Área de la Sección Transversal de una Corriente	70
3.13.3.3.- Uso de Sonda Rígida	71
3 13.3.4.- Uso de Sonda Flexible	71
3 13.4.- Método de la Escuadra para Chorro Horizontal (Utilizando el Nomograma de Gastos)	72
3 13.4.1.- Tubería Llena	72
3.13.4.2.- Tubería Semillena	74
3 13 5 - Método Volumen-Tiempo	74
<b>4.- Procedimiento de Control de Descargas en Estados Unidos de América</b>	<b>75</b>
4.1.- Inspección a Instalaciones	76
4.2.- Procedimientos de Inspección	77
4 3 - Preparación de la Inspección	78
4.3 1 - Revisión de los Antecedentes	78
4 3 2 - Revisión de Publicaciones	78
4.3.3 - Preparación de un Plan de Inspección	78
4 3 4 - Notificación a la Instalación	79
4 3 5 - Salud y Seguridad	79

---

4.3.6 - Preparación del Equipo	79
4.4.- Actividades sobre el Terreno	80
4.4.1.- Inspección Periférica	80
4.4.2.- Entrada en la Instalación	80
4.4.3.- Conversación Inicial	81
4.4.4.- Recorrido por las Instalaciones	83
4.5.- Derrames	85
4.6.- Sistema de Pretratamiento	86
4.7.- Entrevista Final	87
4.8.- Actividades Complementarias	87
4.9.- Permisos	88
4.9.1 - Permiso General	88
4.9.2.- Permiso Individual	88
4.10.- Límites de Descarga	89
4.10.1.- Límites Basados en la Tecnología	89
4.10.2.- Límites Locales sobre Contaminantes Específicos	89
4.10.3 - Límites Basados en el Mejor Juicio Profesional	89
4.11.- Selección de los Contaminantes a Reglamentar	89
4.12.- Procedimientos Generales para establecer Límites de Descarga	90
4.13.- Incorporación de Límites de Contaminación Específicos a Nivel Municipal	91
4.14.- Sanciones	91
4.14.1.- Creación de Factores Disuasivos	91
4.14.2 - El Hacer Verosímil la Posibilidad de Detección	92
4.14.3 - Consecuencias serias en caso de Detección	92
4.14.4.- Respuesta rápida y segura	92
4.14.5.- Una respuesta equitativa y homogénea	92
4.14.6 - Tipos De Medidas Coercitivas	93
4.14.7.- Respuesta Informal	93
4.14.8 - Respuestas Administrativas	94

---

4.14.9.- Respuesta Judicial	94
4.14.10.- Acciones Coercitivas Complementarias	94
4.14.11.- Notificaciones Públicas	94
4.14.12.- Cancelación del Servicio de Agua	95
4.14.13.- Compañías Contratadas por el Condado	95
4.14.14.- Mayor Vigilancia y presentación de Informes	95
4.14.15.- Recompensa por Información	95
4.14.16.- Permisos de Corto Plazo	95
4.14.17.- Establecimiento de un Plan de respuesta Coercitiva	96
<b>5. Propuesta para el Control de Descargas en México</b>	<b>99</b>
<b>Conclusiones Y Recomendaciones</b>	<b>106</b>
<b>Referencias</b>	<b>108</b>
<b>Anexo A. Lineamientos De Calidad Del Agua</b>	<b>111</b>

---

## INDICE DE FIGURAS

<b>Número</b>	<b>Figura</b>	<b>Página</b>
Fig. 1.1.	Descarga de Agua Residual.	5
Fig. 3.1.	Frascos con agua residual después del muestreo.	33
Fig 3.2.	Equipo multianalizador de campo, que es capaz de medir Conductividad, pH, Temperatura, Oxígeno disuelto, Velocidad en canales así como iones específicos	36
Fig. 3.3.	Equipo de seguridad para muestreo que incluye bata, botas de hule, guantes de cirujano desechables, casco, goggles, cubrebocas y mascarilla para muestreo en lugares cerrados.	40
Fig 3.4.	Personal con equipo de seguridad muestreando Agua Residual	42
Fig. 3.5.	Muestreador automático en la planta de tratamiento de Agua Residual en San Diego, Cal.	45
Fig. 3.6.	Personal muestreando en un canal.	45
Fig. 3.7	Personal de CNA empleando el multianalizador de campo.	50
Fig 3.8.	Descarga conducida por un canal.	52

---

Fig. 3.9.	Partes que integran un vertedor.	53
Fig. 3.10.	Vertedor rectangular.	54
Fig. 3.11.	Vertedor Triangular	55
Fig. 3.12.	Vertedor Trapezoidal Cipolleti.	57
Fig. 3.13.	Canal Parshall con regleta limnimétrica	59
Fig. 3.14.	Canal Parshall con medidor de nivel ultrasónico	60
Fig. 3.15.	Corte y planta de un medidor Parshall.	64
Fig. 3.16.	División en Franjas de la Sección Transversal de una Corriente	69
Fig. 3.17	Nomograma de gastos.	73

---

Este trabajo busca presentar de una manera sencilla, los procedimientos que actualmente se siguen para realizar el monitoreo de las descargas de aguas residuales, así como proponer un procedimiento más simple para llevar a cabo este control, tomando en cuenta diferentes tipos de visitas y de parámetros a analizar.

En México, el control a usuarios de aguas nacionales como ríos, lagos, lagunas y acuíferos (de propiedad federal) se lleva a cabo a través de operativos de inspección que lleva a cabo la Comisión Nacional del Agua a través de la Subdirección General de Administración del Agua. Sin embargo, los usuarios que descargan sus aguas residuales a sistemas de alcantarillado son responsabilidad de los organismos estatales o municipales que prestan el servicio, como es el caso del Departamento del Distrito Federal.

En Estados Unidos, el control se lleva a cabo casi exclusivamente por los condados, a través de varios tipos de visitas y de parámetros integrativos, es decir, aquellos que incluyen otros parámetros. Algunos de estos análisis no pueden aplicarse en México debido al alto costo y a que no se cuenta con la infraestructura requerida. En el presente trabajo se analizará la forma en que se efectúa este monitoreo y se propondrá una metodología adecuada a las necesidades y condiciones existentes en México. Además, uno de los principales problemas que se tiene para este control es la dificultad para modificar las leyes federales existentes, ya que las actuaciones de la autoridad deben restringirse a lo que la ley permite.

En la presente tesis se propone un procedimiento que pueda aplicarse a cualquier descarga, aunque en cada caso deberán considerarse además los límites particulares que debe cumplir legalmente.

En la actualidad, se descarga agua residual a cuerpos receptores, ya sea directamente o a través de un sistema de alcantarillado, es por ello que solo

se considera la NOM-001-ECOL-1996, ya que todas las descargas llegan con el tiempo a un cuerpo receptor.

La NOM-002-ECOL-1996 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Considera solamente las descargas al drenaje.

La NOM-003-ECOL-1997 establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusan en servicios al público. También es parcial, ya que solo considera el agua que se usa principalmente en riego después de ser tratada, cuyo volumen sea pequeño en comparación a las descargas de agua residual a cuerpos receptores de propiedad nacional.

# **CAPITULO I**

# **GENERALIDADES**

---

En la actualidad, México se enfrenta a un problema muy serio de contaminación, en virtud de que la mayor parte de sus 27 cuencas hidrológicas se encuentran altamente contaminadas, y las restantes están en proceso degenerativo a una velocidad preocupante

El control de las descargas de agua residual es un tema relativamente nuevo, ya que se empezó a normar en 1991, por lo que la legislación se ha ido adecuando a los cambios que está sufriendo el país en este rubro.

En este trabajo se propondrá una metodología para controlar a los usuarios de aguas residuales optimizando los procesos de inspección. En este capítulo, se dará una explicación de los términos involucrados en este trabajo y que se encuentran dentro de la Ley de Aguas Nacionales.

## **1.1.- Definiciones (ref. 3,4)**

### **1.1.1. Generales**

#### **Usuario**

En México, se llamará usuario a la persona física o moral que hace uso de los cuerpos de agua de propiedad federal; en el caso de Estados Unidos, un usuario es cualquier persona que emplee agua.

#### **Aguas Nacionales**

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

#### **Aguas Residuales**

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios,

domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

### **Aguas Pluviales**

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

### **Bienes Nacionales**

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

### **Cuerpo receptor**

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



Fig 1 1 Descarga de agua residual

### **Descarga**

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

### **Límite Máximo Permissible**

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

### **Carga Contaminante**

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

### **Contaminante**

Es una energía o sustancia que en lugares o en concentraciones inadecuadas, puede llegar a provocar un daño al ser humano o a su entorno

### **Parámetro**

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

### **Condiciones Particulares de Descarga**

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

### 1.1.2. Tipos de contaminantes

#### **Contaminantes Básicos**

Son aquellos compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales.

En lo que corresponde a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 "Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales" sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, total, Nitrógeno total Kjeldahl, de nitritos y de nitratos, fósforo total, temperatura y pH

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

Son aquellos microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna En lo que corresponde a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 "Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales" sólo se consideran los coliformes fecales y los huevos de helminto.

#### **Metales Pesados y Cianuros**

Son aquellos que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna En lo que corresponde a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 "Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales" sólo se consideran los siguientes. Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Niquel, Plomo, Zinc y Cianuros

### 1.1.3. Tipo de muestra

#### **Muestra Simple**

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

El volumen de cada muestra simple necesario para formar la muestra compuesta se determina mediante la siguiente ecuación. (ref. 5)

$$VMSi = VMC * (Qi/Qt)$$

Donde:

VMSi : volumen de cada una de las muestras simples "i" Litros.

VMC : volumen de la muestra compuesta necesario para realizar la totalidad de análisis de laboratorio requeridos. Litros.

Qi : caudal medido en la descarga en el momento de tomar la muestra simple. Litros por segundo.

Qt :  $\sum Qi$  hasta Qn. Litros por segundo.

#### **Muestra Compuesta**

La que resulta de mezclar el número de muestras simples, según lo indicado en la siguiente tabla (NOM-001-ECOL-1996)

<b>TABLA 1.1 FRECUENCIA DE MUESTREO</b>			
Horas por día que opera el Proceso Generador de la Descarga	Número de Muestras Simples	Intervalo entre toma de Muestras Simples (Horas)	
		Mínimo	Máximo
Menor que 4	Mínimo 2	N.E.	N.E.
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

N.E : No Especificado

#### 1.1.4. Tipo de tratamiento del agua residual

##### Tratamientos Primarios

Todos aquellos que contemplan tratamientos fisicoquímicos al agua cruda, como son: cribado, desarenado, filtrado, coagulación-floculación, sedimentación, etc.

##### Tratamientos Secundarios

Considera los sistemas biológicos de degradación de materia orgánica, como filtros biológicos, lodos activados, biodiscos, lagunas de oxidación, reactores anaerobios, etc.

##### Tratamientos Terciarios

Aquellos que tienen por objeto separar contaminantes específicos, y que se emplean como pulimento a un tratamiento secundario, como intercambio iónico, ósmosis inversa, ultrafiltración, etc

## **CAPITULO II**

# **LEGISLACIÓN EN MÉXICO**

---

Como se mencionó anteriormente, el control de la contaminación es un tema relativamente nuevo, por lo tanto, en este capítulo se hará una recopilación de la legislación que regula la descarga a cuerpos receptores de propiedad nacional, de manera que sea un marco de referencia para el resto del trabajo

### **2.1.- Organismos gubernamentales**

La Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca fue creada el 28 de diciembre de 1994 con el fin de llevar a cabo todas las acciones necesarias para cuidar y proteger el medio ambiente y tutelar el Derecho Ambiental en México

Dentro de los órganos desconcentrados que forman parte de esta Secretaría se encuentran el Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Comisión Nacional del Agua (CNA). Estos son órganos que poseen facultades normativas, de licencias y de autorizaciones.

### **2.2.- Normatividad**

La legislación sobre aguas se encuentra contenida dentro de las siguientes Leyes:

#### **Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.**

##### **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.**

Es considerada como la Ley Marco en Materia Ambiental, ya que en ella se encuentra contenida la política relativa a esta materia que deberá observarse en el país y establece los lineamientos generales en lo que concierne a protección a la atmósfera, residuos peligrosos, actividades consideradas como altamente riesgosas, agua, suelo y biodiversidad. Esta ley es reglamentaria de las disposiciones constitucionales en materia ambiental. La mayoría de los Estados de la República Mexicana tienen una Ley Ecológica Estatal muy similar

En este contexto es necesario mencionar el "Acuerdo por el que se establecen los criterios ecológicos de la calidad del agua" C-CCA-001/89 publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 13 de diciembre de 1989 y con fecha de entrada en vigor el día 14 de diciembre del mismo año.

**NOM-001-ECOL-1996 "Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales".**

Se resume la normatividad en materia de aguas la cual, es general para toda la industria. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1996 con fecha de entrada en vigor el 7 de enero de 1997, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Anteriormente existía una norma oficial mexicana en materia de aguas para cada tipo de industria. Sin embargo, la idea actual es la de ser lo más práctico posible y establecer una normatividad que sea observada de manera general.

**Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.**

Establece la forma en que se deberán administrar los recursos hídricos de propiedad federal, así como las facultades generales de la Comisión Nacional del Agua.

**Ley Federal de Derechos en Materia de Agua**

Establece las cuotas que deben pagar los usuarios de aguas nacionales por el uso de los cuerpos de agua de propiedad federal como receptores de las descargas de aguas residuales, así como los demás pagos relativos al uso de aguas nacionales

Debido al enfoque de este trabajo, sólo se tratarán los apartados que se refieran al uso, manejo, y tratamiento de las aguas residuales.

En México, la legislación sobre aguas nacionales se desprende de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos la cual, en su artículo No. 27 indica lo siguiente:

**Artículo 27:** "...La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originalmente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada ..."

" .. La Nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana ..."

" .. Son propiedad de la Nación las aguas de los mares territoriales en la extensión y términos que fije el derecho internacional, las aguas marinas interiores; las de las lagunas y esteros que se comuniquen permanentemente o intermitentemente con el mar; las de los lagos interiores de formación natural que estén ligados directamente a corrientes constantes; las de los ríos y sus afluentes directos e indirectos, desde el punto del cauce en que inicien las primeras aguas permanentes, intermitentes o torrenciales, hasta su desembocadura en el mar, lagos, lagunas o esteros de propiedad nacional; las de las corrientes constantes o intermitentes y sus afluentes directos o indirectos, cuando el cauce de aquéllas, en toda su extensión o en parte de ellas, sirva de límite al territorio nacional o a dos entidades federativas, o cuando pase de una entidad federativa a otra o cruce la línea divisoria de la República; las de los lagos, lagunas o esteros cuyos vasos, zonas o riberas, estén cruzadas por líneas divisorias de dos o más entidades o entre la República y un país vecino; o cuando el límite de las riberas sirva de lindero

entre dos entidades federativas o a la República con un país vecino: las de los manantiales que broten en las playas, zonas marítimas, cauces, 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 de los lagos y corrientes interiores en la extensión que fija la ley ..”

“...Cualesquiera otras aguas no incluidas en la enumeración anterior se considerarán como parte integrante de la propiedad de los terrenos por los que corran o en los que se encuentren sus depósitos, pero si se localizaren en dos o más predios, el aprovechamiento de estas aguas se considerará de utilidad pública, y quedará sujeto a las disposiciones que dicten los Estados . .”

“.. El dominio de la nación es inalienable e imprescriptible y la explotación, el uso o el aprovechamiento de los recursos de que se trata, por los particulares o por sociedades constituidas conforme a las leyes mexicanas, no podrá realizarse sino mediante concesiones, otorgadas por el Ejecutivo Federal, de acuerdo con las reglas y condiciones que establezcan las leyes...”

### **2.3. Protección al Ambiente**

La protección al ambiente se encuentra reglamentada dentro de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en el Título Cuarto, Capítulo III “Prevención y Control de la Contaminación del Agua y de los Sistemas Acuáticos”.

**Artículo 117, Fracción IV.** “.. Las aguas residuales de origen urbano deben recibir tratamiento previo a su descarga en ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo ..”

**Artículo 118.** “ . Los criterios para la prevención y control de la contaminación del agua serán considerados en

- I. La expedición de normas oficiales mexicanas para el uso, tratamiento y disposición de aguas residuales, para evitar riesgos y daños a la salud pública;
  
- III. Los convenios que celebre el Ejecutivo federal para entrega de agua en bloque a los sistemas usuarios o a usuarios, especialmente en lo que se refiere a la determinación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales que deban instalarse,
  
- IV. La clasificación de cuerpos receptores de descarga de aguas residuales, de acuerdo a su capacidad de asimilación o dilución y la carga contaminante que estos puedan recibir ...”

**Artículo 120.** “...Para evitar la contaminación del agua, quedan sujetos a regulación federal o local:

- I Las descargas de origen industrial;
- II Las descargas de origen municipal y su mezcla incontrolada con otras descargas;
- III. Las descargas derivadas de actividades agropecuarias;
- IV. Las descargas de desechos, sustancias o residuos generados en las actividades de extracción de recursos no renovables;
- V La aplicación de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas,
- VI Las infiltraciones que afecten los mantos acuíferos, y
- VII. El vertimiento de residuos sólidos, materiales peligrosos y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales, en cuerpos y corrientes de agua

**Artículo 123.** Todas las descargas en las redes colectoras, ríos, acuíferos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua y los derrames de aguas residuales en los suelos o su infiltración en terrenos, deberán satisfacer las normas oficiales mexicanas que para tal

efecto se expidan, y en su caso, las condiciones particulares de descarga que determine la Secretaría o las autoridades locales. Corresponderá a quien genere dichas descargas, realizar el tratamiento previo requerido.

**Artículo 127.** La Secretaría, en coordinación con la Secretaría de Salud, emitirán opinión, con base en los estudios de la cuenca y sistemas correspondientes, para la programación y construcción de obras e instalaciones de purificación de aguas residuales de procedencia industrial.

#### **2.4. Parámetros**

Las Aguas que son regresadas a su fuente original o que son vertidas en cualquier otro sitio previamente autorizado por la Comisión Nacional del Agua en los términos de la Ley de Aguas Nacionales deben cumplir con los lineamientos de calidad del agua señalados en la normatividad aplicable, de acuerdo con el grado de calidad correspondiente al destino inmediato posterior.

#### **2.5. Monitoreo**

En la Norma NOM-001-ECOL-1996 "Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales", se establece lo siguiente:

" ...4.8 El responsable de la descarga queda obligado a realizar el monitoreo de las descargas de aguas residuales para determinar el Promedio diario y mensual. La periodicidad de análisis y reportes se indican en la Tabla 2.1 para descargas de tipo municipal y en la Tabla 2.2 para descargas no municipales. En situaciones que justifiquen un mayor control, como protección de fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, emergencias hidroecológicas o procesos productivos fuera de control, La Comisión Nacional del Agua podrá modificar la periodicidad de análisis y reportes. Los registros del monitoreo deberán mantenerse para su consulta por un periodo de tres años posteriores a su realización.

TABLA 2.1. 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

TABLA 2.2. DESCARGAS NO MUNICIPALES			
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO <sub>5</sub> (toneladas/día)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (toneladas/día)	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de 3.0	mayor de 3.0	MENSUAL	TRIMESTRAL
de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0	TRIMESTRAL	SEMESTRAL
menor de 1.2	menor de 1.2	SEMESTRAL	ANUAL

Los parámetros a ser considerados en el muestreo, análisis y reporte son los que se indican en la Tabla I del artículo 278-B de la Ley Federal de Derechos. potencial Hidrógeno (pH), Grasas y Aceites, Sólidos Suspendidos Totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno Total (DBO<sub>5</sub>), Nitrógeno Total, Fósforo Total, Coliformes fecales y Arsénico, Cadmio, Cianuros, Cobre, Cromo, Mercurio, Niquel, Plomo

**Artículo 278-B.** " . El volumen de agua residual y las concentraciones de contaminantes descargados al cuerpo receptor se determinarán trimestralmente, conforme a lo siguiente:

I. Volumen

- a) Cuando el caudal de la descarga se efectúe en forma continua, intermitente o fortuita, y sea igual o mayor a **9,000 metros cúbicos** en un trimestre, el contribuyente deberá instalar medidores totalizadores o de registro continuo en cada una de las descargas de agua residual. El

volumen de cada descarga corresponderá a la diferencia entre la lectura tomada el último día del semestre de que se trate y la lectura efectuada el último día del trimestre anterior.

b) Cuando el caudal de descarga sea continuo, intermitente o fortuito, el usuario podrá optar entre instalar medidores o efectuar cada trimestre bajo su responsabilidad la determinación del volumen con otros dispositivos de aforo. Dicha determinación se deberá manifestar bajo protesta de decir verdad en la declaración correspondiente.

II. Concentración promedio de contaminantes:

El responsable de la descarga tendrá la obligación de realizar el muestreo y análisis de la calidad de agua descarga, en muestras de cada una de sus descargas que reflejen cuantitativa y cualitativamente el proceso más representativo de las actividades que den origen a la descarga y por todos los contaminantes que genere, previstos en sus condiciones particulares de descarga o a falta de éstas, los establecidos en esta Ley.

El contribuyente determinará conforme al promedio de las muestras tomadas, la concentración promedio de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros en su descarga, en miligramos por litro.

En el caso de que el agua de abastecimiento registre alguna concentración promedio mensual de los parámetros referidos en la tabla 1 del presente artículo, se podrá restar de la concentración de la descarga, siempre y cuando se notifique por escrito a la Comisión Nacional del Agua Una vez determinada las concentraciones de los contaminantes básicos, metales pesados y cianuros, expresados en miligramos por litro o en las unidades respectivas, se compararán con los valores correspondientes a los límites máximos permisibles, por cada contaminante establecido en sus condiciones particulares de descarga y a falta de éstas, las que se

establecen en este Capítulo. En caso de que las concentraciones sean superiores a dichos límites, se causará el derecho, por el excedente del contaminante correspondiente.

TABLA I

## CUERPOS RECEPTORES

PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	TIPO A			TIPO B					TIPO C
	Ríos con uso de riego agrícola, Acuíferos	Aguas costeras con explotación pesquera, navegación y otros usos	Suelo con uso en riego agrícola	Ríos con uso público urbano, Acuíferos	Embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola	Aguas costeras con uso en recreación	Estuarios	Humedades naturales	Ríos con uso en protección de vida Acuática, embalses naturales con uso público urbano, Acuíferos
	P.M.	P.M.	P.M.	P.M.	P.M.	P.M.	P.M.	P.M.	P.M.
Grasas y Aceites	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Sólidos Suspendidos Totales	150	150	N.A.	75	75	75	75	75	40
Demanda Bioquímica de Oxígeno	150	150	N.A.	75	75	75	75	75	30
Nitrógeno Total	40	N.A.	N.A.	40	40	N.A.	15	N.A.	15
Fósforo Total	20	N.A.	N.A.	20	20	N.A.	5	N.A.	5
Arsénico (*)	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
Cadmio (*)	0.2	0.1	0.05	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
Cianuros (*)	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1
Cobre (*)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4
Cromo (*)	1.0	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5
Mercurio (*)	0.01	0.01	0.005	0.005	0.01	0.01	0.01	0.005	0.005
Níquel (*)	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Plomo (*)	0.5	0.2	5	0.2	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2
Zinc (*)	10	10	10	10	10	10	10	10	10

(\*) Medidos de manera total

N.A. No Aplica

P.M. Promedio Mensual

Para los efectos de la Tabla I, se entiende que la concentración de los contaminantes Arsénico, Cadmio, Cianuros, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc debe ser considerada en forma total.

Para coliformes fecales, si la descarga presenta un valor que supere el límite máximo permisible de 1,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 mililitros, se causará el derecho conforme a las disposiciones del presente Capítulo.

Para el potencial Hidrógeno (pH), si la descarga presenta un valor superior a 10 o inferior a 5 unidades, se causará el derecho conforme a las disposiciones del presente Capítulo.

## **2.6. Métodos de Prueba**

Para la toma de muestras y la determinación de los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en este procedimiento, se deberán aplicar los métodos de prueba indicados a continuación.

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los Límites Máximos Permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1997.

Norma Mexicana NMX-AA-03. Aguas residuales- Muestreo, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de marzo de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-05 Aguas- Determinación de grasas y aceites. Método de extracción soxhlet, publicada en el Diario Oficial de la federación el 8 de agosto de 1980

Norma Mexicana NMX-AA-08. Aguas- Determinación de pH - Método potenciométrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de marzo de 1980

Norma Mexicana NMX-AA-26. Aguas- Determinación de nitrógeno total- Método Kjeldahl, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de octubre de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-28. Aguas- Determinación de demanda bioquímica de oxígeno - Método de incubación, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de julio de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-29. Aguas- Determinación de fósforo total - Método espectrofotométrico, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 21 de octubre de 1981

Norma Mexicana NMX-AA-34. Aguas - Determinación de sólidos en agua - Método gravimétrico, publicado .en el Diario Oficial de la Federación el 3 de julio de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-42. Aguas - determinación del número más probable de coliformes totales y fecales Método de tubos múltiples de fermentación, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 22 de junio de 1987.

Norma Mexicana NMX-AA-46 Aguas - Determinación de arsénico en agua - Método espectrofotométrico, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 21 de abril de 1982

Norma Mexicana NMX-AA-51. Aguas - Determinación de metales - Método espectrofotométrico de absorción atómica, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 22 de febrero de 1982

Norma Mexicana NMX-AA-57. Aguas - Determinación de plomo - Método de la ditizona, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de septiembre de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-58. Aguas - Determinación de cianuro - Método colorimétrico y titulométrico, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 14 de diciembre de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-60. Aguas - Determinación de cadmio - Método de la ditizona, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de abril de 1982.

## **2.7. Inspección y Vigilancia**

Estas actividades están contempladas dentro del Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales en el Título Décimo, Capítulo I "Inspección y Vigilancia". Asimismo, se establece cuál es el Organismo encargado de llevarlas a cabo y sus atribuciones.

**Artículo 182.** "... La Comisión Nacional del Agua podrá solicitar la documentación e información necesaria o efectuar visitas de inspección para vigilar el cumplimiento de las disposiciones legales y reglamentarias aplicables ..."

**Artículo 183.** "... Las visitas de inspección se efectuarán conforme a lo siguiente

- I. El personal autorizado, al realizar las visitas de inspección, deberá presentar la orden escrita, debidamente fundada y motivada, expedida

por autoridad competente, en la que se precisará el lugar o zona que habrá de inspeccionarse, el objeto de la diligencia y alcance de ésta;

- II. El personal autorizado, al iniciar la inspección se identificará debidamente con el documento oficial que lo acredite como inspector o auditor, exhibirá la orden respectiva y le entregará copia de la misma, requiriéndolo para que en el acto designe dos testigos. En caso de negativa o de que los designados no acepten fungir como testigos, el personal autorizado podrá designarlos, haciendo constar esta situación en el acta administrativa que al efecto se levante, sin que esta circunstancia invalide los efectos de la inspección,
- III. El visitado con quien se entiende la diligencia estará obligado a permitir al personal autorizado el acceso al lugar o lugares sujetos a la inspección, en los términos previstos en la orden escrita a que se hace referencia en la fracción I de este artículo, así como a proporcionar toda clase de información y documentación que conduzca a la verificación del cumplimiento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, el Reglamento de Aguas Nacionales y demás disposiciones legales y jurídicas, competencia de la Comisión Nacional del Agua.
- IV. La Comisión Nacional del Agua podrá solicitar conforme a la Ley el auxilio de la fuerza pública para efectuar la visita de inspección, cuando alguna o algunas personas obstaculicen o se opongan a la práctica de la diligencia, independientemente de las sanciones a que haya lugar;
- V. En toda visita de inspección se levantará acta, en la que se hará constar en forma circunstanciada los hechos u omisiones que se hubiesen presentado durante la diligencia.

- VI. Al concluirse la inspección, se dará oportunidad al visitado para manifestar lo que a su derecho convenga, en relación con los hechos asentados en el acta. A continuación se procederá a firmar el acta por el visitado, por los testigos y por el personal autorizado, quien entregará copia del acta a los interesados. Si el visitado o los testigos, se negaren a firmar el acta o se negaren a aceptar copia de la misma, dichas circunstancias se asentarán en ella, sin que esto afecte su validez y valor probatorio; una vez concluida la diligencia, el visitado tendrá un término de 15 días hábiles para que manifieste por escrito lo que a su derecho convenga respecto de dicha acta y ofrezca pruebas en relación con los hechos y omisiones que en la misma se asientan;
- VII. En caso de que se requieran la adopción de medidas correctivas de urgente aplicación, La Comisión Nacional del Agua notificará al visitado mediante requerimiento debidamente fundado y motivado para que las realice, otorgando un término de 10 días hábiles para que manifieste lo que a su derecho convenga;
- VIII. Se tendrán por consentidos los hechos y omisiones consignados en las actas de inspección, si transcurrido el plazo a que se refiere la fracción anterior, el visitado no presenta documentos o pruebas que desvirtúen los hechos u omisiones que se asientan en el acta de inspección;
- IX. Una vez escuchado el visitado, recibidas y desahogadas las pruebas que ofreció, o en caso de que no haya hecho dentro del plazo mencionado uso del derecho que le conceden las fracciones VI y VII de este artículo, La Comisión Nacional del Agua dictará la resolución administrativa que corresponda, debidamente fundada y motivada, misma que se notificará al interesado, y

- X. Las notificaciones para estos fines serán personales y cumplirán con lo que establece el presente Reglamento...”

### **2.8. Sanciones Administrativas**

Estas se encuentran dentro de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en su Capítulo IV, Título Sexto: “Medidas de Control y Seguridad y Sanciones”

**Artículo 171.** “ ..Las violaciones a los preceptos de esta Ley , sus reglamentos y las disposiciones que de ella emanen serán sancionadas administrativamente por la Secretaría de Marina, Recursos Naturales y Pesca, con una o más de las siguientes sanciones:

- I. Multa por el equivalente de veinte a veinte mil días de salario mínimo general vigente en el Distrito Federal en el momento de imponer la sanción;
- II. Clausura temporal o definitiva, total o parcial, cuando:
  - a) El infractor no hubiere cumplido en los plazos y condiciones impuestos por la autoridad, con las medidas correctivas o de urgente aplicación ordenadas;
  - b) En casos de reincidencia cuando las infracciones generen efectos negativos al ambiente, o
  - c) Se trate de desobediencia reiterada, en tres o más ocasiones, al cumplimiento de alguna o algunas medidas correctivas o de urgente aplicación impuestas por la autoridad.
- III. Arresto administrativo hasta por treinta y seis horas

V La suspensión o revocación de las concesiones, licencias, permisos o autorizaciones correspondientes.

Si una vez vencido el plazo concedido por la autoridad para subsanar la o las infracciones que se hubieren cometido, resultare que dicha infracción o infracciones aún subsisten, podrán imponerse multas por cada día que transcurra sin obedecer el mandato, sin que el total de las multas exceda del monto máximo permitido, conforme a la fracción I de este artículo.

En el caso de reincidencia, el monto de la multa podrá ser hasta por dos veces del monto originalmente impuesto, sin exceder del doble del máximo permitido, así como la clausura definitiva.

Se considera reincidente al infractor que incurra más de una vez en conductas que impliquen infracciones a un mismo precepto, en un período de dos años, contados a partir de la fecha en que se levante el acta en que se hizo constar la primera infracción, siempre que ésta no hubiese sido desvirtuada.

Asimismo, dentro de la Ley de Aguas Nacionales se trata el tema en el Capítulo I del Título Décimo "Infracciones, Sanciones y Recursos":

**Artículo 119.** La Comisión Nacional del Agua sancionará, conforme a lo previsto por esta ley, las siguientes faltas:

"...I Descargar en forma permanente, intermitente o fortuita aguas residuales en contravención a lo dispuesto en la presente ley en cuerpos receptores que sean bienes nacionales, incluyendo aguas marinas, así como cuando se infiltren en terrenos que sean bienes nacionales o en otros terrenos cuando puedan contaminar el subsuelo o el acuífero, sin perjuicio de las sanciones que fijen las disposiciones sanitarias y de equilibrio ecológico y protección al ambiente,

- II. Explotar, usar o aprovechar aguas nacionales residuales sin cumplir con las normas oficiales mexicanas en materia de calidad y condiciones particulares establecidas para tal efecto,
- X. Impedir las visitas, inspecciones y reconocimientos que realice La Comisión Nacional del Agua en los términos de esta ley y de su reglamento;
- XII Utilizar volúmenes de agua mayores que los que generan las descargas de aguas residuales para diluir y así tratar de cumplir con las normas oficiales mexicanas en materia ecológica o las condiciones particulares de descarga;
- XIV. Arrojar o depositar, en contravención a la ley, basura, sustancias tóxicas peligrosas y lodos provenientes de los procesos de tratamiento de aguas residuales, en ríos, cauces, vasos, aguas marinas y sustancias que contaminen las aguas del subsuelo;.. ”

**Artículo 120.** Las faltas a que se refiere el artículo anterior serán sancionadas administrativamente por la Comisión Nacional del Agua, con multas que serán equivalentes a los siguientes días de salario mínimo general vigente en el área geográfica y en el momento en que se cometa la infracción:” ..

II. 100 a 1000, en el caso de violación a las fracciones II,X, y

III. 500 a 10,000, en el caso de violación a las fracciones I, XII y XIV.. ”

**Artículo 122.** “ En los casos de las fracciones I y XII del artículo 119, así como en los casos de reincidencia en cualquiera de las fracciones del artículo citado, La Comisión Nacional del Agua podrá imponer

adicionalmente la clausura temporal o definitiva, parcial o total de los pozos y de las obras o tomas para la extracción o aprovechamiento de aguas nacionales.

## **CAPITULO III**

# **PROCEDIMIENTO DE MUESTREO EN MEXICO**

---

### **3.1.- Procedimiento técnico actual (ref.4)**

#### **3.1.1.- Material.**

##### **3.1.1.1.- Recipientes.**

Un recipiente muestreador debe reunir las siguientes características. Debe ser material inerte al tipo de agua que se vaya a muestrear, estar provisto de un mecanismo que permita el muestreo a diferentes profundidades y su capacidad debe ser tal, que la muestra sea representativa del estrato o nivel muestreado. Generalmente se emplean baldes o cubetas de plástico para análisis fisicoquímicos y metales pesados, y, en el caso de análisis bacteriológicos, fenoles, grasas y aceites, se muestrean directamente en el recipiente.

Los recipientes para las muestras deben ser de materiales inertes al contenido de las mismas. En caso de que los recipientes para muestras a las que se les va a efectuar análisis bacteriológico debe ser de materiales resistentes a las presiones y temperaturas requeridas para la esterilización.

La capacidad de los recipientes para las muestras debe ser mínimo de 3 litros para muestras a las que se les va a determinar parámetros fisicoquímicos entre los que se incluyan además de otros, los siguientes: determinación de DBO, nitrógeno orgánico, total y/o amoniacal por el método de Kjeldahl y determinación de boro.

También para la realización de análisis especiales, los recipientes deben tener la capacidad mínima de 3 litros, en especial si se requiere concentrar la muestra para la determinación de trazas o partes por billón (ppb) de un compuesto o elemento específico. Este criterio es válido tanto para las muestras líquidas como para las muestras semisólidas (lodos y sedimentos) asociadas con los cuerpos receptores.

En el caso de los recipientes para análisis bacteriológicos, la capacidad no debe ser mayor de 250 ml.

Para muestras de grasas y aceites, fenoles y compuestos orgánicos se deben utilizar envases de cristal.

Para contaminantes como el hierro y cianuro que se oxidan en la presencia de luz solar se utiliza cristal de color ámbar.

Para compuestos volátiles orgánicos se utilizan envases de cristal con tapas forradas de teflón.

Los envases de plástico son más fáciles de manejar y es más difícil que se rompan, por lo que se prefiere utilizarlos cuando no se necesite usar cristal. Sin embargo, si los envases se volverán a utilizar, es probablemente más fácil limpiar los envases de cristal.

Todos los envases deben estar bien lavados antes de ser utilizados; el procedimiento general es lavarlos con agua caliente y detergente, enjuagarlos con agua corriente, volverlos a enjuagar con agua libre de compuestos orgánicos y enjuagarlos por tercera vez con un disolvente que no cree interferencias, como la acetona; por último habrá que secarlos. El método de limpieza que se use dependerá de la muestra que se vaya a recoger, por lo que se debe contactar al laboratorio que llevará a cabo los análisis para obtener las instrucciones de lavado necesarias. Algunos laboratorios facilitan envases ya lavados



Fig. 3.1. Frascos con agua residual después del muestreo

### 3.1.1.2.- Tapas y Cierres.

Las tapas deben proporcionar un cierre hermético en los recipientes (de ser posible buscar aquéllas que están provistas de corcho o película selladora), y ser de material afín al del recipiente. Es decir, deben ser también inertes al contenido de las muestras y en el caso de los recipientes para análisis bacteriológicos, deben también ser de materiales resistentes a las presiones y temperaturas requeridas para la esterilización.

Adicionalmente, las tapas de los frascos para análisis bacteriológicos deben estar cubiertas exteriormente con papel aluminio o con papel estraza esterilizado al mismo tiempo que el frasco y la tapa. En el caso de botellas con tapón esmerilado se coloca una tira de papel entre la tapa y el cuello de la botella para que sea fácil abrirla al momento de muestrear.

Por lo que toca a análisis especiales como trihalometanos, gasolinas, etc., las tapas deben llevar el mismo pretratamiento que los frascos y deben recubrirse interiormente con materiales inertes al contenido de las muestras, según la determinación a realizarse.

### 3.1.1.3.- Pretratamiento y/o limpieza

Los envases para análisis fisicoquímicos deben estar perfectamente limpios, libres de cualquier residuo químico, enjuagados y luego enjuagarlos con el agua que se va a muestrear, además estarán debidamente identificados

Es recomendable limpiar los envases de acuerdo al tipo de muestra que se va a tomar:

**Grasas y Aceites:** Se deberán enjuagar con un solvente y secarlos al aire.

**Fosfatos:** Enjuagarse con agua acidulada y después con agua destilada.

**Bacteriológicos:** Los frascos deben estar estériles, de ser las aguas cloradas (aguas potables) se debe adicionar al frasco antes de esterilizar 0.1 ml de Tiosulfato de Sodio  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  al 10% por cada 100 ml. de muestra. Esto se realiza para neutralizar la acción del cloro residual.

**Detergentes:** Lavar el frasco con una solución de mezcla crómica. Una vez limpio enjuagarla con agua acidulada y posteriormente con agua destilada.

Es importante que los envases de muestreo para estos parámetros sean de uso exclusivo.

### 3.2. Objetivo del muestreo

Aunque las inspecciones sirven para indicar qué contaminantes pueden estar presentes en el agua residual descargada, no proporcionan información específica y definitiva. Para determinar los tipos y concentraciones de estos contaminantes, es necesario tomar muestras de la misma. Esta información específica puede utilizarse para:

- a) Decidir qué contaminantes hay que controlar. Por ejemplo, la información sobre los contaminantes presentes en una descarga puede utilizarse para decidir qué parámetros deben vigilarse y los tipos de tecnología que posiblemente se necesitan para reducir la concentración de los mismos.
- b) El conocimiento de las concentraciones de los contaminantes presentes sirve para distinguir las aguas residuales de una instalación de entre las muchas instalaciones que realizan descargas en una planta de tratamiento común.
- c) Determinar el impacto de dichas aguas en los procesos y funcionamiento de la planta que trata las aguas residuales descargadas.
- d) Decidir si la importancia de un contaminante en particular merece una vigilancia más frecuente de las descargas.
- e) Si ya existe un programa de pretratamiento, dicha toma de muestras sirve para establecer el grado de cumplimiento del usuario respecto a sus límites de descarga.
- f) Apoyar cualquier acción coercitiva necesaria.
- g) Si un usuario vigila sus propias descargas, el muestreo sirve para comprobar la exactitud de dicha tarea.

El muestreo puede llevarse a cabo durante la inspección de las instalaciones o independientemente de ésta. Para asegurar la calidad de la información obtenida es importante que los inspectores tomen muestras representativas, utilizando las técnicas apropiadas y protegiendo la integridad de las mismas mediante un manejo, conservación y documentación adecuados.

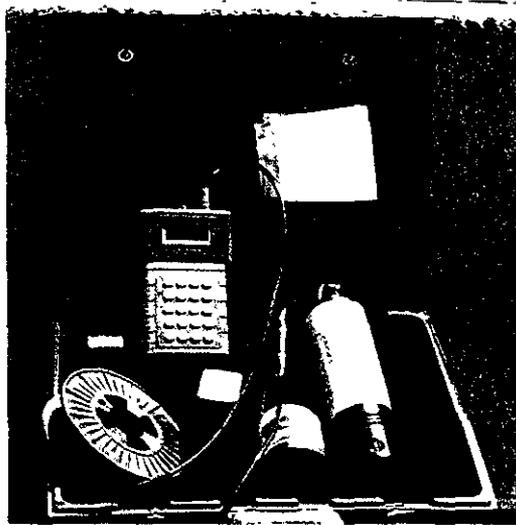


Fig. 3.2. Equipo multianalizador de campo, que es Capaz de medir Conductividad, pH, Temperatura, Oxígeno Disuelto, Velocidad en Canales e Iones Específicos

### 3.3. Frecuencia de la Toma de Muestras

La frecuencia del muestreo depende del cumplimiento de la instalación en el pasado, el volumen y la concentración de las descargas y el efecto que éstas puedan tener en el medio ambiente, la planta de tratamiento y la salud humana. Como mínimo es necesario tomar muestras anualmente; aunque esto no es suficiente para la mayoría de las industrias, de preferencia se deben tomar muestras al menos cuatro veces al año

(trimestralmente), siempre que sea posible, con el fin de obtener información actualizada sobre sus descargas y evaluar su grado de cumplimiento.

#### **3.4. Preparación y Aplicación de los Procedimientos de Muestreo**

Es importante estar preparados antes de trasladarse a las instalaciones del usuario, de forma que se tenga todo el equipo y el personal esté listo para tomar el tipo de muestras que se necesite. Deben establecerse y seguirse procedimientos generales de muestreo para todas las instalaciones tomando en cuenta la situación específica de cada industria, es decir, los parámetros que hay que medir, el lugar de muestreo y las consideraciones que hay que tener presentes en materia de seguridad. Entre dichos procedimientos se encuentran:

- a) La decisión sobre los tipos de muestra que van a tomarse, los volúmenes y envases de las mismas.
- b) Los métodos de conservación que se utilizarán para cada parámetro.
- c) Los procedimientos que se seguirán para identificar y documentar las muestras.

Es necesario, antes de trasladarse a las instalaciones decidir el lugar de muestreo y los contaminantes que se van a detectar, ya que ello determina el equipo que se necesita, los tipos de muestras que se realizarán, así como los envases, volúmenes y los métodos de preservación apropiados; si es la primera vez que se toman muestras en las instalaciones, se deberán revisar otros antecedentes pertinentes (como informes de inspección) para así conocer qué tipos de contaminantes pueden estar presentes en las descargas. Si no existen antecedentes sobre la instalación, es necesario

llevar a cabo una inspección para decidir qué tipos de contaminantes hay que medir en las muestras.

### **3.5. Coordinación con Laboratorios de Análisis**

Las personas que tomen las muestras deben coordinar sus actividades con el laboratorio que lleve a cabo los análisis, éste facilitará información sobre el tipo y volumen de muestra que se necesita para analizar contaminantes específicos, así como sobre los métodos de conservación, tiempo máximo de retención antes del análisis y forma de remisión al laboratorio. Los laboratorios también pueden proveer el equipo necesario como medidores de pH, envases, formularios de cadena de custodia que es una hoja donde se anota la fecha y la hora en que se entrega la muestra, quién la recibe y en qué estado (para asegurar su integridad física), etiquetas y precintos.

### **3.6. Preparación de Equipo de Seguridad y de Muestreo**

Antes de trasladarse a un lugar para tomar muestras es necesario reunir, limpiar y calibrar el estado del equipo de seguridad, así como del equipo necesario para el muestreo. Antes de iniciar el viaje debe prepararse la mayor parte del papeleo, esto incluye:

- a) Etiquetas de envases
- b) Formularios de cadena de custodia
- c) Solicitudes a presentar al laboratorio

Las personas que tomen las muestras deben tomar las precauciones necesarias basándose en la información que exista en los archivos sobre la empresa. Las medidas de seguridad a tomar son:

- a) Usar pantalones largos u overoles
- b) Usar guantes y lentes de seguridad
- c) Usar casco en ciertas áreas, como en registros de inspección o donde exista equipo pesado. El material del casco debe ser plástico o aluminio. Este último, siempre y cuando no existan equipos eléctricos de alta tensión cercanos como por ejemplo, transformadores o tableros de arranque de bombas.
- d) Usar chalecos reflectores, conos y barreras de tráfico si el muestreo se realiza en un lugar donde existe tráfico de vehículos
- e) Usar botas reforzadas, de suela dieléctrica con punta de acero, siempre y cuando no existan instalaciones eléctricas cercanas.



Figura 3.3 Equipo de seguridad para muestreo que incluye bata, botas de hule, guantes de cirujano desechables, casco, goggles, cubrebocas y mascarilla para muestreo en lugares cerrados.

- f) Al tomar muestras en recintos reducidos deben estar presentes al menos dos personas, comprobar que existe suficiente oxígeno y que no hay gases tóxicos o explosivos presentes. La persona que entre al recinto reducido debe portar un arnés de seguridad el cual debe ir atado a un sistema de rescate. Esto permitirá sacar a la persona sin que tenga que entrar nadie más en el lugar.

- g) Se deben realizar análisis de la atmósfera a diferentes niveles, debido a que los gases tóxicos o explosivos pueden estar presentes, dependiendo de si son más ligeros o más pesados que el aire. Estos análisis deben realizarse durante todo el tiempo que los trabajadores permanezcan en el recinto.
  
- h) En algunos casos puede ser necesario ventilar el recinto antes de entrar. La ventilación se llevará a cabo durante todo el tiempo que los trabajadores se encuentren en el lugar.

### **3.7. Lugar de Muestreo**

El lugar donde se tomen las muestras debe ser representativo de las descargas de la instalación. Si la instalación tiene más de un punto de descarga, se toman en cuenta la comodidad, accesibilidad y seguridad del lugar. Algunos lugares apropiados para el muestreo son:

- a) Registros de inspección.
  
- b) Tanques de Proceso.
  
- c) Válvula de Purga de la Tubería de Descarga del agua residual.

La muestra debe tomarse en el centro de la corriente, con el envase orientado hacia la misma a fin de impedir su contaminación en áreas donde exista turbulencia y las aguas estén bien mezcladas, esto para asegurar que el asentamiento de sólidos sea mínimo.



Fig. 3.4. Personal con equipo de seguridad muestreando agua residual

### **3.8. Tipos de Muestras**

Existen dos tipos básicos de muestras, muestras instantáneas y muestras compuestas.

#### **3.8.1. Muestras instantáneas.**

Son muestras individuales recogidas en un período de tiempo no mayor de 15 minutos. Representan las características de las aguas residuales únicamente en el momento del muestreo, dichas muestras normalmente se recogen manualmente, pero pueden ser recogidas por un muestreador automático. Este tipo de muestras pueden ser apropiadas en caso de descargas intermitentes, condiciones homogéneas de descarga, para averiguar si existe un contaminante en particular, si la descarga presenta características extremas y cuando los contaminantes pueden cambiar o

descomponerse en el período necesario para tomar muestras compuestas (como es el caso del pH, cianuro, fenoles totales y compuestos volátiles orgánicos). También pueden utilizarse cuando se toman muestras de grasas y aceites, ya que tienden a adherirse al equipo.

### **3.8.2. Muestras Compuestas.**

Se recogen a lo largo de un cierto período de tiempo (ya sea combinando varias muestras instantáneas o tomando muestras continuamente). Reflejan las características de las aguas residuales durante el período del muestreo. Las muestras compuestas pueden ser proporcionales al flujo de la corriente o al tiempo empleado para tomarlas.

#### **3.8.2.1. Muestras compuestas proporcionales a la corriente.**

El volumen de la muestra es proporcional a la corriente en el momento en que se toma la muestra. Se recogen varios volúmenes de muestras proporcionales al flujo de la corriente en el mismo intervalo de tiempo o bien, un volumen constante por unidad de corriente. Este es el método que actualmente se usa para controlar las descargas de agua residual.

#### **3.8.2.2. Muestras compuestas con relación al tiempo.**

Son volúmenes constantes recogidos en un mismo envase a intervalos de tiempo iguales.

Las muestras compuestas pueden ser necesarias para conocer las características promedio de las corrientes, especialmente si existe una concentración de contaminantes muy variable o si el flujo de la descarga no es constante. Las muestras compuestas deben tomarse durante todo el período que la instalación esté en funcionamiento y realizando descargas.

### **3.9. Equipo para la toma de muestras**

Tanto las muestras instantáneas como las compuestas pueden ser tomadas con equipo manual o automático, que son equipos que se colocan en el sitio que se va a muestrear, programándose para que automáticamente bombeen agua residual a un recipiente y conformen una muestra compuesta, este método es recomendable cuando los gastos y la calidad de la descarga que se va a muestrear son continuos y no varían mucho, aunque no son recomendables para ciertos contaminantes como grasa y aceites, así como compuestos volátiles orgánicos, ya que la grasa y el aceite se adhieren a las paredes del tubo del toma muestras y se puede introducir aire en las muestras de compuestos volátiles orgánicos

Existen ventajas y desventajas respecto al uso de muestreadores automáticos. La toma manual requiere de una mínima cantidad de equipo pero mucha mano de obra. Los muestreadores automáticos ahorran tiempo, especialmente si hay que tomar muestras de varios lugares, y ayudan a evitar errores humanos, así como que las personas estén expuestas a ambientes que puedan ser peligrosos. Sin embargo, dichos muestreadores son caros y requieren mantenimiento. El uso de un método u otro dependerá de si se dispone del equipo y personal necesario, así como del tipo de contaminantes. Independientemente del método que se utilice; es esencial limpiar el equipo adecuadamente antes de utilizarlo, lo que generalmente implica lavarlo con agua caliente y detergente, enjuagarlo varias veces con agua corriente y volverlo a enjuagar con agua destilada.

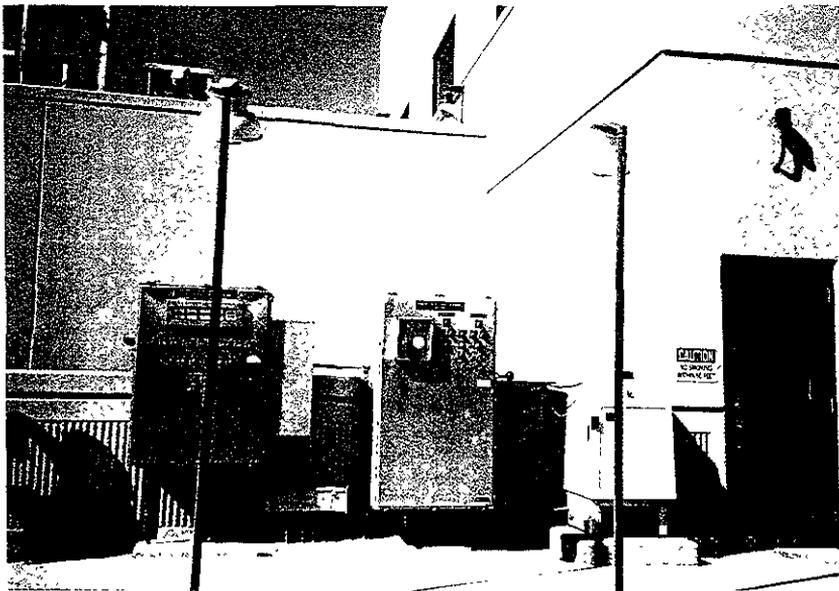


Fig 3.5. Muestreador automático en la planta de tratamiento de agua residual en San Diego, Cal.



Fig 3 6 Personal muestreando en un canal

### **3.10. Volumen de las Muestras**

Los volúmenes de las muestras dependen del número de análisis que se van a realizar. La persona que tome las muestras deberá ponerse en contacto con el laboratorio o persona que va a analizarlas para averiguar el volumen necesario.

### **3.11. Conservación de Muestras y Período de Retención antes del Análisis**

Muchos contaminantes son inestables, por lo que su composición puede alterarse antes del análisis. Si no es posible realizar el análisis inmediatamente es necesario conservar la muestra para evitar un cambio apreciable en la concentración de los contaminantes. Existen tres tipos básicos de conservación:

- a) Refrigeración. Se logra enfriando las muestras a 4 °C, ya sea en un refrigerador o poniéndolas sobre hielo. Dicho proceso frena la actividad biológica y la volatilización de los gases y sustancias orgánicas. Si se toman muestras compuestas deberán enfriarse a la temperatura de 4 °C durante el período de toma de las mismas y deberán refrigerarse durante su transporte al laboratorio de análisis.
- b) Ajuste del pH. Consiste en la adición de un ácido o base fuertes para fijar la muestra en un pH, lo más común es obtener un  $\text{pH} < 2$ .
- c) Fijación Química. Para el análisis de algunos parámetros, se requiere la adición de una sustancia química que evite que las especies que se van a analizar cambien químicamente.

Incluso aunque se realice la conservación adecuada es necesario analizar las muestras dentro de cierto período de tiempo. El tiempo de retención es el período máximo permitido desde el momento en que se toma la muestra.

hasta el momento en que es analizada. Si se están tomando muestras compuestas dicho tiempo deberá empezar a contar desde el momento en que se añade la última parte alícuota a la mezcla; la realización de los análisis dentro del período de retención permite asegurar la representación y validez de los resultados que se obtengan.

### **3.12. Toma de Muestras y Métodos de Conservación para Contaminantes Específicos**

#### **3.12.1. Muestras de Metales, incluyendo Cobre, Cadmio, Cromo, Plomo, Níquel, Zinc y Mercurio.**

Se pueden utilizar envases de plástico o cristal para tomar muestras de metales. Dichos envases deberán lavarse con ácido nítrico suprapuro y enjuagarse con agua destilada. Se tomará 1 litro de muestra y se conservará la muestra con ácido nítrico suprapuro a un pH menor a 2. Las muestras de metales conservadas de esta forma pueden retenerse hasta por 6 meses, pero las de mercurio solamente pueden retenerse durante 28 días. Las muestras de cromo hexavalente se conservan enfriándolas a 4 °C y deben analizarse en menos de 24 horas.

#### **3.12.2. Muestras de Compuestos Volátiles Orgánicos, incluyendo Benceno, Tetracloruro de Carbono, Tricloroetileno y Tolueno**

Se utilizan tubos de cristal de 40 ml., sellados con un diafragma revestido de teflón. Se deben recoger muestras sin burbujas de aire, para que los compuestos orgánicos no se volatilicen en el espacio aéreo. Es difícil llenar completamente el tubo cuando se toma la muestra directamente de la corriente, por lo que podrá tomarse en una botella de cristal limpia y luego transferirse al tubo.

### **3.12.3. Muestras de Grasas y Aceites**

Los análisis de grasas y aceites miden cualquier contaminante recuperado en el disolvente que lo extrae, en vez de la cantidad absoluta de una sustancia específica. Entre los contaminantes que se recuperan y se miden usando este método de análisis se encuentran los componentes de azufre y los tintes orgánicos.

Pueden usarse varios métodos para analizar grasas y aceites, dependiendo de si se mide el total del aceite o fracciones de aceite animal, vegetal o de petróleo. Por regla general las muestras de aceite y grasa deben tomarse en envases de un litro con boca ancha y cuya tapa esté revestida de teflón o de papel aluminio. Debido a que las grasas y aceites se adhieren a las paredes del equipo y a los envases, se deben tomar muestras instantáneas manualmente. Las muestras se conservan utilizando ácido sulfúrico para reducir el pH a un valor menor a 2, y son enfriadas a 4°C. Dichas muestras pueden retenerse hasta 28 días antes de ser analizadas.

### **3.12.4. Muestras de cianuros**

El cianuro es muy inestable, por lo que las muestras del mismo deben analizarse cuanto antes después de su toma, las muestras rápidas pueden tomarse en botellas de plástico o de cristal; si no se pueden realizar los análisis inmediatamente, se conservarán las muestras con Hidróxido de Sodio a un pH mayor a 12. Si existe sulfuro se añadirá a la muestra nitrato de cadmio en polvo, en cuyo caso habrá que filtrar la muestra antes de añadir el hidróxido de sodio. Las muestras conservadas deben guardarse en una botella oscura a 4 °C. El tiempo máximo de retención de una muestra de cianuro debidamente conservada es de 14 días.

### **3.12.5. Compuestos Orgánicos y Plaguicidas, incluyendo Aldrin, Chlordano y Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)**

Es necesario tomar muestras instantáneas en envases de cristal en el caso de compuestos orgánicos y pesticidas. Si se utilizan muestreadores automáticos, las muestras se pondrán en envases de cristal mediante tubos de teflón. Los métodos específicos de conservación y períodos de retención pueden variar dependiendo del grupo de compuestos orgánicos o pesticidas que se analicen.

### **3.12.6. pH**

Debido a que el pH de una muestra puede cambiar incluso en períodos de retención muy cortos y no existen métodos para su conservación, este parámetro hay que medirlo en el terreno. Se necesita un volumen mínimo de muestra de 100 ml .

Si se utiliza un medidor de pH habrá que calibrarlo con dos indicadores que abarquen el rango que se espera que tenga el pH de la muestra



Fig 3.7. Personal de la CNA empleando el multianalizador de campo

#### 3.12.7. Fenoles

Las muestras de fenol deben tomarse en envases de cristal. Dichas muestras se conservan añadiendo ácido sulfúrico a fin de obtener un pH por debajo de 2 y deben refrigerarse a 4 °C. El análisis debe llevarse a cabo en menos de 28 días.

#### 3.12.8. DBO

Las muestras para analizar la Demanda Bioquímica de Oxígeno pueden tomarse en envases de plástico o de cristal. Dichas muestras deben conservarse en refrigeración a 4 °C y pueden retenerse durante 48 horas antes de su análisis.

#### 3.12.9. DQO

Las muestras para analizar la demanda química de oxígeno pueden tomarse en envases de plástico o de cristal y deben conservarse agregando

ácido sulfúrico para reducir el pH por debajo de 2. También se enfrían a 4 °C y pueden retenerse por un máximo de 28 días antes de su análisis.

#### **3.12.10. SST**

Las muestras para analizar los Sólidos Suspendidos Totales pueden tomarse en envases de plástico o cristal y deben enfriarse a 4 °C y analizarse en menos de 7 días.

#### **3.12.11. Conductividad**

Las muestras para analizar la conductividad pueden tomarse en envases de plástico o cristal, deben enfriarse a 4 °C y analizarse en menos de 28 días.

#### **3.12.12. Turbiedad**

Las muestras para analizar la turbiedad pueden tomarse en envases de plástico o cristal, deben conservarse a 4 °C y pueden retenerse durante 48 horas antes de su análisis

#### **3.13. Medida del Flujo**

Es indispensable obtener también información sobre el flujo para la formación de las muestras compuestas, además de usarse para calcular la cantidad de contaminantes que se está descargando.

Normalmente las descargas de aguas residuales provenientes de instalaciones comerciales e industriales se realizan en conductos abiertos o en canales, por ello se han diseñado diferentes métodos de medición de flujo en canales (cualquier conducto en el cual el agua fluye presentando una superficie a cielo abierto), entre los que destacan el canal Parshall, vertedores y el método de área velocidad.



Fig. 3.8 Descarga conducida por un Canal

### 3.13.1. Vertedores (ref. 7)

Los vertedores son instrumentos de medición que constan de una superficie colocada perpendicularmente al flujo del agua, ésta tiene un corte geométrico (rectangular, triangular, etc.) de tal forma que el líquido escurra libremente a través de dicho corte.

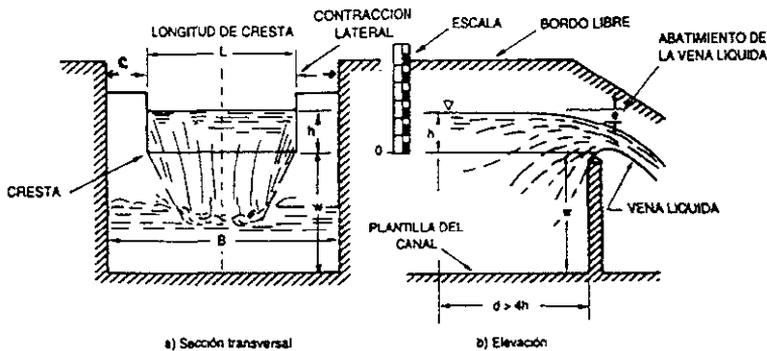


Fig. 3.9 Partes que integran un vertedor (ref. 4).

Los conceptos más importantes en el manejo de los vertedores se definen a continuación:

**Cresta:** Es el punto más bajo del corte, en el triangular la cresta es el vértice y en el vertedor rectangular es el borde horizontal.

**Altura:** Es la diferencia de cotas entre el fondo del canal de aproximación y la cresta, medida aguas arriba y junto al vertedero.

**Carga hidráulica:** Es la altura alcanzada por el agua, medida desde la cota de la cresta del vertedor.

**Contracción Lateral:** En un vertedor de pared delgada, es la reducción del ancho efectivo de la vena líquida (Cresta), como consecuencia de su angostamiento lateral con relación al ancho del canal de aproximación.

### 3.13.1.1. Determinación de caudales en un vertedor rectangular

En caudales estimados superiores a 300 litros por segundo, se recomienda el uso de vertedores rectangulares, ya que poseen coeficientes de caudal mejor definidos y en consecuencia se tiene mayor precisión en el cálculo de gastos. La variación de la carga hidráulica en estos vertedores, debe estar entre 0.061 m. Y 0.61 m. para el caudal medio y no debe ser mayor de 1/3 de la longitud de la cresta.

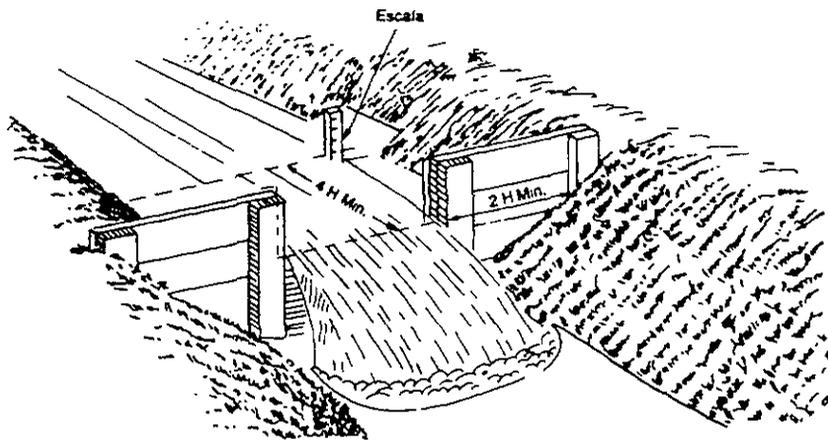


Fig. 3.10 Vertedor rectangular (ref.4)

Por lo tanto,

$$\text{Sin contracción lateral } Q = 1.84 L H^{1.5}$$

$$\text{Con contracción lateral } Q = 1.84 (L - 0.2H) H^{1.5}$$

Donde

$Q$  = Caudal en  $m^3/\text{seg.}$

$L$  = Longitud de la cresta (m)

$H$  = Carga hidráulica sobre el vertedor (m)

### 3.13.1.2. Determinación de caudales en un vertedor triangular

La carga hidráulica mínima para estos vertedores es de 6 cm, a fin de evitar que la lámina de agua quede adherida a la cresta del vertedor. Para caudales estimados inferiores a 30 l.p.s. los ángulos de corte de  $90^\circ$  son los que ofrecen mayor precisión

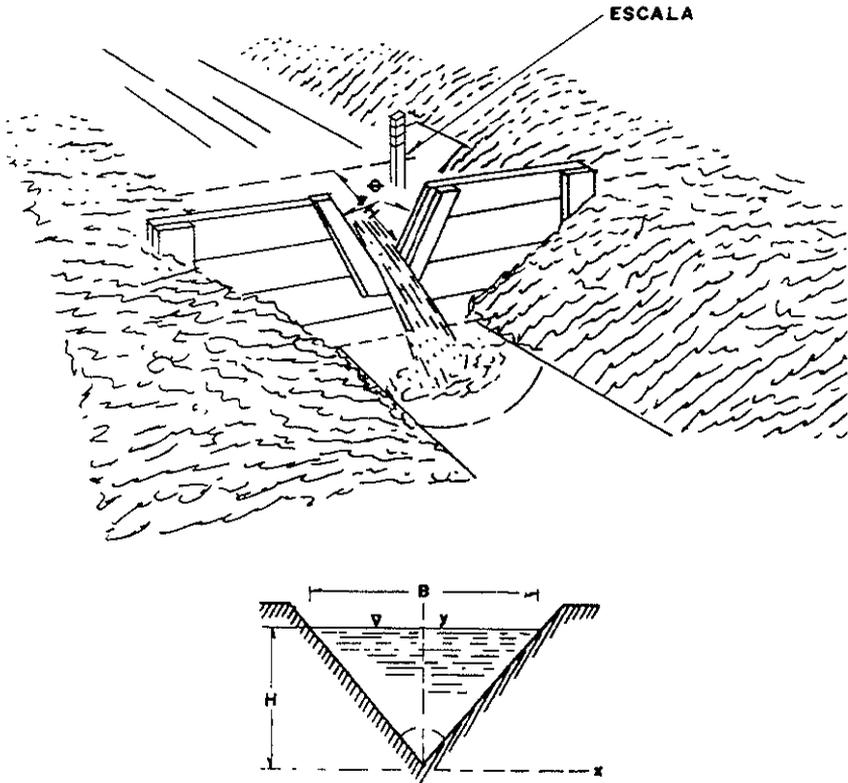


Fig 3.11 Vertedor Triangular (ref 4)

$$Q = C H^{5/2}$$

En donde:

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

H = Carga hidráulica sobre el vértice (m)

C = Coeficiente de descarga que depende del ángulo en el vértice del vertedor (adimensional)

Esta ecuación puede asumir las siguientes formas, dependiendo del ángulo del vertedor:

Para  $60^\circ$   $Q = 0.81 H^{2.5}$

Para  $90^\circ$   $Q = 1.40 H^{2.5}$

### **3.13.1.3. Determinación de caudales en un vertedor trapezoidal**

Normalmente no se utiliza con frecuencia, debido a que en la práctica es mucho más sencillo construir un vertedor triangular o rectangular. Sin embargo, también es posible utilizar esta forma de vertedor para el aforo de una corriente.

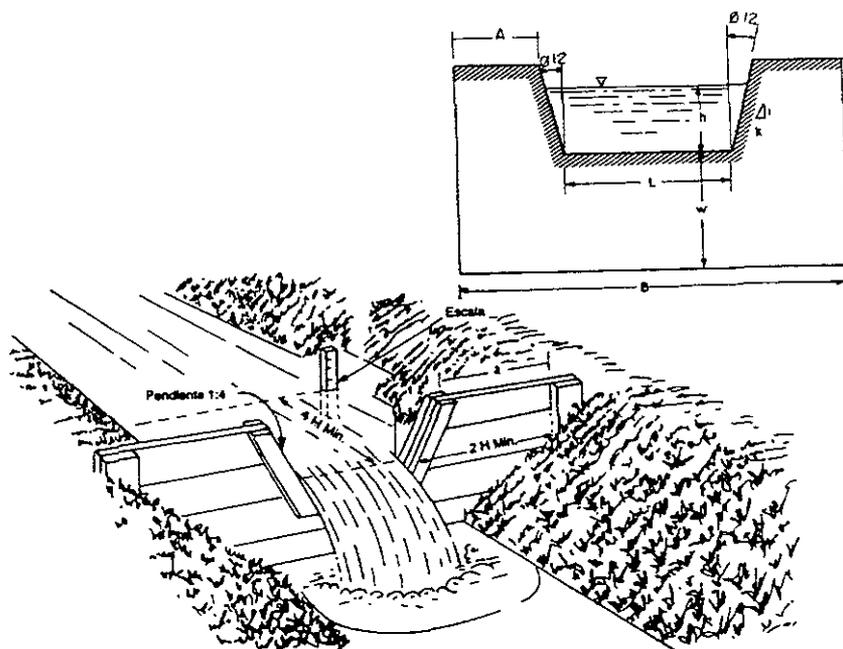


Fig. 3.12. Vertedor Trapezoidal Cipolletti (ref 4)

El gasto está dado por la siguiente ecuación:

$$Q = 1.86 L H^{1.5}$$

Esta fórmula es válida si se cumple:

$$0.08 \text{ m} \leq H \leq 0.60$$

$$30 H \Rightarrow B \Rightarrow 60 H$$

$$A \Rightarrow 2 H$$

$$L \Rightarrow 3 H$$

$$W \Rightarrow 3 H$$

Las fórmulas mencionadas anteriormente, relacionan la carga hidráulica sobre la cresta del vertedor y el caudal que pasa a través de éste en función

del corte geométrico en el vertedor. Para medir la carga hidráulica, utilice el siguiente procedimiento.

1. Verifique que la cara aguas arriba del vertedor se encuentre libre de sedimentos, si éstos existen, retírelos
2. Mida la carga hidráulica sobre la cresta del vertedor con una regla.
3. Si el piso del canal en el que está instalado el vertedor se encuentra plano y nivelado, haga lo siguiente:
  - 3.a Mida una distancia recta de cuatro veces la carga hidráulica sobre la cresta del vertedor aguas arriba y determine la altura del agua respecto al piso del canal retirando el sedimento depositado.
  - 3.b Evalúe la distancia vertical del piso del canal a la cresta del vertedor.
  - 3.c La carga hidráulica es la diferencia entre la altura del agua aguas arriba del vertedor menos la elevación de la cresta, tomando como referencia el piso del canal.
4. Si el piso del canal no se encuentra nivelado, la carga hidráulica a emplear es la altura del agua sobre la cresta del vertedor.

Los dispositivos antes mencionados se conocen como elementos primarios de medición, sin embargo, se requiere un instrumento secundario para poder medir el tirante (altura) del agua en cada caso, éste puede ser de dos tipos:

**a) Regleta limnimétrica:**

Consiste de una regla vertical graduada de tal forma que sea visible desde cualquier punto (la escala puede indicarse con simples líneas horizontales o con cuadros alternados de colores contrastantes), puede ser portátil o estar adherida a la pared del elemento primario



Fig 3 13. Canal Parshall con regleta limnimétrica

**b) Sistema ultrasónico:**

Este equipo funciona en base a la emisión de una señal ultrasónica que al reflejarse en el espejo de agua es detectada, registrando el nivel del agua. Si se conoce la altura del fondo del canal al sensor que emite la señal puede determinarse el tirante. Es recomendable que si en el lugar donde se va a efectuar el muestreo se cuenta con equipo ultrasónico se verifique el funcionamiento de éste, midiendo el nivel del espejo de agua (tirante) con una regla, es importante revisar también que la superficie donde se refleja la onda ultrasonica no tenga espuma, porque ésta altera la lectura del

sensor ultrasónico, en este caso es recomendable usar un pequeño chorro de agua para eliminar la espuma.

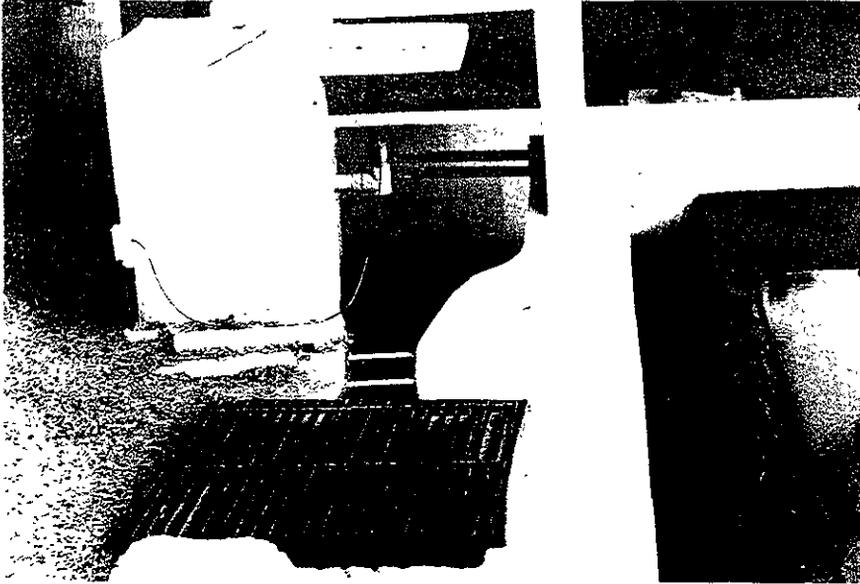


Fig. 3 14 Canal Parshall con medidor de nivel ultrasónico

#### **3.13.1.4. Verificación de la instalación de vertedores**

Es importante tomar en cuenta los siguientes puntos al hacer uso de estos dispositivos.

La sección transversal debe ser lo más regular posible.

Antes del vertedor, se requiere un tramo recto suficientemente largo para asegurar un flujo lo más uniforme posible, se recomienda que sea por lo menos 10 veces la longitud de su cresta.

Las márgenes deberán ser estables y el fondo regular sin salientes ni entradas que puedan perturbar el flujo.

El material del canal debe ser impermeable

Las estructuras que conforman el vertedor deben ser rígidas, estar libres de fugas y ser capaces de soportar las sobrecargas

Los vertedores deben colocarse perpendiculares a la dirección del flujo en el canal.

Aguas abajo del canal no debe haber obstáculos que provoquen el ahogamiento o inmersión de la descarga del vertedor.

### **3.13.2. Canales Parshall**

Esta estructura aforadora, consiste, esencialmente de una contracción lateral en un canal a superficie libre, la contracción se forma por una elevación de la plantilla y el estrechamiento de la sección transversal, es importante mencionar que en el salto hidráulico (la zona de declive en la garganta) es conveniente hacer el muestreo por sus condiciones de turbulencia, excepto grasas y aceites que es conveniente muestrear aguas arriba.

Es una estructura que consta de una sección convergente, una sección recta de paredes verticales paralelas llamada garganta y una sección divergente. Si se hace un corte lateral del canal, se puede observar en el fondo un declive que corresponde a la garganta, lo cual hace que la altura del agua antes de ella sea superior a la altura de la que se encuentra después.

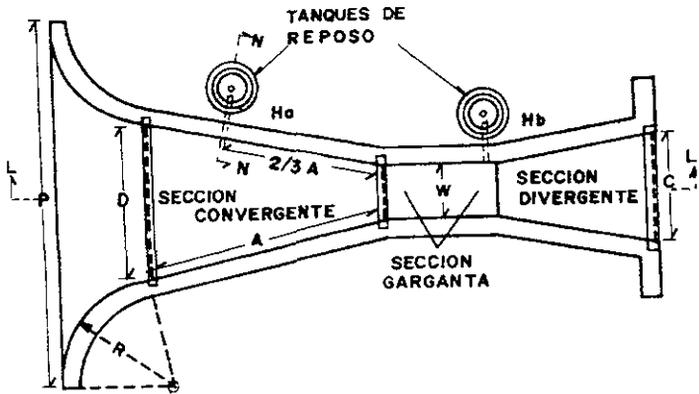
El resultado de la división de la altura del agua antes de la garganta ( $H_a$ ) entre la altura del agua después de la garganta ( $H_b$ ) debe ser menor a 0.95, en caso contrario se dice que el canal está "ahogado" o "sumergido" y aumenta considerablemente el error de medición. Si el canal no está ahogado, el gasto se calcula midiendo el tirante (altura de la superficie del agua con respecto al fondo del canal) en el punto  $H_a$  y con el valor del ancho de la garganta ( $W$ ) se obtiene el gasto en la intersección de ambos valores en la tabla mostrada en la siguiente tabla

**TABLA 3.1. GASTO EN UN CANAL PARSHALL**

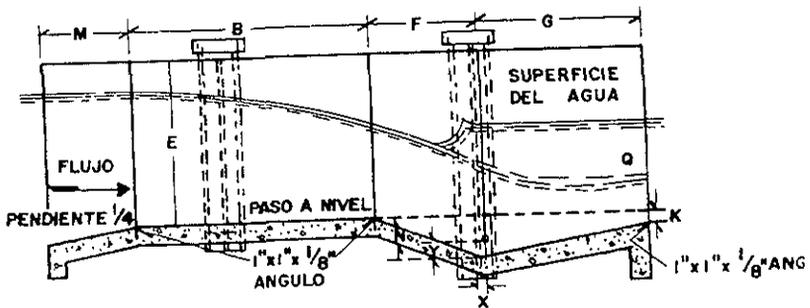
Altura del agua (tirante) en cm	Ancho de la garganta en pulgadas (") o pies (')							
	3"	6"	9"	1'	1 ½'	2'	3'	4'
3	0.8	1.4	2.5	3.1	4.2	-	-	-
4	1.2	2.3	4.0	4.6	6.9	-	-	-
5	1.5	3.2	5.5	7.0	10.0	13.8	20	-
6	2.3	4.5	7.3	9.9	14.4	18.7	27	35
7	2.9	5.7	9.1	12.5	17.8	23.2	34	45
8	3.5	7.1	11.1	14.5	21.6	28.0	42	55
9	4.3	8.5	13.5	17.7	26.0	34.2	50	66
10	5.0	10.3	15.8	20.9	30.8	40.6	60	78
11	5.8	11.6	18.1	23.8	35.4	46.5	69	90
12	6.7	13.4	24.0	27.4	40.5	53.5	79	105
13	7.5	15.2	23.8	31.0	45.6	60.3	93	119
14	8.5	17.3	26.6	34.8	51.5	68.0	101	133
15	9.4	19.1	29.2	38.4	57.0	75.5	112	149
16	10.8	21.1	32.4	42.5	63.0	83.5	124	165
17	11.4	23.2	35.6	46.8	69.0	92.0	137	182
18	12.4	25.2	38.8	51.0	75.4	100.0	148	198
19	13.5	27.7	42.3	55.2	82.2	109.0	163	216
20	14.6	30.0	45.7	59.8	89.0	118.0	177	235
25	20.6	42.5	64.2	83.8	125.0	167.0	248	331
30	27.4	57.0	85.0	111.0	166.0	221.0	334	446
35	34.4	72.2	106.8	139.0	209.0	280.0	422	562
40	42.5	89.5	131.0	170.0	257.0	345.0	525	700
45	51.0	107.0	157.0	203.0	306.0	414.0	629	840
50	-	-	185.0	240.0	362.0	484.0	736	990
55	-	-	214.0	277.0	418.8	563.0	852	1144
60	-	-	243.0	314.0	478.3	642.0	971	1308
65	-	-	-	356.0	543.4	730.0	1110	1490
70	-	-	-	402.0	611.3	821.0	1249	1684

Como ya se mencionó, el medidor Parshall esta constituido por tres partes fundamentales: Entrada, garganta y salida. La estructura tiene dos tanques de reposo que sirven para medir la carga ( $H_a$ ) a la entrada del medidor antes de la garganta y la carga ( $H_b$ ), cerca del extremo inferior de la garganta, estando colocados a los lados de la estructura y comunicados a ella por tubería, en estas cámaras se alojan los flotadores de los limnigrafos, medidores de nivel electrónicos o simplemente escalas graduadas.

A continuación se presenta un croquis con la planta y elevación de un medidor Parshall, en el que se indican con literales, las medidas necesarias para construir este tipo de medidor.



**PLANTA**



**SECCION "L-L"**

Fig 3 15 Corte y planta de un medidor Parshall (ref 4)

De la figura, tenemos

W = Tamaño del canal

A = Longitud de las paredes laterales de la sección convergente

B = Longitud axial de la sección convergente

C = Ancho del extremo aguas abajo del canal

D = Ancho del extremo aguas arriba del canal

E = Profundidad del canal

F = Longitud de la garganta

G = Longitud de la sección divergente

K = Diferencia en elevación entre el extremo inferior del canal y la cresta

M = Longitud del piso de la entrada

N = Profundidad de la depresión en la garganta debajo de la cresta

P = Ancho entre los extremos de las paredes curvas de entrada

R = Radio de las paredes curvas de la entrada

X = Distancia horizontal desde el punto bajo en la garganta al punto de media Hb

Y = Distancia vertical desde el punto bajo en la garganta al punto de medida Hb

Como complemento de la figura anterior se tabulan las dimensiones y capacidad de canales Parshall, para distintos anchos de garganta W, en función de las literales indicadas en la figura.

Conviene aclarar que las cargas (Ha y Hb) se miden a partir de la cresta, por lo tanto el cero de las escalas esta al nivel de piso de la entrada, pudiéndose colocar o dibujar directamente sobre las paredes de la estructura cuando es pequeña (15 cm) y se desean suprimir las cámaras de reposo, se debe tener cuidado al medir los valores de las cargas (Ha y Hb) ya que la relación existente entre ellas indica como trabaja en ese momento

el aforador, esta relación se conoce como grado de sumersión y está dado por.

$$S = H_b/H_a$$

El valor del grado de sumersión para descarga libre y sumergida, varía en función del ancho de garganta ( $W$ ), ver tabla .

**TABLA 3.2. GRADO DE SUMERSIÓN**

ANCHO DE GARGANTA	DESCARGA LIBRE	CON SUMERSION
$W < 0.30 \text{ m}$	$S < 0.60$	$0.60 < S < 0.95$
$0.30 < W < 2.50 \text{ m.}$	$S < 0.70$	$0.70 < S < 0.95$
$2.50 < W < 15.0 \text{ m.}$	$S < 0.80$	$0.80 < S < 0.95$

Parshall indicó que cuando el grado de sumersión es mayor de 0.95, la determinación del gasto es incierta, por lo que debe adoptarse 0.95 como el valor máximo.

Dependiendo del grado de sumersión de la descarga el Parshall trabaja a descarga libre o sumergida.

Se dice que trabaja a descarga sumergida, cuando el nivel aguas arriba de la descarga, es afectado por el nivel de la descarga aguas abajo y que trabaja a descarga libre, cuando sucede lo contrario.

A continuación se dan algunos parámetros para conocer si un Parshall está trabajando a descarga sumergida, para ello se calcula la relación existente entre  $H_b/H_a$

Si la relación  $H_a/H_b$  excede los siguientes limites, el Parshall trabaja sumergido.

0.6 Para canaletas Parshall de 3, 6 y 9 pulgadas

0.7 Para canaletas de 1 a 8 pies

0.8 Para canaletas de 10 a 50 pies

Cuando el vertedor trabaja a descarga libre, el gasto es función solo de la carga (Ha).

Si el medidor trabaja a descarga sumergida, el gasto es función de la carga (Ha) y del grado de sumersión (S).

Para descarga libre, el gasto está dado por:

$$Q = m Ha^S$$

Las constantes (m) y (S) también varían en función del ancho de garganta, las fórmulas para evaluar el gasto en función de éstas se dan en la siguiente tabla

**TABLA 3.3. GASTO EN FUNCIÓN DEL ANCHO DE GARGANTA**

ANCHO DE LA GARGANTA	FORMULA
$W < 0.15 \text{ m}$	$Q = 0.3812 Ha^{1.58}$
$0.30 < W < 2.5 \text{ m}$	$Q = 0.3716 W (3.281 Ha^{1.522c})$ donde $c = W^{0.026}$
$2.50 < W < 15.0 \text{ m}$	$Q = (2.292 W + 0.474)Ha^{1.6}$

Ha es la altura del agua (tirante) que se conoce como carga hidráulica.

Para descarga sumergida las fórmulas anteriores generan un gasto mayor que el real, en consecuencia, cuando un medidor trabaja bajo esta condición es necesario aplicar una corrección sustractiva al gasto, que aumenta a medida que lo hace el grado de sumersión

En condiciones de descarga sumergida, las fórmulas para obtener el gasto son difíciles de evaluar.

A continuación se mencionan algunas ventajas y desventajas del uso de un canal Parshall.

**Ventajas.**

Puede manejar agua que contenga sólidos finos en suspensión.

La pérdida de carga que ocasiona es baja.

Su diseño es simple y su construcción económica.

Su precisión es buena, ya que si trabaja ahogado su error es del 5% y si trabaja con descarga libre el error es menor al 3%

La velocidad de llegada no influye en el cálculo del gasto.

**Desventaja.**

Para estructuras no estandarizadas la relación carga-gasto no puede establecerse de antemano y es necesario recurrir a calibraciones de laboratorio

**3.13.3. Método de Área-Velocidad**

Consiste en determinar el área de una sección transversal de la corriente y la velocidad del agua a través de ésta; la primera por medio de sondeos y la velocidad por el método que se describe a continuación.

**3.13.3.1. Velocidad Media del Agua en una Corriente.**

La velocidad del agua en los canales abiertos depende de las características de la sección transversal, las líneas de igual velocidad son aproximadamente paralelas al fondo y a los costados del canal, en la superficie se presenta una disminución ligera de la velocidad

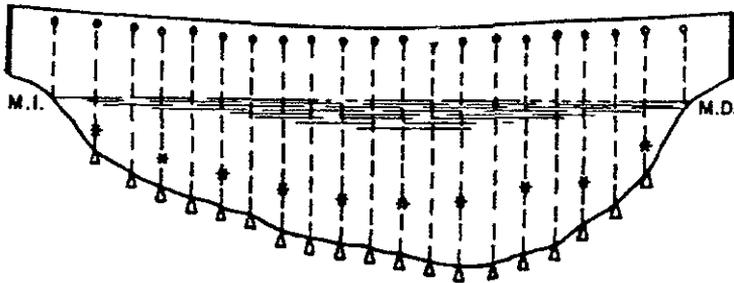


Fig. 3 16 División en Franjas de la Sección Transversal de una corriente (ref.4).

Con base en mediciones experimentales sobre la distribución de velocidades, que se presentan en una vertical de la corriente, se concluyeron las siguientes prácticas (BRATER Y KING, 1976):

La velocidad máxima se presenta entre el 5% y el 25% de la profundidad del agua en el canal, en corrientes poco profundas con lecho rugoso la velocidad máxima se presenta muy cerca de la superficie del agua.

La velocidad media en una vertical de un canal se presenta a 0.6 de la profundidad.

La velocidad media en una vertical, es la media aritmética de las velocidades a 0.2 y 0.8 de la profundidad respectivamente.

La velocidad media en una vertical es del 85% al 95% de la velocidad de la superficie

La curva de variación vertical de la velocidad se aproxima a una parábola de eje vertical, es decir aumenta de la superficie del agua hacia abajo.

hasta llegar al punto de velocidad máxima y a partir de este comienza a disminuir

La determinación de la velocidad media del agua en una corriente puede hacerse por métodos directos o indirectos; los primeros se realizan empleando un flotador; lo segundo mediante el uso de fórmulas.

### **3.13.3.2. Área de la Sección Transversal de una Corriente.**

Para determinar el gasto en una sección se requiere conocer el área hidráulica de la sección transversal de la corriente, el método a emplear dependerá de las condiciones del cauce; en el caso de canales revestidos de mampostería o de concreto, las secciones están bien definidas y será fácil el cálculo del área hidráulica, en caso contrario se tendrá que determinar por medio de sondeo

El área hidráulica de la sección transversal de una corriente está limitada en la parte superior por la superficie del agua, que es prácticamente horizontal, por las paredes del cauce que forman los lados y por el fondo, en canales naturales, la sección es una línea caprichosa con cierta tendencia a la forma de "U".

El área puede determinarse usando sondas, ya sean rígidas o flexibles. La separación de los sondeos dependerá del ancho de la corriente, según la siguiente relación:

**TABLA 3.4 RELACIÓN SONDEO-ANCHO DE CORRIENTE**

ANCHO DE LA CORRIENTE (m)	ESPACIAMIENTO (m)
hasta 1.2	0.2-0.3
1.2-5	0.3-0.5
5-10	0.5-1.0
10-50	1.0-5.0
50-100	5.0-10.0
más de 100	10.0-20.0

**3.13.3.3. Uso de sonda rígida**

Las sondas rígidas consisten en una varilla metálica o de madera graduada, del tamaño suficiente como para tocar el fondo del cauce, pudiendo medir con ella la profundidad en las secciones transversales; este tipo de sonda se emplea cuando la corriente lleva gastos pequeños, y la profundidad del agua no es excesiva.

**3.13.3.4. Uso de sonda flexible**

La sonda flexible está compuesta de un escandallo, que es un cuerpo pesado, generalmente de plomo para no ser arrastrado por la corriente y de forma aerodinámica para no oponer resistencia, sujeto al extremo de una cuerda, cable o cadena (sondaleza).

El sondeo con sonda flexible consiste en dejar que el escandallo llegue al fondo del cauce, si el técnico aforador está cerca de la superficie del agua, simplemente marcará la sondaleza tomándola con los dedos, de otra manera, deberá tomar la cuerda referida a un punto fijo una vez que el escandallo esté en el fondo e irá midiendo la longitud de cuerda que vaya sacando y hasta que el escandallo esté sobre la superficie del agua.

Para facilitar el sondeo en las secciones de aforo seleccionadas se puede instalar un puente, un cable con canastilla, con el fin de dividir el ancho de

la corriente en franjas, generalmente de igual anchura, que queden marcadas y sean la base para dividir la sección transversal de la corriente en áreas pequeñas, en las cuales se mide la velocidad media, también se puede realizar el sondeo sobre una lancha o pasarela

#### **3.13.4. Método de la escuadra para chorro horizontal (utilizando el nomograma de gastos)**

Este método es utilizado para determinar el gasto en tuberías horizontales con descarga libre (a tubo lleno o semilleno) empleando el nomograma referido en la figura siguiente, a continuación se describe el procedimiento a seguir.

##### **3.13.4.1. Para tubería llena.**

1. Con la ayuda de una escuadra de carpintero localice la altura "H" igual a 15 cm., tomándola de la cresta del chorro de agua al límite superior del tubo (tal como se ilustra en la figura inferior del nomograma).
2. Tome la distancia "A" comprendida desde el inicio del chorro hasta el punto en que "H" es igual a 15 cm.
3. Localice el punto "A" en la primera columna de la izquierda del nomograma
4. Marque el diámetro de la tubería (en centímetros o pulgadas) en la segunda columna.
5. Para obtener el gasto "Q", trace una recta entre los puntos indicados en al primera y segunda columnas, prolongando la línea hasta tocar la tercer columna, que es en donde obtendrá el gasto en litros por segundo

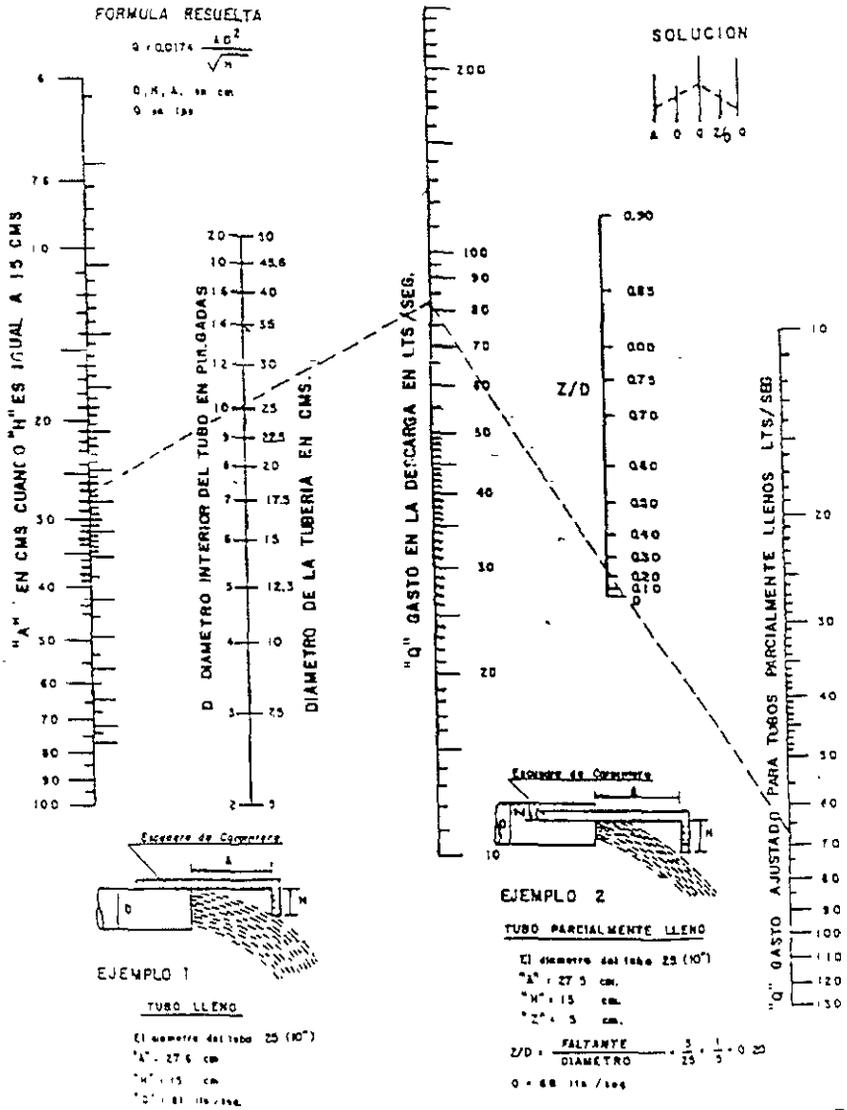


Fig 3.17 Nomograma de gastos

#### **3.13.4.2. Para tubería semillena**

1. Siga el procedimiento descrito para tubo lleno hasta el punto 5.
2. Mida verticalmente el espacio vacío del tubo y divídalo entre el diámetro nominal de la tubería, obteniendo el factor  $Z/D$
3. Localice el punto correspondiente a  $Z/D$  en la cuarta columna del nomograma.
4. Trace una línea recta entre los puntos localizados en la tercera y cuarta columna, prolongándola hasta que intersecte con la quinta columna, en donde obtendrá el gasto "Q" en litros por segundo.

#### **3.13.5. Método volumen-tiempo**

Si no fue posible realizar el aforo por alguno de los métodos anteriormente descritos, se utilizará este sistema, el cual consiste en medir el tiempo que tarda en llenarse un depósito, cisterna o tanque de volumen conocido, para así obtener el gasto al dividir el volumen entre el tiempo.

## **CAPITULO IV**

# **PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE DESCARGAS EN ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA**

---

En los Estados Unidos de América se busca principalmente evitar el deterioro de los cuerpos receptores de aguas residuales a los que descargan los condados (ref.1).

#### **4.1. Inspección a instalaciones**

Existen muchas razones para llevar a cabo inspecciones en instalaciones comerciales e industriales. Una de las principales es recopilar información sobre los procesos y operaciones de la instalación, así como caracterizar sus descargas a la red de alcantarillado, especialmente cuando un programa de pretratamiento (es decir, el tratamiento que dan los usuarios antes de descargar al drenaje), se encuentra en sus etapas iniciales. Esta caracterización incluye:

- a) Volumen de las descargas.
- b) Tipo de contaminantes que la instalación está descargando o puede descargar.
- c) Información sobre la posibilidad de que la instalación llegue a causar daño al sistema colector, la planta de tratamiento de aguas residuales estatal, las aguas receptoras, el medio ambiente o bien, poner en peligro la salud y seguridad de los trabajadores o del público en general.

La información obtenida se utiliza para evaluar la necesidad de imponer límites y establecer permisos de descarga u otros requisitos relativos al pretratamiento; esto con el fin de reducir las descargas de contaminantes y, por consecuencia, el efecto negativo que los mismos tienen sobre el medio ambiente. Si los usuarios presentan información como solicitudes de permiso o respuestas a cuestionarios, las inspecciones se utilizan también para verificar la exactitud de dicha información. Una vez que se haya establecido el programa de pretratamiento y que se haya completado el estudio inicial del usuario, las inspecciones servirán para actualizar la información sobre la instalación en cuestión

Otra razón importante es la evaluación del programa de pretratamiento, que consiste en que el usuario debe colocar un sistema de tratamiento que asegure que el agua residual que llega al alcantarillado no pondrá en riesgo la operación de la planta de tratamiento del condado. El inspector puede facilitar información sobre el programa y las obligaciones del usuario respecto al mismo. Este intercambio de información y puntos de vista sirve para establecer una buena relación de trabajo con los representantes del usuario, lo cual puede redundar en una mayor cooperación a fin de lograr los objetivos del programa. El inspector puede constituir una de las fuentes de información del usuario industrial. Para llevar a cabo este papel en forma adecuada, debe conocer a fondo el programa de pretratamiento, tener interés en el logro de sus objetivos y ser capaz de comunicar la importancia de dichos objetivos a los representantes de la empresa.

El condado, en apoyo a la comunidad industrial, debe patrocinar la publicación de boletines y la realización de talleres y seminarios a fin de tener acceso a información fidedigna. Asimismo, el inspector no debe recomendar ningún equipo en particular o asegurar que ciertas técnicas ayudarán a resolver el problema, ya que podría responsabilizarse al condado si no se obtienen los resultados esperados.

#### **4.2. Procedimientos de inspección**

Aunque existe una gran variedad de industrias, hay una serie de procedimientos básicos que pueden utilizarse para inspeccionar todo tipo de instalaciones. Estos procedimientos generales deben ser modificados para ajustarse a los objetivos particulares de las inspecciones.

Una inspección completa consiste básicamente en tres etapas:

- a) La preparación previa a la inspección.
- b) Las actividades sobre el terreno.
- c) Las actividades complementarias.

### **4.3. Preparación de la Inspección**

Asegura que la inspección esté bien planeada, así como que se realice en forma eficiente y que se logren los objetivos propuestos. La preparación exige varias actividades, las cuales se explicarán a continuación.

**4.3.1. Revisión de los antecedentes.** Se revisan los informes que se hayan hecho de cualquier inspección previa y el historial de la instalación respecto a su cumplimiento con las disposiciones ecológicas. También se incluyen datos facilitados por el usuario como respuestas a cuestionarios o sondeos, solicitudes de permiso y correspondencia. El inspector debe conocer todos los reglamentos ecológicos que afecten a la descarga de agua residual del usuario.

**4.3.2. Revisión de Publicaciones.** Para realizar una inspección a fondo en forma eficiente, el inspector debe tener al menos un conocimiento básico del proceso que se lleva a cabo en las instalaciones del usuario. Si el inspector no está familiarizado con un proceso u operación en particular, debe consultar las publicaciones pertinentes.

**4.3.3. Preparación de un Plan de Inspección.** El plan debe indicar el alcance, los objetivos de la inspección y la forma de lograrlos. La inspección en sí indicará el alcance y profundidad de la misma, lo que también dependerá de la decisión de concentrarse solamente en un medio (como el agua residual) o en varios.

Al preparar la inspección, el inspector debe tomar nota de cualquier pregunta que desee hacer sobre el terreno, por lo que si hace una lista de las mismas, podrá asegurarse de obtener toda la información que necesite para tener una visión general de la instalación.

**4.3.4. Notificación a la Instalación.** En algunos casos es apropiado notificar al usuario que se va a realizar una inspección a sus instalaciones próximamente. Por ejemplo, en el caso que se desee una inspección completa para que así, los representantes del usuario estén presentes. Sin embargo, cuando se sospecha una falta de cumplimiento o un derrame, no es conveniente dicha notificación. El inspector deberá decidir si es apropiado notificar a la empresa, en cuyo caso deberá hacerlo por teléfono o enviando una carta.

En Estados Unidos se llevan a cabo tres tipos de inspecciones: programadas, sin notificación y en atención a una solicitud

- a) **Inspecciones programadas** Son aquellas que son concertadas de antemano. La instalación es notificada de la fecha y hora aproximada en que tendrán lugar. Normalmente son inspecciones iniciales o de rutina.
- b) **Inspecciones sin notificación** Se realizan al azar o cuando se sospecha que existe incumplimiento por parte del usuario
- c) **Inspecciones que responden a una solicitud.** Generalmente se deben a un problema o emergencia específica, como puede ser un derrame accidental.

**4.3.5. Salud y Seguridad.** Se debe tener información sobre el equipo de seguridad necesario antes de realizar cualquier actividad sobre el terreno. Dicha información puede obtenerse de informes previos de inspección, consultando a personas que hayan visitado la instalación anteriormente o solicitándola directamente al usuario.

**4.3.6. Preparación del Equipo.** El tipo de equipo dependerá de la naturaleza de la inspección e incluye equipo de seguridad así como equipo para muestreo y medidores de flujo. El equipo que se utilice debe estar en perfectas condiciones y calibrado.

#### **4.4. Actividades Sobre el Terreno**

**4.4.1. Inspección Periférica.** Antes de entrar en las instalaciones el inspector debe examinar la periferia de las mismas. Si es la primera vez que se realiza una inspección, se tomará nota del tamaño general de las instalaciones, incluyendo el número de edificios

Se debe tomar nota de cualquier problema en el perímetro de la instalación, como derrames o almacenamiento inadecuado de productos químicos. Se tendrán en cuenta condiciones ecológicas como el estado de la vegetación en el área, malos olores, emisiones anormales en la chimenea y si la instalación realiza sus descargas directamente en cuerpos receptores, como ríos, lagos, lagunas, etc.

Si se observan áreas exteriores de almacenamiento de productos químicos o desechos, el inspector tomará nota de las condiciones de dichas áreas, incluyendo las precauciones tomadas para la contención de derrames.

El inspector posiblemente desee observar los puntos de descarga de la instalación en la red del alcantarillado (si están situados en lugares accesibles), para comprobar si existe alguna descarga anormal.

Si se van a tomar muestras durante la inspección, es recomendable instalar en este momento el equipo necesario para hacerlo. Puede ser útil realizar ciertos análisis (del pH por ejemplo) antes de entrar en las instalaciones, ya que los resultados pueden sugerir la presencia de otros problemas que deban ser atendidos durante la inspección

**4.4.2. Entrada en la Instalación** Al entrar a la instalación el inspector debe localizar a los representantes de la misma a fin de presentarse y entregarles una copia de la orden de inspección, también se atenderá a los

procedimientos de entrada en las instalaciones, con los cuales debe estar familiarizado

Los inspectores estadounidenses no necesitan obtener una orden escrita para realizar una inspección, pero si tienen que solicitar el consentimiento del usuario. Si éste niega su consentimiento, el inspector puede obtener una orden de registro.

**4.4.3. Conversación Inicial.** Se lleva a cabo una conversación con los representantes de las instalaciones antes de proceder a la inspección, especialmente si es la primera visita que se realiza. Durante dicha conversación el inspector debe indicar.

- a) Brevemente el propósito de la Inspección
- b) Las actividades y el orden en que se va a realizar la inspección. Esto facilitará el asegurarse que los representantes de la instalación le faciliten la entrada a las instalaciones que desea y que estén disponibles para responder a las preguntas que tenga.
- c) Si necesita ver algún libro de registro o recibir algún tipo de información por parte de la instalación

El inspector debe utilizar esta conversación inicial para:

- a) Hacer cualquier pregunta que tenga preparada de antemano

- b) Obtener información general como
  - b.1 Número de Empleados
  - b.2 Índices de Producción
  - b.3 Flujo de Agua Residual
  - b.4 Cualquier cambio realizado en las instalaciones desde la última inspección
  
- c) Solicitar una breve descripción del proceso industrial, especialmente si es la primera visita que el inspector hace al lugar.
  
- d) Solicitar una copia del esquema de la Planta para facilitar el recorrido y asegurarse de que se le muestran todas las áreas.
  
- e) Dar contestación a cualquier pregunta sobre el programa de pretratamiento o sobre el tipo de inspección que se está llevando a cabo.
  
- f) Tratar de establecer una buena relación con los representantes de las instalaciones a fin de que se sientan cómodos, contesten más fácilmente las preguntas que se les hagan y faciliten toda la información que necesite el inspector
  
- g) Facilitar información sobre el programa de tratamiento y las responsabilidades que tienen al respecto. Si el usuario no dispone de copias de dicho programa y sus reglamentos, el inspector proporcionará dicha copia y entregará a la instalación folletos y manuales con información general sobre técnicas para reducir y controlar la contaminación.

Los inspectores deben ser flexibles y estar dispuestos a realizar cambios en el orden u objetivos de la inspección, según lo aconsejen sus observaciones

de la periferia de las instalaciones o la información obtenida en la conversación inicial.

**4.4.4. Recorrido por las Instalaciones.** Después de la conversación inicial el inspector debe realizar un recorrido completo de las instalaciones. Los recorridos son importantes por las siguientes razones.

- a) Se obtiene una descripción y conocimiento completo de los procesos y se verifica la información facilitada por el usuario.
- b) Permiten identificar áreas problemáticas que pueden optimizarse mediante el uso de técnicas para reducir la contaminación.
- c) Deben concentrarse en áreas donde se produzcan, procesen, bombeen, transporten, traten o almacenen las corrientes de desecho o los contaminantes, como son las áreas de producción, almacenaje y pretratamiento. El inspector necesita tener un conocimiento total de la generación y tratamiento de las aguas residuales, para lo cual es aconsejable realizar el recorrido a las instalaciones en el orden de fabricación, comenzando con las materias primas y terminando con el producto acabado.

Durante la inspección se deben localizar todas las fuentes que realizan o pueden realizar descargas de aguas residuales, tanto las que son fáciles de identificar, como las que no resultan tan obvias. Se obtendrán los siguientes datos:

- a) Una descripción de cada descarga
- b) Se indicará si la descarga es intermitente o continua
- c) Caudal
- d) Contaminantes encontrados

El inspector debe identificar:

- a) El destino del agua residual generada
- b) Todos los puntos de descarga.

Parte de las aguas residuales pueden ser descargadas directamente en aguas receptoras y el resto en la red de alcantarillado después de haber pasado (o no) por un sistema de pretratamiento.

Se debe tener en cuenta:

- a) Si es posible se deben medir los caudales de agua residual procedentes de cada proceso u obtener información sobre los mismos.
- b) Se tomará nota de todos los sistemas que recirculen agua y se indicará si alguno de ellos presenta fugas
- c) Se tendrá en cuenta el agua que se evapora, la que pasa a formar parte de los productos y la que se utiliza en los procesos de lavado.
- d) Determinar si existen descargas intermitentes
- e) Forma de tratamiento y evacuación de las aguas residuales.

Con esta información se realiza un balance aproximado del agua que entra y el agua residual que sale, para asegurar que se conoce el paradero de toda el agua utilizada por las instalaciones. Si el balance indica discrepancias, debe tratarse con el usuario

#### **4.5. Derrames**

Al evaluar las medidas a tomar en caso de derrames, las actividades que debe realizar el inspector son las siguientes:

- a) Debe tomarse nota de las cantidades y tipos de materias primas, productos acabados y desechos almacenados en la instalación.
- b) El inspector debe evaluar las áreas de almacenamiento para determinar la posibilidad de que ocurran derrames y de que éstos vayan a parar a la red de drenaje, por lo que es importante determinar la cercanía de las coladeras del piso del almacén y los procesos industriales que se emplean.
- c) Si existen coladeras en el suelo, el inspector debe determinar si se utilizan o no, lo que a veces resulta obvio por las condiciones de las mismas.
- d) Es mejor que las coladeras se sellen o se suelden de forma permanente, en vez de estar simplemente tapados, ya que las tapas pueden ser removidas. En los casos en que las coladeras no estén soldadas, el inspector podrá tratar de levantar las tapas, para ver si la instalación puede hacerlo fácilmente cuando desee descargar material por las mismas. Algunas coladeras están conectadas al sistema de pretratamiento, mientras que otras descargan directamente en la red de drenaje.
- e) Deben evaluarse también las estructuras para la contención de derrames, como diques o zanjas a fin de determinar si son adecuadas.

- f) Los inspectores deben hacer preguntas sobre los procedimientos de limpieza y evacuación de desechos que son utilizados por la instalación en caso de derrames.
- g) La instalación debe tener un plan de respuesta y debe haber presentado una copia del mismo para los archivos del condado. El inspector debe evaluar la posibilidad de que un derrame llegue a la red de alcantarillado si se siguen los procedimientos establecidos por dicho plan.

#### **4.6. Sistema de Pretratamiento**

Los sistemas de pretratamiento, como ya se explicó anteriormente pueden consistir en procesos físicos, químicos o biológicos para separar o tratar los contaminantes antes de descargar las aguas residuales. El pretratamiento puede ser una simple separación de grasas y aceites o un complejo sistema químico diseñado para separar metales. Al supervisar este sistema el inspector debe realizar las siguientes actividades:

- a) Inspeccionar el sistema de pretratamiento para asegurarse de que recibe el mantenimiento adecuado y que se encuentra en buenas condiciones de funcionamiento
- b) Tomar nota del tipo de pretratamiento que se utiliza, así como de los compuestos químicos relacionados con el mismo.
- c) Analizar cualquier circunstancia en que pudiera evitarse el uso del sistema de pretratamiento o poner alto a su funcionamiento.
- d) Recopilar información sobre cualquier lodo residual u otro tipo de residuos generados durante el proceso de pretratamiento y de los métodos utilizados para evacuarlos

- e) Cerciorarse de que existe personal capacitado para operar y mantener en forma apropiada el sistema de pretratamiento.
- f) Hacer un diagrama explicativo del proceso de pretratamiento.
- g) Determinar los índices de generación de desechos, la frecuencia de la evacuación de los mismos y el método utilizado en dicha evacuación.
- h) Revisar cualquier libro de registro que la instalación tenga sobre sus descargas (en los que puede haberse anotado los resultados de los análisis de dichas descargas, medidas de caudales, etc.).

**4.7. Entrevista Final.** Después de concluir la inspección de las instalaciones el inspector deberá reunirse con los representantes de las mismas para solicitarles cualquier información adicional o aclarar cualquier asunto que haya quedado pendiente. El inspector preparará un resumen escrito del resultado de la inspección y contestará preguntas a las dudas que hayan surgido, además de permitir que el usuario le haga cualquier comentario sobre los resultados de la inspección.

#### **4.8. Actividades Complementarias**

Se debe preparar un informe para que la inspección quede documentada y se pueda obtener fácilmente información sobre la misma en las actividades futuras del programa de pretratamiento, así como para facilitar cualquier acción coercitiva que sea necesaria. Para ello se documentará cuidadosamente toda la información sobre la inspección, incluyendo las notas del inspector, las copias de la información archivada y las fotografías que se hayan tomado. Es posible que los inspectores también tengan que iniciar o continuar algún tipo de acción coercitiva dependiendo de los resultados de la inspección.

#### **4.9. Permisos**

El condado puede aplicar varios procedimientos para imponer los requisitos del programa local de pretratamiento a las instalaciones que realizan descargas a la planta de tratamiento. Uno de estos procedimientos son los permisos generales e individuales de descarga.

##### **4.9.1. Permiso General.**

Normalmente se refiere a toda una categoría industrial. Reduce la carga administrativa que supone expedir permisos individuales de descarga. Su efectividad depende de lo claramente que esté escrito, la forma en que se distribuya a las instalaciones reglamentadas y de si se exige su cumplimiento en forma sistemática.

##### **4.9.2. Permiso Individual.**

Está expedido teniendo en cuenta la situación de una instalación en particular. Establece límites numéricos de descarga para contaminantes específicos, un calendario de muestreo para analizar la calidad del agua residual (así como los procedimientos a seguir en la toma de muestras y su posterior análisis), los requisitos de notificación en caso de emergencias y los informes rutinarios que deben presentarse.

Los permisos de descarga, ya sean individuales o generales, constituyen un medio para exigir el cumplimiento de las disposiciones vigentes. Al expedir un permiso se incrementa la conciencia del usuario de que está sujeto a disposiciones ambientales y tiene que responder al personal técnico del organismo regulador. Por otra parte, al establecer una comunicación directa con la instalación, el permiso promueve el que el usuario conozca los requisitos específicos que se espera que cumpla. El tipo de permiso que se expida dependerá de los recursos del organismo regulador (a nivel de condado, estatal o federal) y de la complejidad de las disposiciones reglamentarias, así como del riesgo que representen las descargas de la

instalación comercial/industrial. Se debe hacer énfasis en los siguientes puntos:

- a) No es realista esperar que una empresa entienda cuáles son sus responsabilidades ambientales a no ser que se le comuniquen claramente.
- b) Un organismo regulador con recursos limitados debe contactar en primer lugar a las instalaciones que representen mayor riesgo para la comunidad.

#### **4.10. Límites de Descarga**

El objetivo principal de la expedición de permisos es imponer los límites de descarga apropiados para cada actividad.

##### **4.10.1. Límites Basados en la Tecnología.**

Se promulgan para categorías industriales específicas.

##### **4.10.2 Límites Locales sobre Contaminantes Específicos.**

Son establecidos por el condado para proteger la planta de tratamiento y las aguas receptoras, así como las prácticas de evacuación del lodo residual.

**4.10.3. Límites Basados en el Mejor Juicio Profesional.** Se establecen para instalaciones específicas basados, como su nombre lo indica, en el mejor juicio profesional.

#### **4.11. Selección de los Contaminantes a Reglamentar**

El condado decide qué contaminantes están presentes o pueden estar presentes en las descargas, basándose en la solicitud de permiso presentada por el usuario, la información procedente de actividades de inspección, de las materias primas y de las publicaciones sobre el tema. El condado debe concentrarse en las descargas que incluyan

- a) Contaminantes que estén claramente causando un problema (trastornos/interferencias/paso sin tratamiento) en la planta de tratamiento.
- b) Contaminantes tóxicos en concentraciones/cantidades que pudieran causar problemas para la seguridad de los trabajadores, las actividades de la planta de tratamiento o la calidad de las aguas receptoras.
- c) Contaminantes reglamentados por las Normas Oficiales en el tipo de industria en particular.

#### **4.12. Procedimientos Generales para Establecer Límites de Descarga**

- a) Cuando un límite federal y un límite del condado procedan, se aplicará el que sea más estricto. Para determinar que límite es más estricto hay que verificar si el límite se refiere a la misma descarga de aguas residuales.
  - a.1 La mayor parte de los límites de descarga específicos para una industria en particular se refieren a las descargas al final de la corriente de desechos reglamentada o al final del pretratamiento de la descarga de aguas residuales, antes de que se mezcle con otras corrientes que la diluyan
  - a.2 La mayor parte de los límites para proteger el sistema del alcantarillado se refiere a la concentración de contaminantes en las corrientes combinadas de aguas residuales que llegan a la planta de tratamiento.

- b) El permiso debe especificar si es posible tanto las normas máximas diarias como los promedio mensuales.

#### **4.13. Incorporación de Límites de Contaminación Específicos a Nivel Municipal**

Cuando un permiso incluye límites municipales específicos, el municipio debe.

- a) Establecer claramente en que hay que aplicar los límites (lugar de muestreo).
- b) Indicar la unidad en que se deben medir (mg/l, kg/día).
- c) Indicar si se trata de límites máximos diarios, promedios mensuales o límites instantáneos y definir lo que significa cada término.
- d) Utilizar límites de masa cuando se sospecha que existe dilución o sea necesario controlar la cantidad de contaminantes que llegan a la planta.

#### **4.14. Sanciones**

El uso de medidas coercitivas obliga a las instalaciones a no infringir las disposiciones reglamentarias y es el móvil que permite que la ley ambiental funcione. Dichas medidas se toman en contra de un número relativamente pequeño de instalaciones en emplazamientos específicos, donde las inspecciones del municipio o de la propia instalación, así como información procedente de otras fuentes, han revelado una falta de cumplimiento. Aunque van dirigidas a una instalación en particular dichas medidas tienen el efecto de promover el cumplimiento de otras instalaciones.

#### **4.14.1. Creación de Factores Disuasivos**

Los organismos gubernamentales de protección ambiental establecen un programa convincente de ejecución de la ley, el cual se basa en cuatro puntos principales:

#### **4.14.2. El Hacer Verosímil la Posibilidad de Detección.**

Un usuario sabe que es posible que su infracción sea descubierta si los inspectores están visitando instalaciones similares.

#### **4.14.3. Consecuencias Serias en Caso de Detección.**

El usuario sabe que si es descubierto, sufrirá serias consecuencias, porque sabe que la inspección de instalaciones similares ha dado lugar a acciones coercitivas como la imposición de multas o períodos de prisión.

#### **4.14.4. Respuesta Rápida y Segura.**

Cuando un usuario sabe que la respuesta del gobierno ante una infracción es rápida e inevitable, se da cuenta de que no puede eludir las consecuencias dando excusas o ganando tiempo en negociaciones prolongadas.

#### **4.14.5. Una Respuesta Equitativa y Homogénea.**

Cuando un usuario sabe que las inspecciones gubernamentales y las medidas coercitivas son equitativas y homogéneas, se siente con la seguridad de ser tratado de manera justa y que el proceso de ejecución de la ley no está sujeto a favoritismos o negociaciones que permitan obtener un trato especial.

Un programa convincente de ejecución de la ley constituye un gran incentivo para cumplir con las disposiciones. Muchos usuarios han llegado a la conclusión de que es una buena estrategia comercial cumplir con las

disposiciones ambientales y ser respetados como ciudadanos conscientes y responsables.

#### **4.14.6. Tipos de Medidas Coercitivas**

Los condados tienen una variedad de opciones a su disposición cuando es necesario responder a lo que constituye una infracción de acuerdo con las leyes locales y estatales. Un municipio normalmente tiene cierto margen para ejercer su criterio al seleccionar el tipo de respuesta que va a presentar en una situación de incumplimiento, incluyendo la decisión de solicitar mayor información por los medios que hayan sido establecidos para tal fin.

Los niveles de acción que se describen a continuación se encuentran en orden de menor a mayor grado de seriedad.

#### **4.14.7. Respuesta Informal**

Las respuestas informales son solamente notificaciones como por ejemplo, una llamada telefónica, una notificación de incumplimiento o una carta de aviso. Dichas acciones son utilizadas por el condado para dar aviso a un usuario de que se ha detectado su infracción y que debe tomar medidas correctivas antes de una fecha límite. En general las respuestas informales se utilizan sólo para infracciones de baja prioridad y en el caso de usuarios que cometen la infracción por primera vez. Aunque por regla general no van acompañadas de multas y no tienen autoridad en sí mismas para exigir la respuesta apropiada del infractor, se toma nota de ellas y pueden ser utilizadas en el futuro para justificar medidas coercitivas más severas.

#### **4.14.8. Respuestas Administrativas**

Las respuestas administrativas son acciones formales que resultan en una orden exigiendo que la instalación corrija la infracción y en la mayor parte de los casos que pague una multa proporcional a la gravedad y a las circunstancias de la infracción.

Debido a que generalmente representan la forma más rápida de lograr que se corrija la infracción, las acciones administrativas son muy utilizadas por los municipios que tienen autoridad para imponerlas. Entre dichas acciones se incluyen la opción de revocar o suspender el permiso de descarga.

#### **4.14.9. Respuesta Judicial**

La respuesta judicial se solicita en la mayoría de los casos porque la respuesta informal o las acciones administrativas no dan resultado. En Estados Unidos el condado normalmente tiene autoridad para presentar cargos civiles y penales. Las acciones civiles tienen lugar por infracciones que hayan resultado como consecuencia de acontecimientos normales derivados de ignorancia o descuido que no implique daños graves. Las acciones penales normalmente tienen lugar cuando una persona o compañía comete una infracción con pleno conocimiento de causa (como la realización de descargas por la noche y la falsificación deliberada de documentos o registros).

#### **4.14.10. Acciones Coercitivas Complementarias**

Son aquellas que van más allá de las respuestas tradicionales.

#### **4.14.11. Notificaciones Públicas**

La publicación de los nombres de las instalaciones que no cumplen con las disposiciones tiene como objeto impedir que éstas sigan cometiendo infracciones en el futuro.

#### **4.14.12. Cancelación del Servicio de Agua**

Aunque la cancelación del servicio de alcantarillado es una medida coercitiva bastante común, la cancelación del servicio de agua puede ser igual de efectiva, ya que la falta de agua pondrá paro al proceso de producción hasta que se reinicie el servicio.

#### **4.14.13. Compañías Contratadas por el Condado**

El condado puede promulgar una ley que exija que los contratos vigentes con compañías que cometan infracciones sean cancelados y que no se concedan contratos a compañías que hayan infringido los requisitos del programa de pretratamiento.

#### **4.14.14. Mayor Vigilancia y Presentación de Informes**

El condado puede sospechar que van a existir problemas en el futuro cuando una instalación en determinado momento no cumple con las disposiciones. Para poder vigilar mejor las actividades de dicha instalación, el municipio puede exigir un mayor número de auto-inspecciones hasta que se demuestre el cumplimiento constante del usuario.

#### **4.14.15. Recompensa por Información**

La recompensa monetaria por información sobre la falsificación de los resultados de vigilancia o sobre la realización de otro tipo de infracción puede servir para tener un mayor control sobre los usuarios.

#### **4.14.16. Permisos de Corto Plazo**

Si se reduce la duración de los permisos, el condado puede supervisar mejor a los usuarios. El proceso de renovación de dichos permisos representa la mejor oportunidad para evaluar si el tratamiento de la descarga de agua residual es suficiente, así como su grado de cumplimiento.

#### **4.14.17. Establecimiento de un Plan de Respuesta Coercitiva**

Con el fin de asegurarse que los condados impongan procedimientos específicos para la ejecución de la ley, el Reglamento General de Pretratamiento de Estados Unidos dispone que todos los condados que estén obligados a tener programas de pretratamiento tienen que establecer programas de respuesta coercitiva que indiquen como van a responder ante situaciones de falta de cumplimiento. Según los términos de la Parte 403.8(f)(5), del Título 40 del Código de Reglamentos Federales, dicho plan debe:

- a) Describir la forma en que el condado investigará casos de incumplimiento.
- b) Describir los tipos de respuesta coercitiva gradual que el condado va a tomar en todos los casos de infracciones que se puedan prever, así como el período de tiempo en que dicha respuesta tendrá lugar.
- c) Identificará con su título a los funcionarios del condado responsables por cada tipo de respuesta.
- d) Reflejar adecuadamente la principal responsabilidad del condado de hacer que se cumplan todas las normas y requisitos del programa de pretratamiento

La EPA considera que el establecimiento de dicho plan refuerza considerablemente el esfuerzo de los condados en asegurar el cumplimiento de la ley, al hacer que los condados estén preparados de antemano para responder a la falta de cumplimientos. Mientras que otros requisitos federales se centran en la autoridad legal del condado, los requisitos del plan federal de respuesta coercitiva se refieren al establecimiento de procedimientos para aplicar dicha autoridad legal.

El plan deberá prepararse por un equipo con capacidad y experiencia que esté familiarizado con las políticas municipales para asegurar el cumplimiento de los reglamentos de prevención de la contaminación del agua.

De acuerdo con el Reglamento General de Pretratamiento de Estados Unidos, los condados tienen que responder de alguna forma en todos los casos en que las instalaciones no cumplan con las disposiciones. La EPA también ha establecido una categoría de incumplimiento denominada "*significant non-compliance*". Según lo establecido en la Parte 403.8(f)(20)(ii) se considera que una instalación ha cometido una falta importante si la infracción se encuentra dentro de los siguientes criterios:

**a) Infracciones crónicas de los límites de descarga de aguas residuales.**

Es decir, casos en los que un 66% o más de todas las medidas tomadas durante un período de 6 meses exceden (en cualquier cantidad) el límite máximo diario o el límite medio establecido para el contaminante en cuestión.

**b) Infracciones de criterio de revisión técnica.**

Son aquellos casos en que 33% o más de todas las medidas de un contaminante tomadas durante un período de 6 meses son iguales o superiores al producto de multiplicar el límite máximo diario o el límite promedio por el criterio de revisión técnica correspondiente (dicho criterio es 1.4 en el caso de la demanda bioquímica de oxígeno, los sólidos suspendidos totales, y grasas y aceites, éste es de 1.2 para los demás contaminantes, a excepción del pH).

**c) Cualquier infracción de un límite de efluente.**

El límite puede ser máximo diario o promedio a largo plazo que un municipio determine que ha causado (ya sea por sí mismo o en combinación con otras descargas) interferencias o paso sin tratamiento, haya puesto en peligro la salud de los trabajadores de la planta o del público en general.

**d) Cualquier descarga de un contaminante que cause un peligro inminente.**

Para la salud y el bienestar humano, para el medio ambiente o que lleve a los administradores de la planta de tratamiento del condado a ejercer la autoridad que le concede la Parte 403 8(f)(1)(vi)(B), del Título 40 del CFR en caso de emergencia

**e) Ocultar información.**

El no facilitar dentro de los 30 días siguientes a la fecha de vencimiento los informes requeridos (como informes iniciales de referencia, informes de cumplimiento de 90 días, informes periódicos de auto-inspección e informes sobre el cumplimiento de las fechas límite).

**f) Inexactitud en un informe de incumplimiento**

- a) Cualquier otra infracción o grupo de infracciones que el condado considere que afectarán negativamente al programa municipal de pretratamiento.

## **CAPITULO V**

# **PROPUESTA PARA EL CONTROL DE DESCARGAS EN MÉXICO**

---

Como se ha visto hasta ahora, el agua residual tiene una composición tan variable, que es prácticamente imposible poder caracterizarla totalmente. Sin embargo, para poder proponer la simplificación del procedimiento de control, se requiere tomar en cuenta lo que existe actualmente, pero no depender de ello, por lo tanto se proponen dos modificaciones: simplificación en los procedimientos de visitas y en los parámetros a analizar.

#### **Procedimientos de visita.**

Se proponen cuatro procedimientos diferentes de inspección (que son usualmente empleados en los Estados Unidos de Norteamérica), en vez de uno solo.

- a) **Visita integral.**- Es aquélla en la que se vigila el cumplimiento de la Ley de Aguas Nacionales de manera general, en aprovechamientos de agua, descargas de agua residual, ocupación de zonas federales (propiedad de la nación) y extracción de materiales pétreos de los cauces de los cuerpos de agua.
- b) **Visita de verificación.**- En esta visita solo se analiza un aspecto muy particular; por ejemplo, si la planta de tratamiento de agua funciona adecuadamente. Estas visitas se generarían por alguna denuncia o por una visita integral previa, en éste último caso, se revisarán únicamente la solventación de las observaciones de la visita previa.
- c) **Visita de atención de emergencias.**- Este procedimiento es generado por una denuncia. No se informa previamente al presunto infractor que va a ser visitado, simplemente se llega con la orden de visita y se procede a analizar exclusivamente el motivo de la denuncia.

- d) Visita periódica.- Se emplearía para generar un registro histórico del comportamiento de un usuario de agua. Se generaría de una visita integral y se revisarían periódicamente los aspectos en los que ha incurrido en alguna falta, principalmente en lo relativo a la descarga del agua residual

El procedimiento simplificado de muestreo se emplearía principalmente en este último tipo de visita y consistiría en el empleo de parámetros integrativos, es decir, análisis que dan información sobre aspectos amplios del agua residual de la siguiente manera:

- a) Para aguas residuales de tipo doméstico.- En este tipo de agua se requeriría analizar principalmente:

Materia flotante.- Proporciona información del tipo de agua descargada y de si ha sido sometida a procesos industriales.

Huevos de helminto - Esta prueba de laboratorio debe hacerse para asegurar que el agua que posteriormente se use en riego agrícola no contenga parásitos

Sólidos sedimentables.- Proporciona información de los sólidos que arrastra el agua y se emplea básicamente para saber la forma en que el agua sale (entre más caudalosa sea la corriente o menos tiempo de reposo tenga, más sólidos sedimentables tendrá).

pH - Este parámetro nos puede dar información valiosa en cuanto al tipo de agua que se está muestreando, ya que si es menor a 6 o superior a 8, se infiere que el agua es de origen industrial, no municipal.

Temperatura.- Si el agua tiene una diferencia mayor a diez grados respecto a la temperatura ambiente, puede suponerse un componente industrial y debe ser tratada como tal.

Oxígeno disuelto.- Es una medida de la cantidad de materia orgánica que tiene la descarga; ya que las bacterias requieren oxígeno para degradar materia orgánica y si no está presente, podemos asegurar que hay una gran cantidad de bacterias y materia orgánica. Si el valor de este parámetro es cero, se analizará:

Demanda Bioquímica de Oxígeno.- Esta prueba que puede realizarse en campo (aunque se recomienda que se realice en laboratorio) nos indica cuánta materia orgánica biodegradable existe en el agua.

Coliformes fecales.- Una vez que se sabe que hay bacterias, se analizan las especies de bacterias presentes, en este caso, indicadores biológicos de bacterias patógenas. Este parámetro puede analizarse en campo, pero se recomienda hacerse en laboratorio.

Adicionalmente se pueden analizar los siguientes parámetros de laboratorio para asegurar que el agua tiene componentes industriales.

Grasas y Aceites - Esta prueba da un indicio de si el agua analizada presenta componentes industriales, ya que el agua sanitaria cruda presenta una baja concentración de éstos (aproximadamente 150 mg/l).

Turbiedad.- Este parámetro proporciona información en cuanto a las partículas orgánicas e inorgánicas suspendidas en el agua, lo que indica si el agua tiene componentes industriales

- b) Agua de origen industrial.- Si se ha comprobado que el agua proviene de alguna industria o no se conoce con certeza, se analizarán los siguientes parámetros:

Materia flotante - Proporciona información del tipo de agua descargada y de si ha sido sometida a procesos industriales, debe estar ausente.

Toxicidad.- Proporciona información del tipo de químicos disueltos en el agua, debe tener un valor de cero.

Los sistemas actuales para la determinación de toxicidad en agua son sencillos y rápidos, consisten en una solución de 500 µl de un cultivo de *vibrio fisheri* (bacterias luminiscentes) que emite una cierta cantidad de luz, después de haber medido ésta emisión con un luminómetro, se agrega una muestra de 500 µl del agua, se pone a incubar de 5 a 30 minutos a 15°C y se vuelve a medir la luminosidad de las bacterias; su disminución da la lectura de toxicidad del agua.

Las bacterias emiten luz como parte de sus procesos metabólicos, las toxinas interfieren con estos procesos metabólicos que producen la luz, lo que genera su disminución; estos cambios equivalen al nivel de toxinas en la muestra. Esto significa que las toxinas puedan monitorearse fácilmente.

El cultivo de *vibrio fisheri* puede proveerse de manera comercial en muestras secas que evitan la necesidad de mantener inventarios de cultivos vivos.

pH - Este parámetro debe compararse con los valores indicados en la NOM-001-ECOL-1996.

Temperatura.- Este parámetro debe compararse con los valores indicados en la NOM-001-ECOL-1996.

Sólidos Suspendidos Totales.- Proporciona información en cuanto al tipo de químicos que tiene disuelto el agua, debe tener un valor menor a 30 mg/l.

Demanda Química de Oxígeno.- Proporciona información del tipo de componentes químicos del agua y debe tener un valor menor a 300 mg/l. Este parámetro se puede analizar en campo.

Oxígeno disuelto.- Es una medida de la cantidad de materia orgánica que tiene la descarga, ya que las bacterias requieren oxígeno para degradar la materia orgánica. Si el valor de este parámetro es cero, se analizará.

Demanda Bioquímica de Oxígeno.- Esta prueba que puede realizarse en campo (aunque se recomienda que se realice en laboratorio) nos indica cuánta materia orgánica biodegradable existe en el agua.

Coliformes fecales.- Una vez que se sabe que hay bacterias, se analizan las especies presentes, en este caso, indicadores biológicos de bacterias patógenas. Este parámetro puede analizarse en campo, pero se recomienda hacerse en laboratorio.

Todos estos parámetros pueden medirse en campo, en el caso de que **alguno** no cumpla con los valores indicados, se analizará

Grasas y aceites.- Proporciona información de los contaminantes no solubles presentes en el agua.

Turbiedad.- Este parámetro proporciona información en cuanto a las partículas orgánicas e inorgánicas suspendidas en el agua.

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

Es conveniente hacer una reflexión sobre el empleo de sanciones fiscales (pago de impuestos) para el control de descargas. En el presente trabajo se ha dicho que derivado de un acto de inspección, un usuario que no cumpla con la legislación aplicable se hará acreedor a una sanción de tipo administrativo (una multa o la cancelación temporal o permanente del proceso que genera la descarga). Sin embargo, estos usuarios pagan derechos, lo que algunas veces se ha malinterpretado como "un pago por contaminar", circunstancia que era indispensable cuando no existía una legislación general, pero que ha quedado obsoleta al publicarse la norma NOM-001-ECOL-1996, que debe ser cumplida por todos los usuarios, independientemente de su pago de impuestos, por ello también se recomienda que se derogue de la Ley Federal de Derechos el pago por uso de cuerpos receptores tomando en cuenta la concentración de contaminantes descargados, cobrándose únicamente por volumen descargado, por los gastos que genera la administración y monitoreo de los cuerpos de agua; de esta manera, el usuario que contamine no pagaría más impuestos, sino que sería acreedor a una sanción administrativa severa (llegando incluso a la clausura de la descarga) y pagaría el gasto de sanear el cuerpo de agua. Por ello, la normatividad en materia de descargas en México toma esta forma:

LINEAMIENTOS DE CALIDAD DEL AGUA (ANEXO A)  
(LÍMITES IDEALES)

---

CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA  
(LÍMITES PARTICULARES)

---

NOM-001-ECOL-1996  
(LÍMITES BÁSICOS)

## REFERENCIAS

1. Comisión Nacional del Agua – Environmental Protection Agency, Curso de Capacitación en Control de Descargas, (1997)
2. Comisión Nacional del Agua, Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, (1996).
3. Comisión Nacional del Agua, Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, Enero (1998).
4. Comisión Nacional del Agua, Manual de muestreo, mediciones de campo en cuerpos de agua y descargas de aguas residuales, Subdirección General Técnica, Octubre (1995).
5. Comisión Nacional del Agua, Selección e Instalación de Equipos de Macromedición. Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Junio (1994).
6. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, Ed. Trillas (1998).
7. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Manual de Aforos, 2ª Ed., Diciembre (1992)
8. Metcalf & Eddy Inc , Ingeniería Sanitaria, Tratamiento, Evacuación y Reutilización de Aguas Residuales, Ed. Labor, S.A. de C.V., 2a. Ed., (1985).
9. NOM-001-ECOL-1996 Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales

En esta página se encuentra la misión y estrategias de la Federación por lograr este objetivo. Se encuentra información de publicaciones, cursos, información técnica, exposiciones y todo lo relacionado con la preservación del agua

**ANEXO A**  
**LINEAMIENTOS DE**  
**CALIDAD DEL AGUA**

---

TABLA LINEAMIENTOS DE CALIDAD DEL AGUA				
Parámetros	USOS			
Unidades en mg/L si no se indican otras	1	2	3	4
<b>PARAMETROS INORGANICOS</b>				
ALCALINIDAD (como CaCO <sub>3</sub> )	400.0	-	(I)	(I)
ALUMINIO	0.02	5.0	0.05	0.2
ANTIMONIO	0.1	0.1	0.09	-
ARSÉNICO	0.05	0.1	0.2 <sub>(como As III)</sub>	0.04 <sub>(como As III)</sub>
ASBESTOS (fibras/L)	3000	-	-	-
BARIO	1.0	-	0.01	0.5
BERILIO	0.005	(III)	0.003	0.1
BORO	1.0	0.7 (V)	-	0.009(XII)
CADMIO	0.01	0.01	(XIII)	0.0002
CIANURO (como CN <sup>-</sup> )	0.02	0.02	0.005(XII)	0.005
CLORUROS (como Cl <sup>-</sup> )	250	150	250	-
COBRE	1.0	0.20	(VII)	0.01
CROMO TOTAL	0.05	0.1	0.05	0.01
FIERRO	0.3	5.0	1.0	0.05
FLUORUROS (como F <sup>-</sup> )	1.4	1.0	1.0	0.5
FOSFATOS (como PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	0.1	-	(IX)	0.002
MANGANESO	0.05	0.2	-	0.02
MERCURIO	0.001	-	0.0005	0.0001
NIQUEL	0.01	0.2	(X)	0.002
NITRATOS (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> como N)	5.0	-	-	0.04
NITRITOS (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> como N)	0.05	-	-	0.01
NITRÓGENO AMONIACAL (como N)	-	-	0.06	0.01
OXÍGENO DISUELTTO (XI)	4.0	-	5.0	5.0
PLATA	0.001	-	(XIV)	0.002
PLOMO	0.05	0.5	(XV)	0.01
SELENIO (como Selenato)	0.01	0.02	0.008	0.005
SULFATOS (como SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	250	250	-	-
SULFUROS (como H <sub>2</sub> S)	0.2	-	0.002	0.002
TALIO	0.01	-	0.01	0.02
ZINC	5.0	2.0	(XVII)	0.02
<b>PARAMETROS ORGANICOS</b>				
ACENAFTENO	0.02	-	0.02	0.01
ÁCIDO 2,4 DICLOROFENOXIACÉTICO	0.1	-	-	-
ACRILONITRILLO	0.0006	-	0.07	-
ACROLEÍNA	0.3	0.1	0.0007	0.0005
ALDRIN	0.001	0.02	0.0003	0.0074
BENCENO	0.01	-	0.05	0.005
BENCIDINA	0.0001	-	0.02	-
BIFENILOS POLICLORADOS	0.0005	-	0.0005	0.0005
BHC (IV)	-	-	0.001	0.000004
BHC (LINDANO)	0.003	-	0.002	0.0002
BIS(2-CLOROETIL)ÉTER	0.0003	-	0.00238	-
BIS(2-CLOROISOPROPIL)ÉTER	0.03	-	0.00238	-
BIS(2-ETILHEXIL)FTALATO	0.032	-	0.0094	0.02944
4-BROMOFENIL-FENIL-ÉTER	-	-	0.01	-
BROMOFORMO	0.002	-	-	-
BROMURO DE METILO	0.002	-	-	-

Propuesta para el control de descargas en México

CARBONO ORGANICO.				
EXTRACTABLE EN ALCOHOL	1 5	-	-	-
EXTRACTABLE EN CLOROFORMO	0.3	-	-	-
CLORDANO(Mezcla Técnica de Metabolitos)	0.003	0.003	0.002	0 00009
CLOROBENCENO	0.02	-	0 0025	0 0016
2-CLOROETIL-VINIL-ÉTER	-	-	0.5	-
2-CLOROFENOL	0.03	-	0 04	0 1
CLOROFORMO	0 03	-	0.03	0 1
CLORONAFTALENOS	-	-	0 02	0 0001
CLORURO DE METILENO	0.002	-	-	-
CLORURO DE METILO	0.002	-	-	-
CLORURO DE VINILO	0.005	-	-	-
DDD: Diclorofenildicloroetano	0.001	-	0.00001	0.00001
DDE: 1,1 Di(clorofenil)-2,2 dicloroetileno	-	0.04	0.01	0 0001
DDT 1,1 Di(clorofenil)-2,2,2 tricloroetano	0.001	-	0.001	0 0001
DICLOROBENCENOS	0.4	-	0.01	0.02
1,2 DICLOROETANO	0 003	-	1 2	1 1
1,1 DICLOROETILENO	0 003	-	0.116	2.24
1,2 DICLOROETILENO	0.0003	-	0 116	2 24
2,4 DICLOROFENOL	0 03	-	0.02	-
1,2 DICLOROPROPANO	-	-	0.2	0 1
1,2 DICLOROPROPILENO	0.09	-	0 06	0 008
DIELDRIN	0.001	0 02	0.002	0.0009
DIETILFTALATO	0.35	-	0 0094	0 02944
1,2 DIFENILHIDRACINA	0 0004	-	0.003	-
2,4 DIMETILFENOL	0.4	-	0 02	-
DIMETILFTALATO	0 3	-	0 0094	0 02944
2,4 DINITROFENOL	0 07	-	0.002	0.05
DINITRO- <i>o</i> -CRESOL	0.01	-	-	0.01
2,4 DINITROTOLUENO	0 001	-	0.0033	0 0059
2,6 DINITROTOLUENO	-	-	0.0033	0.0059
ENDOSULFAN (Alfa y Beta)	0 07	-	0 0002	0 00003
ENDRIN	0 0005	-	0.00002	0 00004
ETILBENCENO	0.3	-	0 1	0.5
FENOL	0 001	-	0.1	0.06
FLUORANTENO	0 04	-	-	0.0004
GASES DISUELTOS	-	-	(XVIII)	(XVIII)
HALOMETANOS	0 002	-	0.1	-
HEPTACLORO	0.0001	0.02	0.0005	0.0005
HEXACLOROBENCENO	0 00005	-	0.0025	0.0016
HEXACLOROBUTADIENO	0 004	-	0.0009	0.0003
HEXACLOROCICLOPENTADIENO	0.001	-	0.0001	0.0001
HEXACLOROETANO	0 02	-	0.01	0.009
HIDROCARBUROS AROMÁTICOS	0 0001	-	-	0 1
POLINUCLEARES				
ISOFURONA	0 052	-	1 2	0 1
METOXICLORO	0 03	-	0.000005	0 00044
NAFTALENO	-	-	0 02	0 02
NITROBENCENO	0 020	-	0 3	0 07
2-NITROFENOL Y 4-NITROFENOL	0 07	-	0 002	0 05
N-NITROSODIFENILAMINA	0 05	-	0 0585	0 033
N-NITROSODIMETILAMINA	0 0002	-	0 0585	0 033
N-NITROSODI-N-PROPILAMINA	-	-	0 0585	0 033

Propuesta para el control de descargas en México

PARATION	0.0001	-	0.0001	0.0001
PENTAFLOROFENOL	0.03	-	0.0005	0.0005
SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO	0.5	-	0.1	0.1
2,3,7,8 TETRAFLORODIBENZO-P-DIOXINA	0.0001	-	0.0001	0.0001
1,1,2,2 TETRAFLOROETANO	0.002	-	0.09	0.09
TETRAFLOROETILENO	0.008	-	0.05	0.1
TETRAFLORURO DE CARBONO	0.0002	-	0.3	0.5
TOLUENO	0.7	-	0.2	0.06
TOXAFENO	0.005	0.005	0.0002	0.0002
1,1,1 TRICLOROETANO	0.2	-	0.2	0.3
1,1,2 TRICLOROETANO	0.006	-	0.2	-
TRICLOROETILENO	0.03	-	0.01	0.02
2,4,6 TRICLOROFENOL	0.01	-	0.01	-
<b>PARAMETROS FISICOS</b>				
ASPECTOS ESTÉTICOS	(II)	(II)	(II)	(II)
COLOR (Unidades de Escala Pt-Co)	75.0	-	(VIII)	(VIII)
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µs/cm)	-	1000	-	-
GRASAS Y ACEÍTES	AUSENTE	-	AUSENTE	AUSENTE
MATERIA FLOTANTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
OLOR	AUSENTE	-	-	-
POTENCIAL HIDRÓGENO (pH)	6.0 - 9.0	6.0 - 9.0	6.5 - 8.5	6.0 - 9.0
SABOR	CARACTERÍSTICO	-	-	-
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	500.0	500.0 (XV I)	-	-
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	50.0	50.0	(VIII)	(VIII)
SÓLIDOS TOTALES	550.0	-	-	-
TEMPERATURA (°C)	CN+2.5	-	CN+1.5	CN+1.5
TURBIEDAD (Unidades de turbiedad nefelométricas)	10	-	(VIII)	(VIII)
<b>PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS</b>				
COLIFORMES FECALES (NMP/100 ml)	1000	1000	1000	240

Para la aplicación de los valores contenidos en la tabla anterior, se deberá considerar lo siguiente:

**USO 1: Fuente de abastecimiento para uso público urbano.**

**USO 2: Riego agrícola.**

**USO 3: Protección a la vida acuática: Agua dulce, incluye humedales.**

**USO 4: Protección a la vida acuática: Aguas costeras y estuarios.**

- (I): La alcalinidad natural no debe reducirse en más del 25%, ni cuando ésta sea igual o menor a 20 mg/l.
- (II): El cuerpo de agua debe estar libre de sustancias que:
1. Formen depósitos que cambien adversamente las características físicas del agua;
  2. Contengan materia flotante que den apariencia desagradable;
  3. Produzcan olor, sabor o turbiedad;
  4. Propicien la vida acuática indeseable o desagradable.
- (III): Para riego continuo, un máximo de 0.1 mg/l y para suelos alcalinos y de textura fina, un máximo de 0.5 mg/l.
- (IV): Los datos para BHC involucran la mezcla de isómeros alfa, beta y épsilon.
- (V): Cultivos sensibles al boro, un máximo de 0.75 mg/l; otros hasta 3 mg/l.
- (VI): La concentración promedio de cadmio de 4 días en mg/l no debe exceder más de una vez cada 3 años el valor de la siguiente ecuación:

$$C(\text{mg/L}) = \exp(0.7852[\ln(\text{dureza})] - 3.49) \quad \text{Dureza} = \text{mg/l como CaCO}_3$$

- (VII): La concentración promedio de cobre de 4 días en mg/L no debe exceder más de una vez cada 3 años el valor de la siguiente ecuación:

$$\text{Cu}(\text{mg/L}) = \exp(0.8545[\ln(\text{dureza})] - 1.465) \quad \text{Dureza} = \text{mg/l como CaCO}_3$$

- (VIII): Los sólidos suspendidos en combinación con el color, no deben reducir la profundidad del nivel de compensación de la luz para la actividad fotosintética en más de 10% a partir del valor natural.

- (IX): En influentes de los embalses, el fósforo no debe exceder de 0.05 mg/l; dentro del embalse, menor a 0.0059 mg/l; y para ríos hasta 0.1 mg/l.

- (X): La concentración promedio de níquel de 4 días en mg/l no debe exceder más de una vez cada 3 años el valor numérico en la siguiente ecuación:

$$\text{Ni}(\text{mg/L}) = \exp(0.846[\ln(\text{dureza})] + 1.1645) \quad \text{Dureza} = \text{mg/l como CaCO}_3$$

- (XI): Valores mínimos admisibles.
- (XII): La concentración promedio de 4 días de esta sustancia no debe exceder este nivel, más de una vez cada 3 años.
- (XIII): La concentración promedio de cadmio de 4 días, en  $\mu\text{g/L}$ , no debe exceder más de una vez, cada 3 años, el valor numérico de la siguiente ecuación:

$$\text{Cd}(\mu\text{g/L}) = \exp(0.7852[\ln(\text{dureza})] - 3.490) \quad \text{Dureza} = \text{mg/l como CaCO}_3$$

- (XIV): La concentración de plata en  $\text{mg/L}$  no debe exceder el valor numérico dado por la siguiente ecuación:

$$\text{Ag}(\text{mg/L}) = \exp(1.72[\ln(\text{dureza})] - 6.52) \quad \text{Dureza} = \text{mg/l como CaCO}_3$$

- (XV): La concentración promedio de plomo de 4 días en  $\text{mg/L}$  no debe exceder más de una vez cada 3 años el valor numérico en la siguiente ecuación:

$$\text{Pb}(\text{mg/L}) = \exp(1.273[\ln(\text{dureza})] - 4.075) \quad \text{Dureza} = \text{mg/l como CaCO}_3$$

- (XVI): Cultivos sensibles 500-1000  $\text{mg/l}$ ; Cultivos con manejo especial 1000-2000  $\text{mg/l}$ ; Cultivos tolerantes en suelos permeables 2000-5000  $\text{mg/l}$ ;  
Para frutas sensibles relación de absorción de sodio (RAS)  $\leq 4$ , y para forrajes de 8-18.

- (XVII): La concentración promedio de zinc de 4 días en  $\text{mg/L}$  no debe exceder más de una vez cada 3 años el valor numérico en la siguiente ecuación:

$$\text{Zn}(\text{mg/L}) = \exp(0.8473[\ln(\text{dureza})] + 10.3604) \quad \text{Dureza} = \text{mg/l como CaCO}_3$$

- (XVIII) La concentración total de gases disueltos no debe exceder a 1.1 veces el valor de saturación en las condiciones hidrostáticas y atmosféricas prevalentes.

C.N. Condiciones Naturales del cuerpo receptor.

NMP= NÚMERO MÁS PROBABLE. BHC=HCH=1,2,3,4,5,6  
HEXACLOROCICLOHEXANO. NIVELES MÁXIMOS EN  $\text{mg/L}$ ,  
EXCEPTO CUANDO SE INDIQUE OTRA UNIDAD.