



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA Y
ARQUITECTURA**

SECCIÓN DE ESTUDIO DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**PROPUESTA DEL INDICE DE CALIDAD DEL AGUA
RESIDUAL PARA EL DISTRITO FEDERAL,
UTILIZANDO UN MODELO ARITMETICO
PONDERADO**

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
EN INGENIERIA AMBIENTAL

P R E S E N T A:
PABLO FLORES JACINTO



MEXICO, D. F.

JUNIO DE 2009



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México D.F. siendo las 18:00 horas del día 04 del mes de Diciembre del 2008 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.A.-U.Z. para examinar la tesis de grado titulada: "PROPUESTA DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL PARA EL DISTRITO FEDERAL, UTILIZANDO UN MODELO ARITMETICO PONDERADO".

Presentada por el alumno:

<u>FLORES</u> <small>Apellido paterno</small>	<u>JACINTO</u> <small>Apellido materno</small>	<u>PABLO</u> <small>Nombre(s)</small>							
		Con registro:							
		<table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>0</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>5</td> </tr> </table>	B	0	4	1	3	3	5
B	0	4	1	3	3	5			

aspirante de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Director de tesis

DR. JORGE MELÉNDEZ ESTRADA

DRA. MYRIAM ADELA AMEZCUA ALLIERI

M. EN C. RICARDO CONTRERAS CONTRERAS

M. EN T. FELIPE LÓPEZ SÁNCHEZ

DR. JESÚS BERNARDO MALDONADO VERVER Y GARGAS

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

M. EN C. PINO DURÁN ESCAMILLA



SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de México el día 18 del mes julio del año 2009, el que suscribe **FLORES JACINTO PABLO** alumno del Programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental con número de registro B041335, adscrito a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Zacatenco, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Jorge Meléndez Estrada y cede los derechos del trabajo intitulado **“PROPUESTA DEL INDICE DE CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL PARA EL DISTRITO FEDERAL, UTILIZANDO UN MODELO ARITMETICO PONDERADO”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección pabloflores100@gmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Flores Jacinto Pablo

INDICE GENERAL

SECCIÓN	
INDICE GENERAL	iv
CONTENIDO	v
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
ACRONIMOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	Xvi
ESTADO DEL ARTE	xviii
OBJETIVO	xxi
JUSTIFICACIÓN	xxii

	Página
Capitulo 1 Uso y manejo del agua en el Distrito Federal	1
Capitulo 2 Legislación para el control de las aguas residuales	35
Capitulo 3 Indicadores ambientales	44
Capitulo 4 Propuesta del índice de calidad del agua residual	65
Capitulo 5 Estudio de casos	90
Capitulo 6 Discusión	95
Capitulo 7 Conclusiones y recomendaciones	97
Glosario	99
Literatura citada	103
Anexo	110

CONTENIDO

1	USO Y MANEJO DEL AGUA EN EL DISTRITO FEDERAL	1
1.1	El Distrito Federal en el contexto nacional	1
1.2	Regiones y cuencas hidrológicas	3
1.3	Renovación y disponibilidad del recurso agua en el Distrito Federal	4
1.3.1	Precipitación	5
1.3.2	Evapotranspiración	5
1.3.3	Evaporación en los principales cuerpos de agua	5
1.3.4	Infiltración	5
1.3.5	Escurrimiento superficial	5
1.4	Abastecimiento de agua	6
1.5	Uso consuntivo	7
1.6	Balance de agua	8
1.7	Origen de las aguas residuales	9
1.7.1	Excretas	9
1.7.2	Residuos domésticos	9
1.7.3	Arrastre de lluvias	9
1.7.4	Infiltraciones	9
1.7.5	Residuos Industriales	10
1.8	Composición química	10
1.9	Composición biológica	10
1.10	Tratamiento del agua residual	11
1.11	Sistema de alcantarillado	12
1.11.1	Albañal	13
1.11.2	Red de atarjeas	13
1.11.3	Pozos de visita	13
1.11.4	Colectores e interceptores	14
1.11.5	Emisores	14
1.12	Infraestructura de drenaje	14
1.12.1	Materiales de los tubos de drenaje	16
1.12.2	Red primaria y secundaria	19
1.12.3	Otros sistemas de drenaje	21
1.13	Regeneración de los cuerpos de agua	22
1.14	Procesos de tratamiento de las aguas residuales	23
1.14.1	Tratamiento primario	23
1.14.2	Tratamiento secundario	24
1.14.3	Tratamiento terciario	27
1.14.4	Tratamiento de lodos	28
1.15	Plantas de tratamiento en el Distrito Federal	30
2	NORMATIVIDAD AMBIENTAL PARA EL AGUA RESIDUAL	35
2.1	Inicios de la legislación de las aguas residuales	35
2.2	Historia de la legislación en México en materia de agua	38
2.3	Marco normativo en materia de agua residual en México	39
2.4	Observancia en el Distrito Federal	40
2.5	Parámetros de la Norma NOM-002-SEMARNAT-1996	41
3	INDICADORES AMBIENTALES	44
3.1	Indicadores Ambientales	44
3.1.1	Características de los indicadores ambientales	45
3.1.2	Criterios para el desarrollo de indicadores	46
3.2	Categorías usadas como indicadores ambientales	46

3.3	Esquema Presión-Estado-Respuesta (PER)	47
3.3.1	Indicadores de presión	49
3.3.2	Indicadores de estado	49
3.3.3	Indicadores de respuesta	49
3.4	Clasificación de indicadores por nivel	50
3.5	Tipos de indicadores	51
3.5.1	Indicadores geológicos y geomorfológicos	52
3.5.2	Indicadores climáticos	53
3.5.3	Indicadores hídricos	53
3.5.4	Indicadores biológicos	54
3.6	Índices ambientales	55
3.6.1	Índices de calidad del agua	57
3.6.1.1	Índice de calidad del agua (ICA)	58
3.6.2	Índices de calidad de suelo	61
3.6.3	Índices biológicos	62
3.6.4	Índices de calidad del aire	63
3.6.4.1	Índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA)	64
4	PROPUESTA DEL INDICE DE CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL	65
4.1	Marco legal de los indicadores ambientales	65
4.2	Cambios en la calidad del agua	66
4.3	Modelo aplicado para el índice de calidad	68
4.3.1	Identificación de las variables de mayor importancia	68
4.3.2	Límites para los subíndices de calidad	69
4.4	Propuesta de los subíndices de calidad	71
4.4.1	Grasas y aceites	71
4.4.2	Sólidos sedimentables	72
4.4.3	Sólidos suspendidos totales	73
4.4.4	Arsénico total	74
4.4.5	Cadmio total	74
4.4.6	Cianuro total	75
4.4.7	Cromo hexavalente	76
4.4.8	Cobre total	77
4.4.9	Mercurio total	78
4.4.10	Níquel total	79
4.4.11	Plomo total	79
4.4.12	Zinc total	80
4.4.13	Temperatura	81
4.4.14	Potencial de Hidrógeno	82
4.4.15	Demanda Bioquímica de Oxígeno	83
4.5	Fórmulas de los subíndices de calidad	84
4.6	Pesos específicos de los subíndices de calidad	85
4.7	Ecuación del índice de calidad del agua residual	87
4.7.1	Constante de afectación a la red de drenaje K	87
5	ESTUDIO DE CASOS	90
6	DISCUSIÓN	95
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
	GLOSARIO	99
	LITERATURA CITADA	103
	ANEXO	
	NOM-001-SEMARNAT-1996	110
	NOM-002-SEMARNAT-1996	127

LISTA DE TABLAS

	Pág	
Tabla 1.1	Ubicación geográfica del Distrito Federal	1
Tabla 1.2	El ciclo Hidrológico en el Distrito Federal	6
Tabla 1.3	Comparación de las ventajas y desventajas de los diversos materiales de los tubos de drenaje	18
Tabla 1.4	Cauces entubados y otras infraestructuras del sistema general de drenaje en el Distrito Federal	21
Tabla 1.5	Tiempo de regeneración de los cuerpos de agua	22
Tabla 1.6	Resumen del inventario nacional de plantas municipales de tratamiento de aguas residuales en operación	31
Tabla 1.7	Tipo de proceso de las plantas municipales de tratamiento de aguas residuales en operación en el Distrito Federal	32
Tabla 1.8	Plantas municipales de tratamiento de aguas residuales en operación en el Distrito Federal	33
Tabla 2.1	Historia de la legislación sobre el control de la contaminación de aguas	37
Tabla 2.2	Límites máximos permisibles según la Norma NOM-002-SEMARNAT-1996	42
Tabla 2.3	Límites máximos permisibles según los puntos 4.3, 4.4 y 4.5 de la Norma NOM-002-SEMARNAT-1996	42
Tabla 2.4	Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales	43
Tabla 3.1	Clasificación de indicadores por nivel	50
Tabla 3.2	Matriz de análisis de ecosistema	51
Tabla 3.3	Geoindicadores	52
Tabla 3.4	Indicadores climáticos	53
Tabla 3.5	Indicadores hídricos	54
Tabla 3.6	Indicadores biológicos	55
Tabla 3.7	Índices de calidad del agua	57
Tabla 3.8	Subíndices de calidad para el cálculo de Índice de Calidad del Agua	59
Tabla 3.9	Valores de ponderación de cada subíndice	60
Tabla 3.10	Estado del agua según el cálculo del ICA	60
Tabla 3.11	Índices fitoclimáticos	61

Tabla 3.12	Índices bióticos	62
Tabla 3.13	Índices de calidad del aire	63
Tabla 3.14	Subíndices de calidad para el cálculo del IMECA	64
Tabla 4.1	Fermentaciones más importantes que se producen en las aguas residuales	67
Tabla 4.2	Límite máximo permisible para la descarga de aguas residuales hacia la red de drenaje	68
Tabla 4.3	Límites de los parámetros para el cálculo del ICAR en el intervalo de 0 a 100	69
Tabla 4.4	Fórmulas de los subíndices de calidad del agua residual	84
Tabla 4.5	Pesos específicos de los subíndices de calidad	86
Tabla 5.1	Análisis de aguas residuales de una empresa productora de levadura	91
Tabla 5.2	Ejemplo del cálculo del ICAR de una empresa productora de levadura	92
Tabla 5.3	Análisis de aguas residuales de una empresa de galvanoplastia	93
Tabla 5.4	Ejemplo del cálculo del ICAR de una empresa de galvanoplastia	94
Tabla 6.1	Intervalos de calidad basado en el ICAR	96

LISTA DE FIGURAS

	Pág	
Figura 1.1	División política del Distrito Federal	2
Figura 1.2	Regiones y cuencas del Distrito Federal	3
Figura 1.3	Ciclo hídrico	4
Figura 1.4	Consumo de agua en el Distrito Federal	7
Figura 1.5	Balance del uso del agua en el Distrito Federal	8
Figura 1.6	Sistema de alcantarillado	14
Figura 1.7	Drenaje profundo del Distrito Federal	15
Figura 1.8	Sistema combinado de gasto	16
Figura 1.9	Adaptación de la plantilla	16
Figura 1.10	Mapa de densidad de drenaje	19
Figura 1.11	Red primaria y secundaria del sistema de drenaje en el Distrito Federal	20
Figura 1.12	Esquema de sedimentador primario	24
Figura 1.13	Esquema general de la oxidación biológica	26
Figura 1.14	Proceso de lodos activados	27
Figura 1.15	Tratamiento de lodos	29
Figura 1.16	Etapas del tratamiento de las aguas residuales	30
Figura 1.17	Tratamiento de las aguas residuales por estados a nivel nacional	32
Figura 1.18	Flujos tratados de aguas residuales por delegaciones en el Distrito Federal	34
Figura 3.1	Organización de los indicadores PER	48
Figura 4.1	Columnas de los subíndices de calidad que conforman el ICAR	70
Figura 4.2	Subíndice de calidad para el parámetro de Grasas y Aceites	72
Figura 4.3	Subíndice de calidad para los sólidos sedimentables	73
Figura 4.4	Subíndice de calidad para los sólidos suspendidos totales	73
Figura 4.5	Subíndice de calidad para el parámetro de Arsénico total	74
Figura 4.6	Subíndice de calidad para el parámetro de Cadmio total	75
Figura 4.7	Subíndice de calidad para el parámetro de Cianuro total	76
Figura 4.8	Subíndice de calidad para el parámetro de Cromo hexavalente	77

Figura 4.9	Subíndice de calidad para el parámetro de Cobre total	78
Figura 4.10	Subíndice de calidad para el parámetro de Mercurio total	78
Figura 4.11	Subíndice de calidad para el parámetro de Níquel total	79
Figura 4.12	Subíndice de calidad para el parámetro de Plomo total	80
Figura 4.13	Subíndice de calidad para el parámetro de Zinc total	81
Figura 4.14	Subíndice de calidad para el parámetro de Temperatura	81
Figura 4.15	Subíndice de calidad para el parámetro de potencial de Hidrógeno	82
Figura 4.16	Subíndice de calidad para el parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno	83
Figura 4.17	Visitas en materia de agua residual por SMADF y SACM en el 2006	85
Figura 4.18	Corrosión en alcantarillas ocasionado por Ácido Sulfúrico	88

ACRONIMOS

Ar	Arsénico
ATSDR	Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (EE.UU.)
CBM	Corredor Biológico Mesoamericano
Cd	Cadmio
CN	Cianuro
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
Cu	Cobre
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DGCOH	Dirección General de Construcción de Obras Hidráulicas
DGPCDF	Dirección General de Protección Civil del Distrito Federal
EPA	Agencia para la Protección del Ambiente (EE.UU.)
GYA	Grasas y Aceites
Hg	Mercurio
ICA	Índice de Calidad del Agua
ICAR	Índice de Calidad del Agua Residual
IDEAM	Instituto de Estudios Ambientales (Colombia)
IDIAM	Instituto de Incidencia Ambiental (Guatemala)
INECE	Red Internacional de Aplicación y Cumplimiento Ambiental
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
IUGS	Unión Internacional de las Ciencias Geológicas
LADF	Ley Ambiental del Distrito Federal
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
NADF	Norma Ambiental del Distrito Federal
Ni	Níquel
Pb	Plomo
pH	Potencial de Hidrógeno
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
SACM	Sistemas de Aguas de la Ciudad de México
SNMPE	Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía (Perú)
SMADF	Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SS	Sólidos Sedimentables
SST	Sólidos Suspendidos Totales
Zn	Zinc

RESUMEN

El uso del agua en el Distrito Federal se ha convertido en un problema derivado de su déficit, generando lo que algunos especialistas llaman “estrés hídrico”.

La red de drenaje es el conducto por el que viaja el agua residual, ésta es la que directamente ha sido impactada por la agresividad de los contaminantes que acompañan a estos líquidos. En muchas ocasiones el daño que provocan las aguas residuales es tal, que estropean el sistema de la red de alcantarillado, al grado de destruirlo por completo.

Las plantas de tratamiento operan con el fin de regresar al ciclo hídrico el agua utilizada, con la menor carga contaminante posible. Esto se imposibilita muchas veces debido a que las cargas contaminantes son excesivas, es por tanto, primordial que los responsables del uso del agua (las fuentes fijas), al incorporar sus aguas residuales, garanticen que se encuentren en condiciones tales; que sea fácil la remoción de la carga contaminante.

Una vez incorporados estos líquidos residuales a las plantas de tratamiento, se inicia el procedimiento para la adecuación y eliminación de los contaminantes presentes. Las aguas residuales que poseen una elevada concentración de contaminantes, dificultan e imposibilitan su tratamiento, al grado de que las mismas plantas salen de operación para tener un mantenimiento preventivo o en el peor de los casos, correctivo.

La necesidad de contar con un instrumento capaz de informar, mediante el análisis de las aguas residuales de las empresas, el exceso de contaminación, es prioritario y urgente. Esto sólo se puede realizar a través de un índice de calidad para las aguas ingresadas a la red de drenaje.

En materia ambiental, el incremento de índices de calidad ha tenido un gran desarrollo y aceptación, pero en el caso del agua, sólo existe el índice de calidad del agua (ICA) para los cuerpos de agua (ríos, lagos, etc), aplicado por CONAGUA.

A las aguas residuales no se le ha dado la importancia requerida, sólo continúan siendo los desechos que se vierten a la red; ya que el agua residual también debe de guardar cierta calidad con el propósito de facilitar su tratamiento.

Se propone en este trabajo el Índice de Calidad del Agua Residual (ICAR), basado en la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, utilizando en su cálculo 15 subíndices de calidad, ponderados cada uno por un grado de importancia. Su intervalo se plantea de 0 a 100 unidades, y sólo ingresan en el cómputo de datos, los contaminantes que exceden la norma ambiental.

Con el ICAR obtenido se pueden inferir las tareas por realizar en una empresa, es decir, si es necesario que una industria ajuste sus buenas prácticas de manufactura, si necesita un sistema de tratamiento o incluso, la puesta en marcha de una planta de tratamiento para sus aguas residuales.

El ICAR se constituye como una herramienta que la autoridad ambiental debe utilizar. Sustenta la aplicación de las medidas destinadas al control de los contaminantes que son vertidos en el sistema de drenaje.

ABSTRACT

The use of water in Mexico City has become a problem derived from its shortage, causing what some specialists call "hydro stress".

The sewerage is the system of pipes through which this residual water runs and this has been affected by the aggressiveness of the waste, carried by liquid. The damage provoked by the residual water is such that it seriously damages the sewer system, up to the point of destroying it completely.

Treatment plants function with the purpose of returning used water to the water cycle, with the polluting charge possible. This gets almost impossible when the polluted charges excessive, due to this it is important that the people responsible of the use of water employ (the fix sores) guarantee that the residual waters are in condition that would facilitate the removal of pollution.

Once this liquid waste has been incorporated to the treatment plants, begins the process of eliminating the pollution present in the water. The residual waters with a high level of pollution make it difficult and sometimes almost impossible to treat to the point that even the treatment plants go out of service to get preventive or in the worst cases corrective maintenance.

It is a priority to have an instrument capable of informing, based on the waste water analysis from enterprise and on the pollution excess. This can only be achieved by means of a quality standard of the water that gets into the sewerage installations.

On environmental matters, the rising of quality has a big development and acceptance, but in what concerns to water, the quality standard for water (ICA) is the only existent for area water (rivers, lakes, etc.) managed by CONAGUA.

Although contaminated water should keep certain amount of quality to facilitate their treatment, sewer system has not changed, from being just the waste that is poured into the sewer.

In this study is proposed the residual water quality standard (ICAR) based on the Mexican Official Norm, NOM-002-SEMARNAT-1996, using in its calculation 15 quality

sub-standards, each one pondered by a degree of importance; with an interval from 0 to 100 units, and only gets in the data computing the waste that exceeds the environmental norm.

With the ICAR obtained in can be inferred what are procedures to follow in an enterprise, that is, it can be deduced if it is necessary for an industry to adjust to manufacture practices, if it is needed a treatment water system or even the going on of a sewage treatment plant for their residual water.

The ICAR constitutes by itself a tool that the environmental authority must use and supports the application of the measures for the control of the waste that is poured into the sewer system.

INTRODUCCIÓN

El agua residual en México es reglamentada mediante la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, y llevado a cabo el cumplimiento en cada estado por el órgano ambiental que le compete, en el Distrito Federal en particular esta recae tarea en la Jefatura de Supervisión y Dictamen a Descargas perteneciente a la Dirección Ejecutiva de Vigilancia Ambiental de la Secretaría del Medio Ambiente (SMADF).

Es en esta Secretaría donde se instrumentan desde el año de 2005 en conjunto con Sistemas de Aguas de la Ciudad de México (SACM), la inspección a empresas que por su capacidad o procesos son probablemente altamente contaminantes en el rubro de agua residual, esto ha permitido la identificación eficaz de aquellas industrias que deben de regular sus vertidos hacia la red de drenaje conforme a la normatividad.

En el Distrito Federal existe un gran número de empresas que realizan sus actividades, existiendo también una gran variedad de giros, por lo que el vertimiento de sus aguas afectan de manera diferente la red de drenaje. Se puede de forma grossa separar a las empresas en los rubros por su alta contaminación que ejercen en: galvanoplastía, textil, alimentos y productos de limpieza. Cada uno con un comportamiento típico en sus aguas de descarga, la industria de la galvanoplastía ocasiona problemas de metales y potencial de hidrógeno; la textil de temperatura y potencial de hidrógeno; la de alimentos de demanda bioquímica de oxígeno; y la de productos de limpieza que va desde temperatura, potencial de hidrógeno, grasas y aceites hasta sustancias activas al azul de metileno.

Estos inconvenientes en las descargas de aguas residuales han tenido como resultado un decremento más acelerado de la vida útil de la red de drenaje, elevando con mucho el mantenimiento proyectado para el sistema que tiene como función desalojar y conducir las aguas, más aún existen casos donde el mantenimiento ha sido tardío y la carga contaminante que acompaña a las aguas vertidas migran hacia la matriz suelo, donde los estragos de la contaminación es la mayor parte de la veces no cuantificable y el proceso de saneamiento del suelo o remediación es más arduo y costoso. Se menciona que el desalojo de las aguas tiene como objetivo el trasladarlas a lugares donde se someten a un tratamiento, mediante plantas de tratamiento de aguas municipales.

En las plantas de tratamiento se remueve la carga contaminante; mediante procesos tanto primarios como secundarios, de diversas fuentes. Se tiene el dato de que tan solo un aproximado de 10% del agua residual generada tiene tratamiento y la restante es enviada a los cuerpos de agua para su saneamiento natural. Estas condiciones provocan que nuestros cuerpos de agua entren en un elevado estrés hídrico.

Las plantas de aguas residuales en el Distrito Federal están diseñadas para que la remoción de la carga contaminante sea del tipo biológico, es decir, para degradar la materia orgánica que acompaña a las aguas se utilizan microorganismos, que llevan a cabo esta función, utilizando esta carga contaminante como fuente de alimento. Sin embargo estos microorganismos para que cumplan su función es necesario garantizar ciertas condiciones en donde puedan desarrollarse y cumplan sus ciclos de vida. Ahora bien, cuando las aguas residuales son ingresadas al tratamiento con características agresivas (pH ácido, altas concentraciones de hidrocarburos, metales, etc), el proceso de tratamiento es reducido drásticamente ya que en tales condiciones los encargados de la oxidación de la materia orgánica difícilmente sobreviven. Existe, por tanto, la necesidad de poder medir este deterioro en primera instancia en la red de drenaje y, en consecuencia, a las plantas de tratamiento.

Un índice de calidad resulta ser una herramienta útil para poder evaluar una afectación hacia un medio (en este caso en particular el sistema de drenaje público y las plantas de tratamiento de agua residual municipal), que pueden provocar los diferentes contaminantes que acompañan al agua residual. También es un excelente instrumento de comunicación, sintetizando e integrando los datos claves del fenómeno de contaminación excesiva (SEMARNAT, 2005), logrando que tanto los responsables de las fuentes generadoras de contaminantes interpreten cuantitativamente la contaminación como el público en general.

ESTADO DEL ARTE

El aumento en los niveles de contaminación de las aguas ha generado la necesidad de cuantificar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Por otra parte, debido a las diferencias de interpretación entre los encargados de tomar decisiones, los expertos en el tema y del público en general, existe un esfuerzo creciente para desarrollar un sistema indicador que agrupe los parámetros contaminantes más representativos dentro de un marco de referencia unificado.

El Índice de Calidad del Agua (ICA), conforma la agrupación simplificada de algunos parámetros, indicadores de un deterioro en calidad del agua, es una manera de comunicar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Sin embargo, para que dicho índice sea práctico debe de reducir la enorme cantidad de parámetros a una forma más simple, y durante el proceso de simplificación algo de información se sacrifica (León, 1991). Por otro lado si el diseño del ICA es adecuado, el valor arrojado puede ser representativo e indicativo del nivel de contaminación y comparable con otros para enmarcar rangos y detectar tendencias.

Horton en 1965 y Liebman en 1969 son los pioneros en el intento de generar una metodología unificada para el cálculo del ICA.

El primer índice tuvo lugar en 1970, la Fundación de Sanidad Nacional (FSN) de los Estados Unidos (Fernández *et al*, 2001), desarrolló un índice conocido como **Water Quality Index** (WQI), se desarrolló aplicando el método Delphi, considerando la importancia de nueve parámetros que determinan la calidad global del agua, en la formulación de este índice intervinieron alrededor de 142 personas.

Pratti en 1971, presenta un trabajo con trece parámetros y Dinius en 1972 realiza otro similar con once parámetros. La descripción de los sistemas mencionados se puede encontrar en la recopilación hecha por Landwehr en 1974.

Los índices más conocidos son: el índice Langelier (IL) utiliza cuatro parámetros para calcular la calidad del agua que fluyen a través de las tuberías y que pasa por las calderas para depositarlas en piscinas; el índice simplificado de la calidad de las aguas (ISQA), que combina cinco parámetros; el índice de calidad general (ICG), es el más

empleado en España y se obtiene del cálculo de 23 subíndices de calidad ponderados cada uno.

Desde la última década del siglo XX, se dio un incremento importante en los usos de estos índices, en la actualidad existe una cantidad apreciable de formulaciones (Dinius, 1978; Kung, 1992; Dojlido, 1994). Entre las primeras comparaciones son destacables las de Landwehr & Deininger (1976), seguidas por Ott (1978) quien realizó una revisión de los índices usados en Estados Unidos. En Europa los aportes han provenido de estudios como los de van Helmond y Breukel (1996), quienes demostraron que por lo menos 30 índices de calidad de agua son de uso común alrededor del mundo, y consideran un número de variables entre 3 y 72; igualmente, en Croacia, Stambuk-Giljanovc (1999) observó que a través de los años varios índices de calidad de agua han sido formulados, con objetivos propios. Otros estudios como los de Cooper (1994) y Richardson (1997), en Sudáfrica y Australia, se han ocupado de hacer revisiones con el fin de generar sus respectivos índices para estuarios. En Centroamérica se hacen notorios los desarrollos de Montoya (1997) y León (1998). En Colombia los desarrollos de formulaciones propias como las de Ramírez (1997), aunque éstas sí vienen siendo aplicadas regularmente dentro de la industria del petróleo (Fernández *et al.*, 2001).

En México existen los índices de calidad del agua ICA aplicado uno por la CONAGUA y otro KI14 (indicador clave 14) por la SEDESOL del Estado de México.

El primero evalúa la calidad de los cuerpos de agua el cual es una adaptación de Dinius, (1987), modificándose con la inclusión de algunos parámetros sugeridos por el Instituto de Ingeniería de la UNAM en 1974. Esta evaluación de la calidad de las aguas se realiza mediante la Red Nacional de Monitoreo de la CONAGUA.

El segundo es un índice que evalúa el volumen de las aguas tratadas en relación con el volumen de las aguas residuales.

Se tiene proyectado en el país para el 2030 la incorporación de un índice, entre otros, para la sustentabilidad ambiental, en el que compara se a México con Corea del Sur (en este país existe un 77 % de tratamiento de las aguas residuales) por su desarrollo económico similar (SEMARNAT, 2007), evaluando la cantidad de agua tratada con respecto a la cantidad de agua residual generada. En este aspecto en el Gobierno del

Distrito Federal se encuentra el Proyecto de Norma PROY-NADF-012-AGUA-2007, entre sus objetivos se encuentra el reuso de un 30% mínimo de agua tratada.

Sin embargo, hasta el momento, ninguna dependencia ni gobierno ha planteado algún índice de contaminación ambiental que evalúe la descarga de aguas residuales hacia la red de drenaje. Todos los índices hasta ahora se han enfocado a elaborar índices de calidad que afecten a cuerpos de agua. En este presente trabajo se pretende elaborar un índice que puede dar indicios de la contaminación que afecta a la infraestructura de la red de drenaje y, como consecuencia, a las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.

OBJETIVO GENERAL

Proponer un Índice de Calidad de Agua Residual para el Distrito Federal, utilizando un modelo aritmético ponderado, que pueda dar indicios de la afectación que la contaminación de las aguas residuales producen en la infraestructura de la red de drenajes.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar y proponer los parámetros que integraran el índice de calidad del agua residual considerando la Normatividad ambiental existente en México para el vertimiento de las aguas residuales en el sistema de alcantarillado.
- Proponer la escala del índice para los valores mínimos y máximos de concentración de los contaminantes que se descargan hacia la red de drenaje.

JUSTIFICACIÓN

En México en materia de agua se encuentra un sistema indicador de la calidad del agua conocido como ICA, adaptado y modificado del modelo de Dinus en 1987, aplicado por la Red Nacional de Monitoreo de CONAGUA para determinar la calidad en los cuerpos de agua, es decir, principalmente para conocer la calidad del agua en ríos, lagos y estuarios. Su intervalo se encuentra entre 0 y 100 y puede incluir hasta 18 subíndices de calidad, que por su concentración definen la calidad de las aguas apoyándose en una formulación por cada parámetro.

Depende entonces del valor que se obtenga para establecer el uso del cuerpo de agua, entre los que se encuentran el abastecimiento público, la recreación, la pesca y vida acuática, navegación y transporte de agua tratada.

La descripción del estado que guarda un cuerpo de agua mediante sus respectivas caracterizaciones físicas, químicas, biológicas y de contaminantes es traducido en la utilidad que puede tener el cuerpo de agua, pero en el ámbito de las aguas residuales que por su constitución son totalmente diferentes no se puede hablar de un beneficio como tal (a menos claro de aquellas empresas que las requieren para tratarlas e incluirlas en su proceso), sino de una afectación que provoca y que no es amortiguable, por el contrario acumulable.

El índice de calidad para el agua residual en el Distrito Federal se basa en la necesidad de poder procesar la información que nos proporciona el análisis de un agua residual conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, en un aspecto sencillo y mediante esta herramienta es poder dar la atribución de un grado de afectación a los sistemas de drenajes de la Ciudad de México.

Esta necesidad ha sido ya vislumbrada en el Manual Informativo de los Indicadores 2030 de SEMARNAT del 2007, que tiene como metas proyectadas en el año 2030 dentro del programa de Sustentabilidad Ambiental para México, por el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. En donde se propone elaborar un indicador para el agua que compare el consumo de agua y el volumen de agua residual generado. Se expresará en un intervalo de 0 a 100 y la interpretación del indicador es

que un incremento representa un mayor volumen de agua residual que recibe algún tratamiento mejorando las condiciones de sustentabilidad. Lo que implica un desempeño favorable

Sin embargo, el índice propuesto en este trabajo, con las implicaciones y la perspectiva que se tiene de poder comparar la concentración de varios parámetros reglamentados en la normatividad ambiental en materia de descarga de aguas hacia la red de drenaje no ha sido formulado aún.

1

USO Y MANEJO DEL AGUA EN EL DISTRITO FEDERAL

El Distrito Federal fue establecido como lugar de residencia de los poderes federales del país por la Constitución de 1824. Posteriormente ha sufrido ampliaciones y cambios que lo definían compuesto por la ciudad de México y las 12 municipalidades circundantes: Azcapotzalco, Coyoacán, Cuajimalpa, Gustavo A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa, Magdalena Contreras, Milpa Alta, Álvaro Obregón, Tláhuac, Tlalpan y Xochimilco. En 1928 se llevó a cabo una reforma que suprimió las municipalidades existentes y las convirtió en delegaciones: las cuatro en que se dividió a la ciudad (Miguel Hidalgo, Benito Juárez, Cuauhtémoc y Venustiano Carranza) y las doce en que se convirtieron las municipalidades circundantes; un total, entonces, de 16 delegaciones. En la actualidad está abierto un amplio proceso de reforma política y administrativa que da al Distrito Federal una configuración moderna y democrática.

1.1 EL DISTRITO FEDERAL EN EL CONTEXTO NACIONAL

El Distrito Federal es la entidad político-administrativa de la República Mexicana que se localiza en la cuenca de México que está entre la parte austral de la altiplanicie Mexicana y el Sistema Volcánico Transversal, ocupando la porción Suroeste de la cuenca de México. Limita al Norte, Oeste y Este con el Estado de México y al Sur con el estado de Morelos (Tabla 1.1). Por su extensión territorial, 1,499 kilómetros cuadrados, ocupa el último lugar de las entidades administrativas de rango superior (Herrera, 1989).

Tabla 1.1 Ubicación geográfica del Distrito Federal

COORDENADAS GEOGRÁFICAS	PORCENTAJE TERRITORIAL	COLINDANCIAS
Al norte 19°36', al sur 19°03' de latitud norte; al este 98°57', al oeste 99°22' de longitud oeste.	El Distrito Federal representa el 0.1% de la superficie del país.	El Distrito Federal colinda al norte, este y oeste con el estado de México y al sur con el estado de Morelos.

Fuente: INEGI, 2000

Esta cuenca estuvo ocupada en su parte más baja por un lago, por eso es lacustre. Está rodeada de montañas por las que se escurren ríos y arroyos cuyas aguas se acumulan en las partes más bajas. Las montañas impiden que el agua se salga de la cuenca hacia un río y termine en el océano. La cuenca abarca, además, parte de Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y el Estado de México (INEGI, 2000).

En su mayor parte, el Distrito Federal es plano, pero también se encuentran otras formas de relieve como es el Cerro La Cruz del Marqués (Ajusco), la sierra de Las Cruces, Guadalupe y Santa Catarina; los cerros de Chapultepec, La Estrella, Tepeyac y del Judío; los volcanes como el Xitle, el Volcán Tláloc, Cerro Pelado, Volcán Cuautzin y otros.

De las sierras descienden algunos ríos y arroyos como el de la Magdalena, La Piedad y Mixcoac entre otros. Los ríos de Churubusco, San Joaquín y Los Remedios se escurren por la planicie. Uno de los canales más conocidos en el D.F. es el de Xochimilco (INEGI, 2000).

Desde la década de 1940 la ciudad ha tenido un crecimiento constante y acelerado de población por lo que ha rebasado sus límites administrativos para conformar una de las metrópolis más grandes del mundo. En tan sólo el 1% del territorio se concentra aproximadamente el 20% de la población nacional (lo que supone una densidad de población de 5.494 habitantes por kilómetro cuadrado) y el 50% de la actividad industrial, administrativamente dividida en 16 delegaciones (Figura 1.1).

- 1.- Álvaro Obregón
- 2.- Azcapotzalco
- 3.- Benito Juárez
- 4.- Coyoacán
- 5.- Cuajimilpa
- 6.- Cuauhtémoc
- 7.- Gustavo A. Madero
- 8.- Iztacalco
- 9.- Iztapalapa
- 10.- Magdalena Contreras
- 11.- Miguel Hidalgo
- 12.- Milpa Alta
- 13.- Tlahuac
- 14.- Tlalpan
- 15.- Venustiano Carranza
- 16.- Xochimilco

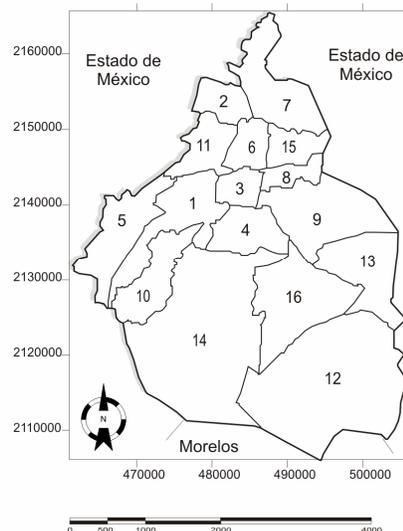


Figura 1.1 División política del Distrito Federal (Fuente: INEGI, 2007)

1.2 REGIONES Y CUENCAS HIDROLÓGICAS

La Región Hidrológica denominada Pánuco (Figura 1.2), es la que ocupa la mayor parte del territorio del Distrito Federal, incluye sólo la Cuenca *R. Moctezuma*, y abarca toda el área de la Ciudad de México. En esta cuenca se localizan ríos tales como Los Remedios, Tacubaya, Mixcoac, Churubusco, Consulado, etc., estando los tres últimos entubados, así como los canales Chalco, Apatlaco y Cuemanco, entre otros; además, se encuentra el lago Xochimilco y los lagos artificiales de San Juan de Aragón y Chapultepec; cabe señalar que todas las corrientes y cuerpos de agua mencionados están inmersos en la mancha urbana. Por otra parte, porciones de la Región Hidrológica del Balsas, se presentan al sur y suroeste del Distrito Federal, que incluye sólo la Cuenca *R. Balsas-Mezcala*, aquí se encuentran los ríos Agua de Lobo y El Zorrillo. La Región Hidrológica Lerma-Santiago, se presenta únicamente en dos pequeñas zonas al oeste del Distrito Federal, las cuales pertenecen a la Cuenca *R. Lerma-Toluca*, estando ausentes corrientes y cuerpos de agua importantes (Lozano, 1989).

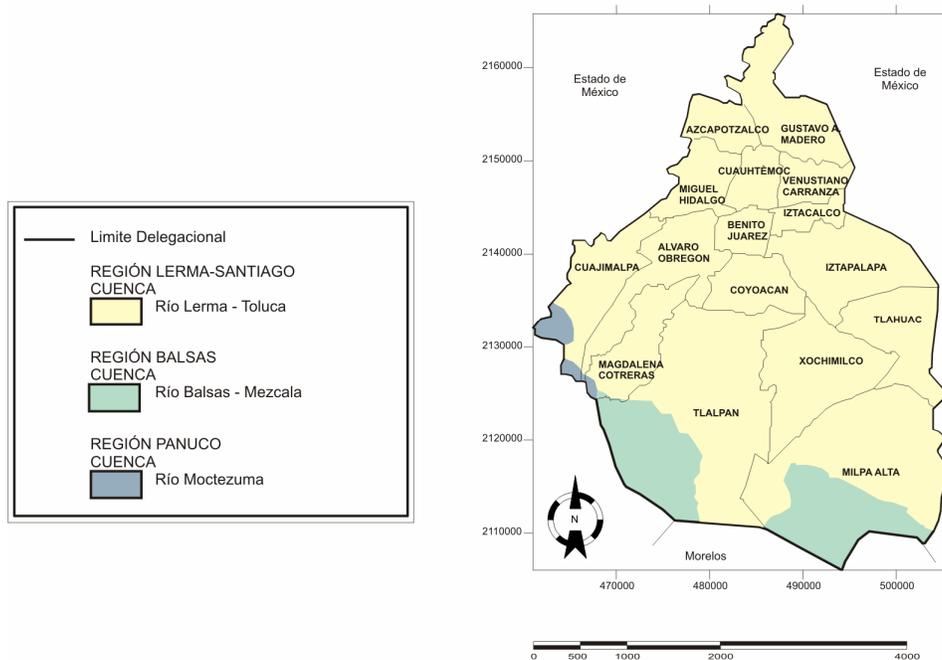


Figura 1.2 Regiones y cuencas del Distrito Federal (Fuente: INEGI, 2007)

1.3 RENOVACIÓN Y DISPONIBILIDAD DEL RECURSO AGUA EN EL DISTRITO FEDERAL

En el sistema total hídrico de la tierra, la renovación de agua natural que ingresa diario a dicho ciclo se recupera en 8 días. Ahora el agua de los océanos equivale al 90 % del volumen existente de agua en la tierra y esta es remplazada cada 2,600 años. Hablando del agua en los ríos que representa un 1% del agua disponible en nuestro planeta. El volumen de agua que se precipita en una cuenca poblada en promedio se utiliza un 10% (García, 2005).

Más aún en la actualidad la demanda de la misma en muchos lugares ha sobrepasado su oferta y entonces ésta diferencia se tiene que subsanar trayéndola de fuentes lejanas y con base en obras de almacenamiento. Cuando el costo de estas obras es mayor que las posibilidades económicas de la sociedad demandante, entonces no existe disponibilidad de este recurso para ellos.

Por lo anterior, el problema de disponibilidad es de recursos económicos que impide la transportación del agua del sitio en el que está disponible hacia el sitio en que se le requiere. Política y socialmente, cada vez con mayor frecuencia, esta transferencia no es posible a ningún costo (García, 2005).

En el Distrito Federal el recurso hidráulico tiene su renovación por la precipitación pluvial, la evapotranspiración, la infiltración y el escurrimiento superficial (Figura 1.3).

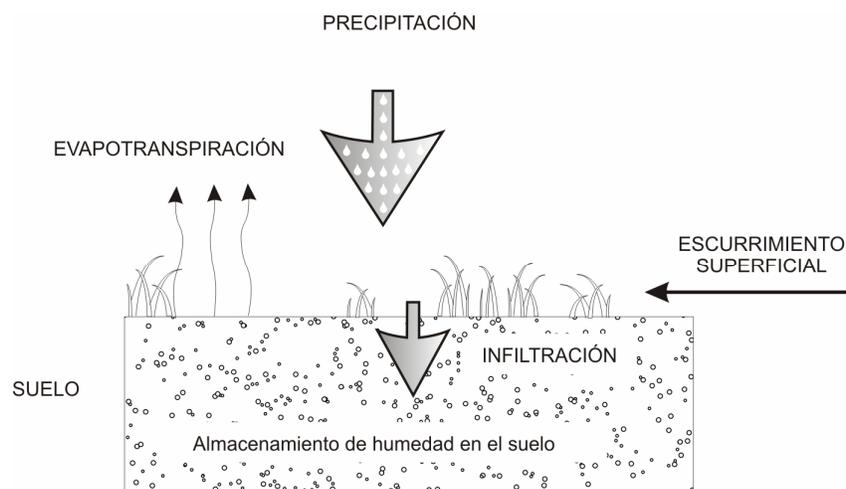


Figura 1.3 Ciclo hídrico (Elaboración propia)

1.3.1 Precipitación

Sistemas de Aguas de la Ciudad de México reporta que la precipitación en la Cuenca del Valle de México, se presenta durante el periodo de mayo a octubre, y el total de la lluvia que se presenta en verano y ocasionalmente en invierno en el Distrito Federal se contabiliza un volumen de 1,314 millones de metros cúbicos.

1.3.2 Evapotranspiración

En el Distrito Federal la evapotranspiración total del tipo vegetal según el cálculo elaborado por Hidrometría y Topografía, S.A. de C.V., reportado por Sistemas de Aguas de la Ciudad de México, es de 753.487 millones de metros cúbicos.

1.3.3 Evaporación en los principales cuerpos de agua

Según la Comisión Nacional del Agua en 1994, realizó el cálculo de la evaporación superficial de los canales de Xochimilco, resultando un volumen evaporado de 16,966 millones de metros cúbicos, que representa un caudal de 0.538 metros cúbicos por segundo.

1.3.4 Infiltración

En el subsistema acuífero de la ciudad de México los volúmenes de infiltración según Lesser y Asociados en 1996 se tiene una recarga de 260.88 mil metros cúbicos al año y un drenado vertical de 89.91 mil metros cúbicos al año (DGCOH, 2000).

1.3.5 Escurrimiento Superficial

De un balance de masas se puede tener la siguiente ecuación

$$\text{Precipitación} = \text{Evapotranspiración} + \text{Evaporación} + \text{Infiltración} + \text{Escurrimiento}$$

De este balance la única incógnita que tenemos es el escurrimiento superficial despejando de la ecuación este valor nos queda que el escurrimiento superficial se puede calcular realizando la resta al volumen precipitado, la infiltración, la

evapotranspiración y la evaporación en cuerpos de agua, dando un resultado de 282.4 millones de metros cúbicos anuales

Por lo tanto como resumen del ciclo hidrológico, así como sus flujos en el Distrito Federal se tienen los datos resultantes mismos que se muestran en la (Tabla 1.2).

Tabla 1.2 El ciclo Hidrológico en el Distrito Federal

CICLO HIDROLÓGICO	GASTO Mm³/Año
Evapotranspiración	753.487
Evaporación	16.966
Infiltración	260.880
Escurrimiento	282.396
Precipitación	1,313.728

Fuente: DGCOH, 1997

1.4 ABASTECIMIENTO DE AGUA

El Estado de México en enero de 2004 reanudó las obras del macrocircuito de agua, para utilizar los 8.2 metros cúbicos por segundo que por decreto le corresponden; por lo que el caudal extra que recibe el Distrito Federal (2 metros cúbicos por segundo), sufrirá una disminución que se traduce en un aumento de suspensión del agua potable en algunas zonas (Alcaraz, 2005).

Para enfrentar esta situación de sobre explotación del subsuelo en el Distrito Federal, se inicio desde el año 2000, programas para hacer más eficiente la red de abasto de agua. Entre los que se encuentra la reparación de fugas, que según los cálculos de Comisión Nacional del Agua al menos el 40% del agua potable se pierde en la conducción y distribución.

Las estadísticas oficiales revelan un constante incremento en el porcentaje de la población del Distrito Federal que tiene acceso a un suministro de agua doméstica adecuado. Esto se ha conseguido a pesar de los grandes incrementos de población.

El Cutzamala produce 16 metros cúbicos por segundo, de estos se otorgan 6 metros cúbicos por segundo al Estado de México y 10 metros cúbicos por segundo al Distrito Federal zonas (Alcaraz, 2005). El decreto Presidencial de 1982 indica que el Distrito Federal no deberá de utilizar más de 8.2 metros cúbicos por segundo (Figura 1.4).

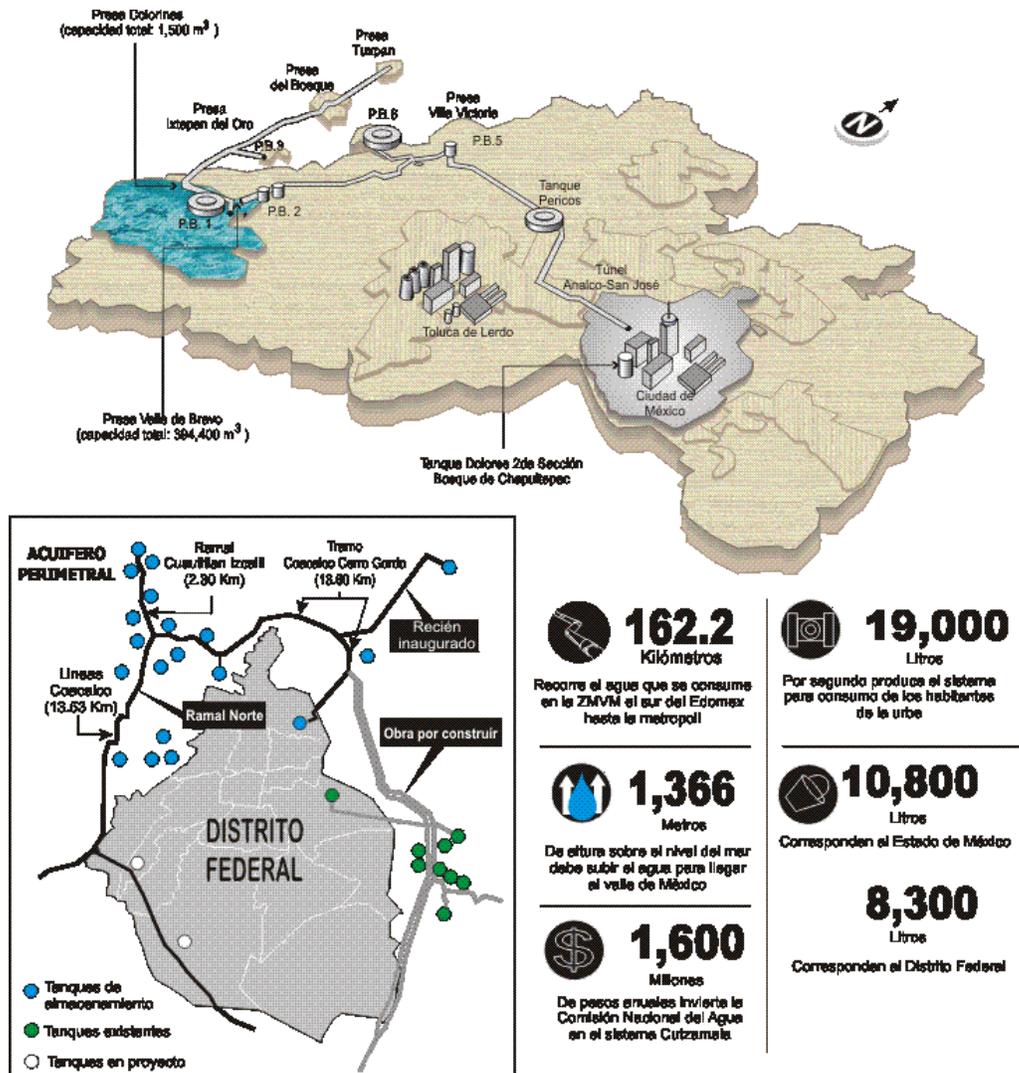


Figura 1.4 Consumo de agua en el Distrito Federal (Fuente: Alcaraz, 2005)

1.5 USO CONSUNTIVO

A este uso corresponde 2.97 m³/s de agua que se utiliza para los procesos productivos y se incorpora en los productos que se expenden al consumidor (refrescos y bebidas). También es aquella que se pierde en la evaporación y que requieren animales y plantas en la ciudad; esta agua no es recuperable. El uso consuntivo no tiene una

tendencia creciente ya que el crecimiento poblacional tiende a estabilizarse y el desarrollo industrial se encuentra en algunos casos migrando del Distrito Federal.

1.6 BALANCE DE AGUA

Como ya se definió en líneas anteriores, el agua debido a su utilización en un proceso, servicio o cualquier actividad, modifica sus condiciones iniciales, aumentando los contaminantes los cuales en determinadas concentraciones, pueden producir efectos negativos en la salud humana y en el medio ambiente, dañar la infraestructura hidráulica o inhibir los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

Para conducir esta contaminación que acompaña al agua residual se cuenta con un sistema de drenaje que colecta 44.4 m³/s, de los cuales 19.5 m³/s corresponden a aguas residuales del Distrito Federal, 8.86 m³/s a las aguas residuales de los municipios del Estado de México, comprendidos en la Zona Metropolitana de la ciudad, y 16 m³/s de agua pluvial que colecta el drenaje de la ciudad (Martínez, 2004). En la figura 2.2 se presenta el balance del uso del agua en el Distrito Federal.

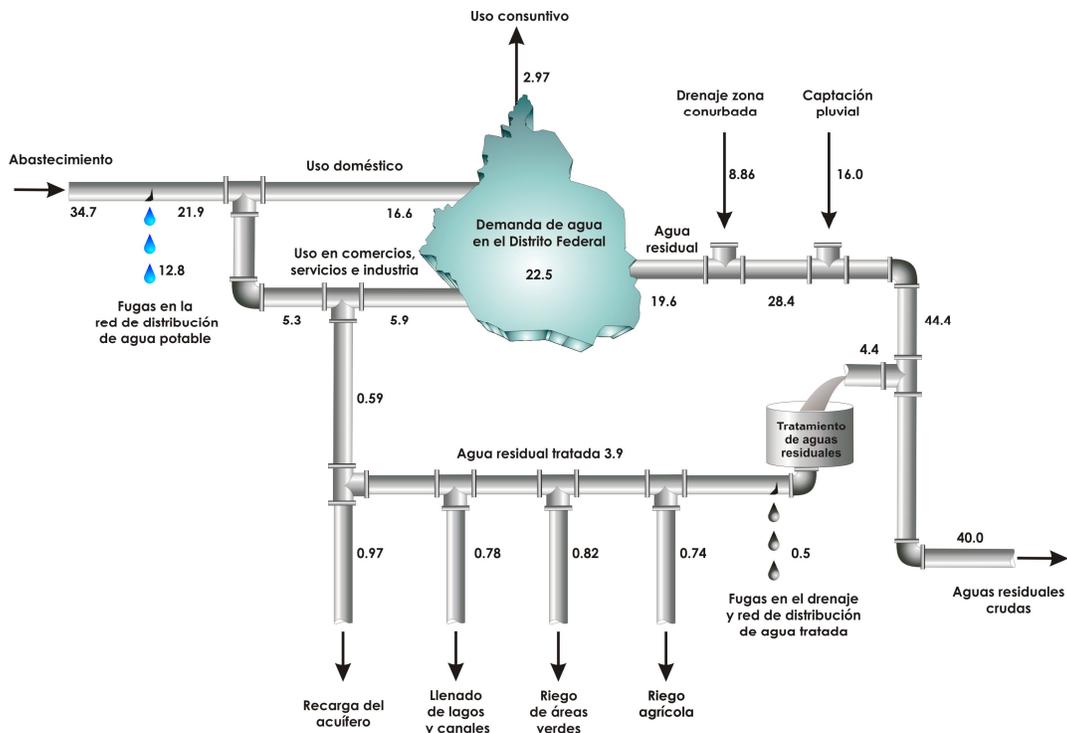


Figura 1.5 Balance del uso del agua en el Distrito Federal (Fuente: Martínez, 2004)

1.7 ORIGEN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales son aquellas cuya composición es variada y proveniente 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 (NOM-002-SEMARNAT-1996).

Las aguas residuales tienen su origen en: excretas, residuos domésticos, arrastres de lluvia, infiltraciones y residuos industriales.

1.7.1 Excretas

Son las que contiene los residuos sólidos y líquidos que constituyen las heces humanas fundamentalmente, la fase sólida cuando es expulsada presenta putrefacción, que tiene lugar sobre las proteínas como la cisteína que produce ácido sulfhídrico (H₂S) y mercaptanos; en la fase líquida se encuentra la orina, constituida de compuestos orgánicos como la urea, aminoácidos, glúcidos algunos aniones como sulfatos y fosfatos y cationes como el sodio, potasio, amonio y calcio (Seoanez, 1999b)

1.7.2 Residuos domésticos

Son los generados en los lugares destinados para el preparado de comida, lavado de utensilios y limpieza de habitaciones. En general son las provenientes del uso particular de las personas y del hogar (NOM-002-SEMARNAT-1996).

1.7.3 Arrastre de lluvia

Son las partículas que acompañan a las aguas pluviales durante su recorrido en las calles como sólidos suspendidos, partículas sólidas, hidrocarburos de las vías públicas, etc.

1.7.4 Infiltraciones

Las infiltraciones son ocasionadas por la composición del suelo, de manera particular la textura del suelo permite esta infiltración; hasta que la capacidad de campo del suelo es rebasada (por lo general 300 litros por metro cúbico), se inicia la percolación.

1.7.5 Residuos Industriales

Los residuos industriales que son adicionados a las aguas residuales, son de un origen muy variado, ya que ello depende del giro de la empresa, es decir que para el giro textil la contaminación es inorgánica (colorantes), y física (potencial de hidrógeno y térmica); para el giro de la galvanoplastia es física (metales, potencial de hidrógeno y térmica); para el ramo alimenticio y bebidas su problemática es orgánica (grasas y aceites y demanda bioquímica de oxígeno), etc.

1.8 COMPOSICIÓN QUÍMICA

El agua residual se compone principalmente de sólidos y gases.

Los sólidos en el agua residual están compuestos por sólidos sedimentables; que son las partículas gruesas que se depositan en el fondo, sólidos suspendidos; son las partículas flotantes por lo general basura y sólidos disueltos.

Los gases más importantes en un agua residual son el oxígeno disuelto; es el más importante, y es un gas que va siendo consumido por la actividad química y biológica, el ácido sulfhídrico; es un gas que se forma al descomponerse en medio aerobio ciertas sustancias orgánicas e inorgánicas que contienen azufre su presencia, que se manifiesta fundamentalmente por los olores que produce, el metano se forma en la descomposición anaerobia de la materia orgánica al reducir ciertas bacterias el CO_2 , utilizando hidrógeno de fermentaciones butíricas y apareciendo sobre todo en cierto tipo de estaciones depuradoras, dando algunas posibilidades de aprovechamiento como combustible (Seoanez, 1999).

1.9 COMPOSICIÓN BIOLÓGICA

El agua residual se compone biológicamente de organismos vivos, entre los que se encuentran hongos que se implantan en la materia orgánica en descomposición, atacan a los hidratos de carbono y a los productos nitrogenados; bacterias que son organismos unicelulares móviles o inmóviles de formas diversas (cocos, bacilos, espirilos, filamentosas) y de tamaño y modo de vida diferentes según la especie y el medio; virus su acción nociva como agentes productores de enfermedades en un gramo de heces podemos encontrar hasta 109 panículas de virus infecciosos.

1.10 TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL

Para lograr que el agua residual tenga un uso posterior (baños y mingitorios) o para incorporarlos al ciclo hídrico (riego de áreas verdes), el agua es sometida a un proceso en las plantas de tratamiento para las aguas residuales. En algunos casos empresas dan tratamiento a las aguas residuales para incorporarlas a su proceso productivo (en la elaboración de cartón se recicla el cartón mediante resinas y agua tratada).

Sin embargo, ésta operación para las empresas representa un alto costo económico, por lo que una planta de tratamiento durante la construcción de las instalaciones de una empresa no es muchas veces contemplada, máxime que el grueso de las empresas en el Distrito Federal rentan los inmuebles. Por lo que, esta agua tratada sin perjuicio de lo establecido por el Reglamento del Servicio de Agua y Drenaje para el Distrito Federal la Administración Pública del Distrito Federal puede concesionar, el suministro directo de agua residual tratada para uso no doméstico de una fuente fija a otra, a fin de promover su uso y reuso eficiente previamente a su descarga a las redes de drenaje y alcantarillado y cuerpos receptores del Distrito Federal (Artículo 112 de la Ley Ambiental del Distrito Federal).

La infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales en el Distrito Federal es de 71 plantas registradas, 20 operadas por Sistemas de Aguas de la Ciudad de México; 4 concesionadas; 1 operada por la UNAM; 2 por la SEDENA y 44 más por los mismos usuarios. Su capacidad nominal es de 5855 L/s, pero efectiva de 3939 L/s; ello significa que se utiliza solamente el 67% de la capacidad de la infraestructura (Martínez, 2004).

Las delegaciones proveedoras de agua residual tratada son Iztapalapa, Coyoacán, Gustavo A. Madero, Iztacalco y Miguel Hidalgo (CONAGUA, 2006).

Actualmente la planta de tratamiento más grande del Distrito Federal, ubicada en el Cerro de la Estrella, Iztapalapa, se ha rehabilitado de una manera integral aumentando su caudal tratado de 2 a 3 metros cúbicos por segundo (López, 2008).

La regulación en nuestro país del agua residual tratada se encuentra en la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, en la cual plantea como objetivo el determinar y cuantificar huevos de helminto en lodos, afluentes y efluentes tratados.

1.11 SISTEMA DE ALCANTARILLADO

En México el desarrollo de las localidades urbanas ha ocasionado que los servicios sean suministrados después del asentamiento de una manera irregular y precaria, iniciando primero por el agua potable y en forma escalonada las obras van cubriendo las necesidades de la población, con ello se presenta el problema del desalojo de las aguas (CONAGUA, 2006).

El sistema de alcantarillado tiene la función de recoger, transportar y alejar las aguas residuales generadas. Está conformado por una red de conductos, generalmente tuberías, a través de las cuales se deben evacuar en forma eficiente y segura las aguas residuales domésticas y de establecimientos comerciales, conduciéndose a una planta de tratamiento y finalmente, a un sitio de vertido (NOM-001-CNA-1995).

Los líquidos sucios que se eliminan por la redes de alcantarillado son de tres categorías; los líquidos producto del empleo de las aguas limpias en uso doméstico, las industriales y las de servicio (denominadas aguas negras). Sin embargo, por el diseño de la red de drenaje en la Ciudad de México, también son incluidas en las descargas de las aguas residuales las de origen pluvial y las infiltraciones que se anexan en los tubos de albañal.

Las aguas pluviales no ofrecen alguna constitución nociva, estas aguas meteóricas al correr en la superficie de los campos y las calles, arrastran todo lo que a su paso encuentran; residuos sólidos y minerales, lo que provoca muchos azolves, principal problemática e inconveniente para su eliminación a través del alcantarillado.

Las aguas negras son las más peligrosas; llevan en su seno toda clase de materias de desecho: orgánicas y minerales; en estado sólido como materias fecales, arcillas, arenas residuos de la industria; en estado líquido como orinas, colorantes, etc., y en estado gaseoso como ácido sulfhídrico, amoníaco, y demás productos de la putrefacción de algunas sustancia (López, 1990).

Por lo general, sin considerar la infiltración del agua subterránea, de un 60 a un 80% del consumo de agua per cápita se transformara en agua residual. Las infiltraciones en las alcantarillas se deben a la presencia del agua subterránea con un nivel freático elevado, por un aumento de la cantidad de las aguas residuales y, por tanto, del coste

de su evacuación. Esta infiltración de agua subterránea puede oscilar de 23,000 a 94,000 litros al día o más por kilómetro de alcantarillado.

Para llevar a cabo la pronta eliminación de los líquidos sucios el sistema debe reunir los siguientes requisitos:

- 1.- Localización adecuada
- 2.- Seguridad en la eliminación
- 3.- Resistencia necesaria
- 4.- Facilidad de inspección y limpieza
- 5.- Capacidad suficiente

Para lograr una eliminación eficaz de los líquidos sucios el sistema está integrado por:

1.11.1 Albañal

Es la tubería que recoge las aguas residuales de tipo doméstico, industrial y de servicio para llevarla a las atarjeas.

1.11.2 Red de atarjeas

La red de atarjeas tiene como objetivo el coleccionar y transportar las aguas residuales de origen doméstico, comerciales, de servicio e industriales, hacia los colectores, emisores o interceptores.

La red inicia con la descarga domiciliar o industrial, en otras palabras a partir del límite exterior de cualquier edificación, por lo general esta conexión se realiza mediante tubos de albañal, que son dirigidos hacia las atarjeas que se localizan al centro de las calles, las cuales coleccionan las aportaciones de los albañales.

1.11.3 Pozos de Visita

Los pozos de visitas se localizan en los cruces de las calles, cambios de dirección del flujo y cambio de pendiente. Tienen la función de ventilar los gases para su eliminación de la red de drenaje, sus dimensiones facilitan la inspección y maniobras de limpieza.

1.11.4 Colectores e interceptores

Los colectores son las tuberías que reciben las aguas negras de las atarjeas, su trayecto puede terminar en un interceptor, en un emisor o en la planta de tratamiento. Los interceptores son las tuberías que interceptan los flujos de agua sucia para enviarlas hacia un emisor o a la planta de tratamiento.

1.11.5 Emisores

Es el conducto que recibe las aguas de uno o varios colectores o interceptores y su única función es el de trasladar las aguas hacia la planta de tratamiento (Figura 1.6), los emisores por lo regular trabajan por gravedad, pero existen emisores que trabajan a presión y esto se debe a que económicamente no es conveniente seguir trabajando con grandes profundidades, por lo que se bombea el agua a un nivel mayor para poder fluir con la pendiente de diseño.

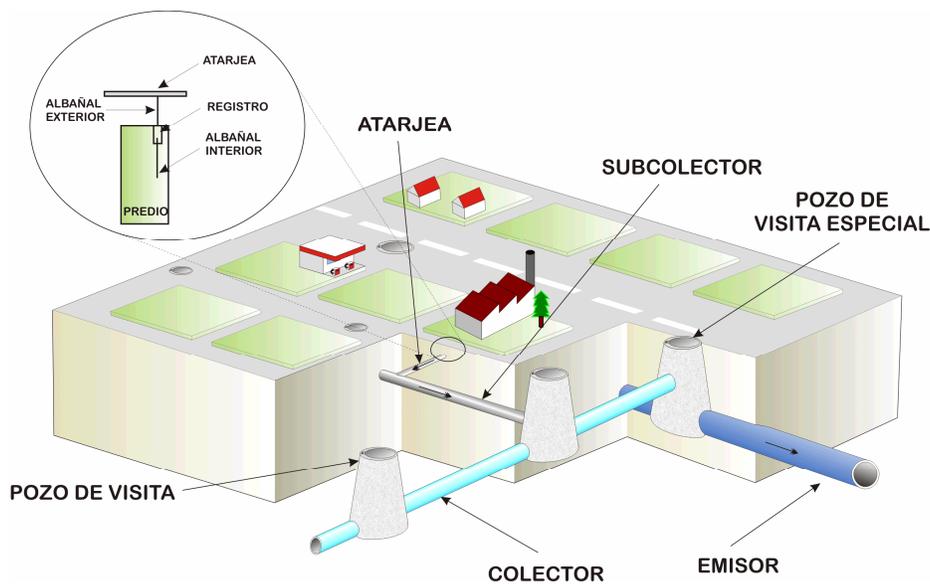


Figura 1.6 Sistema de alcantarillado (elaboración propia)

1.12 INFRAESTRUCTURA DE DRENAJE

La red de drenaje del Distrito Federal abarca más de 10,000 km de longitud, con 68 estaciones de bombeo, numerosos diques y lagunas de regulación para controlar el flujo del agua residual, sobre todo en períodos de lluvias. Cuenta con 129 km de

canales abiertos, 42 km de ríos, utilizados principalmente como drenaje y otros túneles. El sistema de drenaje del Distrito Federal utiliza la misma infraestructura para desalojar tanto las aguas residuales como las pluviales; sin embargo, los problemas de control de inundación son los más importantes que tienen que sufragar el sistema (Figura 1.7), donde se presenta la red de drenaje profundo. Para el logro de esos objetivos, su operación se torna compleja (Martínez, 2004).

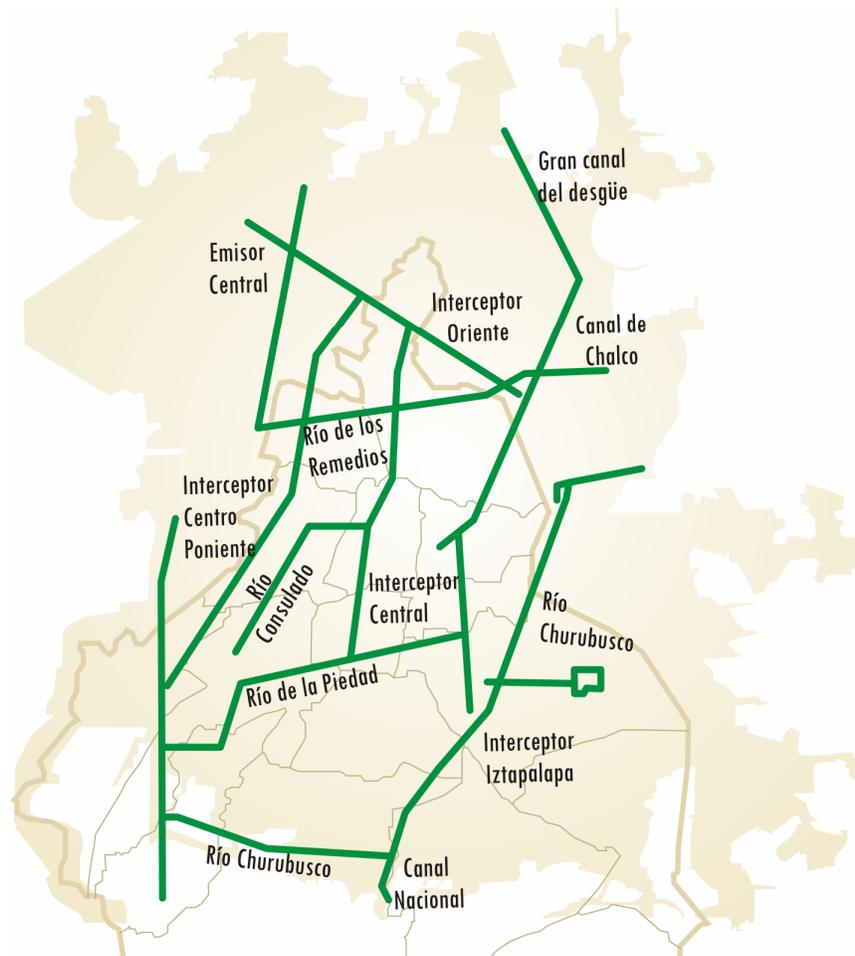


Figura 1.7 Drenaje profundo del Distrito Federal (Fuente: INEGI, 2007)

Cabe señalar que el sistema de drenaje es combinado, por lo tanto conduce tanto las aguas residuales de origen industrial, doméstico, de servicio como las pluviales (Figura 1.8), además se estima que el Distrito Federal emite el 65% del total de las aguas residuales de todo la Zona Metropolitana del Valle de México.

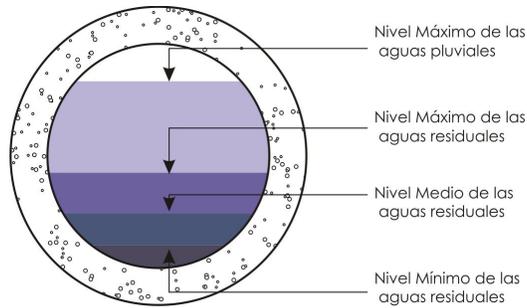


Figura 1.8 Sistema Combinado de gasto (Fuente: López, 1990)

Para un caudal mínimo se recomienda una velocidad mayor a 0.3 metros por segundo y para un caudal máximo (a tubo lleno), la velocidad no debe ser menor a 0.6 metros por segundo; ya que con estas velocidades se supone capaz de arrastrar las materias sólidas que usualmente llevan esta agua (López, 1990), esto para asegurar que el conducto de la red de agua residual tenga las mejores condiciones de movimiento hidráulico. Respecto al agua pluvial que viaja en el mismo conducto lleno pero trabajando como canal, no debe la velocidad ser menor a un metro por segundo; este comportamiento tan variado del flujo por un mismo conducto, en algunos lugares se ha pretendido resolver adaptando la plantilla del conducto pluvial de manera de mejorar el escurrimiento del gasto mínimo (Figura 1.9).

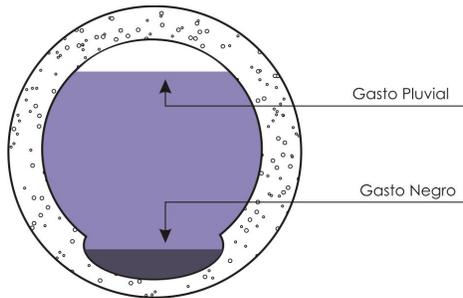


Figura 1.9 Adaptación de la plantilla (Fuente: López, 1990)

1.12.1 Materiales de los tubos de drenaje

Los materiales de los que están constituidos los tubos de la red de drenaje son variados, lo que les provee ciertas características (Tabla 1.3). Los diferentes tipos de materiales del cual están compuestos los tubos son los siguientes:

El tubo de **gres** es el resultado de la mezcla de arcillas y chamota (cerámica reciclada), cuando adquieren la forma definitiva, se desecan y se hornean. El gres es un material que no se corroe por acciones bioquímicas, las juntas de los tubos son de enchufe y cordón con aro de goma (Steinzeug, 2005).

Los tubos de **hormigón** pueden ser de Hormigón en masa o pretensado, En el Distrito Federal como en la mayoría de las ciudades prevalece el hormigón, por ser muy económico.

Los tubos de **fibrocemento**, está constituido por una mezcla de cemento y fibras son aptos para ambientes salinos. Estos son muy utilizados en zonas costeras (Hernández, 2008).

Los tubos de **plástico** que más se utilizan en la construcción para las redes de alcantarillado son el Policloruro de vinilo (PVC), Polietileno y Polipropileno (CONAGUA, 2000). En algunas delegaciones comienzan a sustituir los materiales existentes por estos materiales de plástico (Principalmente el Polietileno) y en la mayoría de las casas habitaciones el drenaje interno está constituido por PVC.

Los tubos de **poliéster** son utilizados como conductos submarinos por sus propiedades de resistencia a la corrosión acción del pH, Temperatura, etc., pero su alto costo hace que difícilmente sea utilizado para la red de drenaje de la ciudad (Hernández, 2008).

Los tubos de **fundición dúctil** son fabricados con mortero interno de cemento y juntas de enchufe y campana, con un revestimiento externo que permite realizar la trayectoria sin generar deterioro en el tubo (Bernedo, 2004). Son utilizados en efluentes industriales colectores, redes interurbanas, generalmente este material es identificable por las acometidas domiciliarias y pozos de registros que se encuentran constituidos por estos materiales.

El material del que está consolidado el tubo es de suma importancia debido a que dentro de ellos se lleva a cabo el proceso de fermentación anaerobia (anaerobiosis), producido por la permanencia prolongada del agua residual en la red, en ausencia de aire (Hernández, 2005). Este fenómeno produce gases, olores, ataques a la red y sus elementos, por ello la red de drenaje cuenta con ventilación de tipo natural, suelen utilizarse chimeneas o columnas emplazadas en espacios libres.

Tabla 1.3 Comparación de las ventajas y desventajas de los diversos materiales de los tubos de drenaje

VENTAJAS	DESVENTAJAS
GRES	
Resistencia a la acción de agentes químicos (todos los ácidos menos el Hidrofluorito). Fluidéz Hidráulica importante, Coeficiente de rugosidad $K=0,002$ mm., en tuberías rectas y $K=0,15$ mm en tuberías con muchos empalmes. Impermeabilidad, Resistencia a las temperaturas extremas, soporta entre -10°C a 70°C .	Puede soportar solo presiones puntuales hasta los 10 m.c.a.
HORMIGÓN	
Las tuberías de hormigón pretensado pueden soportar presiones puntuales de hasta 150 m.c.a. Son muy económicas. Tienen una gran resistencia mecánica.	El anhídrido carbónico y el sulfuro de hidrógeno atacan a los morteros de cemento. Tienen un elevado coeficiente de rugosidad.
FIBROCEMENTO	
Admiten caudales circulantes a altas velocidades sin presentar abrasiones. Las uniones son articuladas,	Son aptos solo para ambientes salinos Las aguas con $\text{pH} < 6$ solo atacan la piel interior de las conducciones
POLICLORURO DE VINILO	
Soportan las sustancias agresivas presentes en las aguas residuales como el anhídrido carbónico libre, los sulfatos, etc. Las uniones admiten el pegado, el roscado la bayoneta. Se adaptan muy bien a los trazados quebrados.	Soportan mal las grandes oscilaciones de temperatura. Soportan mal el soleamiento.
POLIETILENO Y POLIPROPILENO	
Mantienen permanentemente su gran capacidad hidráulica. Son tubos muy ligeros. El PE, puede resistir mejor la acción solar. Manifiestan un comportamiento estable ante agentes químicos (bases, sales y aguas minerales). Tienen una baja dilatación térmica. Tienen unos 50 años de vida útil.	Resisten la mayoría de los disolventes orgánicos a 20°C .
FUNDICIÓN DUCTIL	
Muestran una gran resistencia Resistencia a los asentamientos diferenciales del terreno (uniones articuladas). Resistencia a la acción corrosiva de los suelos Resistentes a la abrasión (hasta 7m/seg. y 10 m/seg.). Capacidad hidráulica $K=0.1$.	En la acción corrosiva de las aguas (hay que cambiar el recubrimiento y la composición del mortero interno), con pH 4 a 12 y ocasionalmente pH 3.
POLIÉSTER	
Tienen una gran solidez y tiene gran flexibilidad. Son muy resistentes a la corrosión (ideales para el transporte de salmuera). Tienen una gran capacidad hidráulica. Resistentes a la corrosión electrolítica y a la abrasión. No requieren protección catódica o de otro tipo. Son muy impermeables debido a que se trata de un material muy compacto. La capa interna de resina de 1.5 mm, permite conducir aguas con una amplia gamas de pH . Resistente a los ataques químicos. Se pueden almacenar al aire libre sin problemas Tienen un coeficiente de dilatación térmica lineal muy bajo.	Disponen de un sistema especial de juntas normales y de tracción. Tienen accesorios complementarios. Se fabrican con 6 metros de longitud. Son muy caros. Garantizados hasta temperaturas de 35°C para pH entre 1 y 10. Utilizado para descargas y conductos submarinos.

Fuente: Hernández, 2005

1.12.2 Red primaria y secundaria

Una de las partes esenciales del sistema de drenaje del Distrito Federal (Figura 1.10), lo constituyen 10363 km de la red de drenaje secundaria (SAMDF, 2006) cuyo diámetro es menor a 60 centímetros; su objetivo es colectar las aguas residuales producidas y conducir las hacia la red primaria, la cual no se ha ampliado porque en algunos lugares no se cuenta con colectores o componentes del sistema general de drenaje (Figura 1.11).

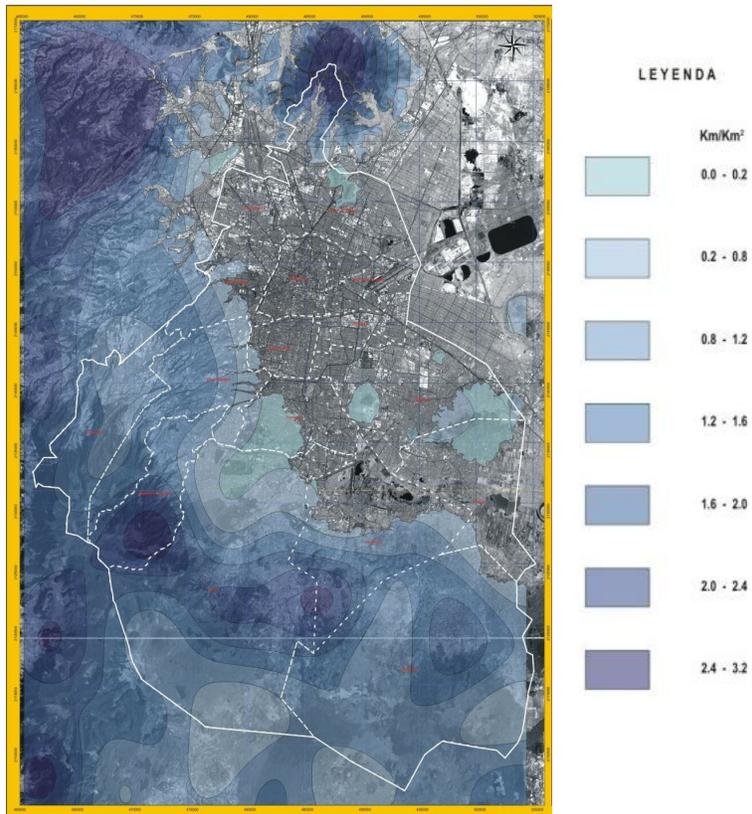


Figura 1.10 Mapa de Densidad de drenaje (Fuente: DGPCDF, 2007)

Las zonas donde se presenta mayor concentración de drenaje son las partes altas de la Sierra de Guadalupe, en las inmediaciones de la Delegación Gustavo A. Madero, donde existe una zona con el mayor rango que es de 2.4 a 3.2 km/km².

En la región de la Sierra de Las Cruces, en la parte alta del Volcán San Miguel que comparten las delegaciones Cuajimalpa, Magdalena Contreras y Tlalpan, se tienen concentraciones que varían de 1.20 a 3.2 km/km², por lo que estas zonas son susceptibles a presentar procesos de remoción en masa durante fuertes lluvias (DGPCDF, 2006).

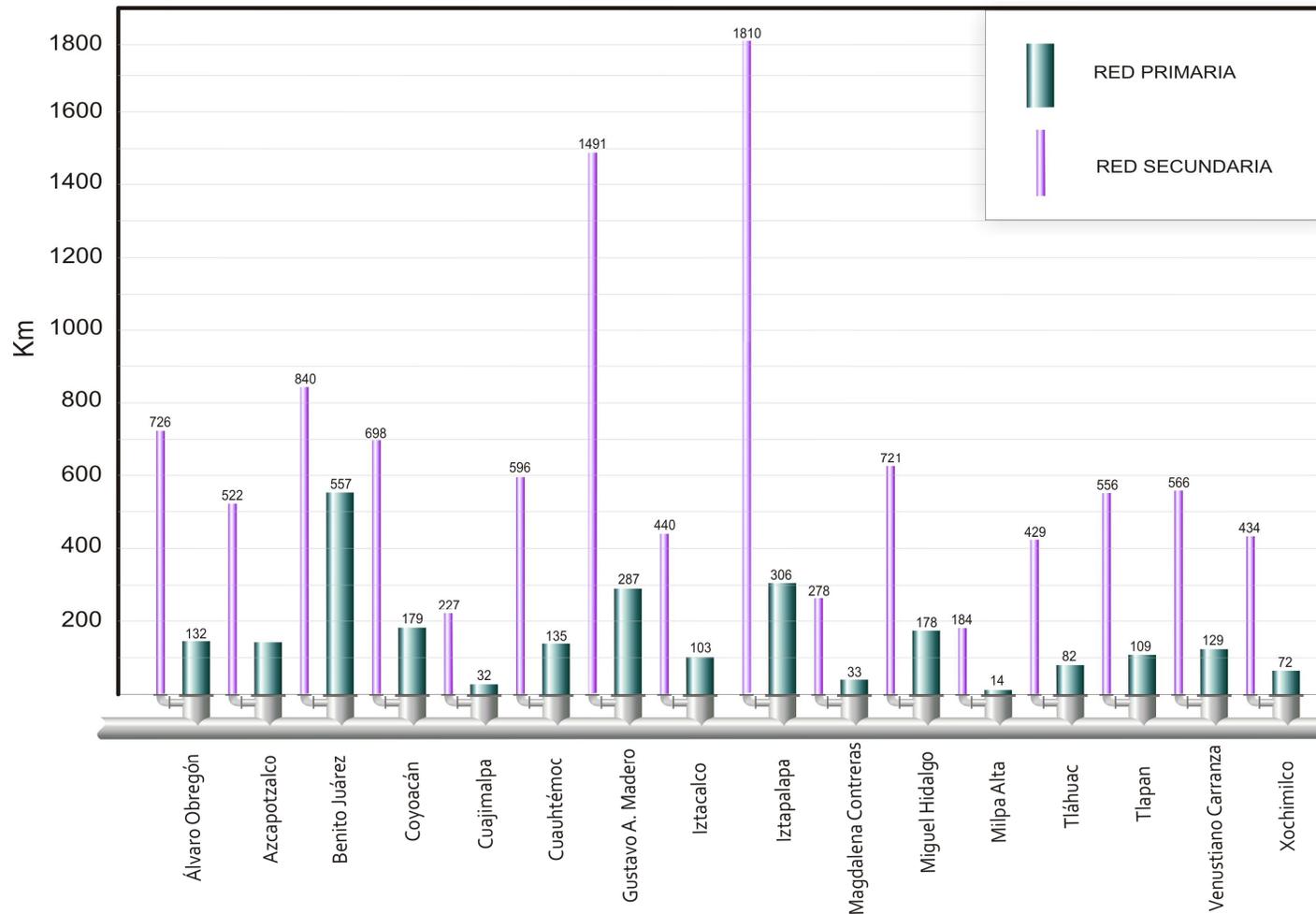


Figura 1.11 Red primaria y secundaria del sistema de drenaje en el Distrito Federal (Fuente: Compilado de Martínez, 2004)

1.12.3 Otros sistemas de drenaje

El sistema general de drenaje también incluye río y cauces naturales a cielo abierto, los cuales conducen aguas pluviales y, en su mayoría, están contaminados por aguas residuales y basura. El gran canal es el cauce a cielo abierto más importante del sistema general de desagüe (Tabla 1.4). El sistema de drenaje del Distrito Federal también proporciona servicio a municipios del Estado de México.

Tabla 1.4 Cauces entubados y otras infraestructuras del sistema general de drenaje en el Distrito Federal

DELEGACIÓN	CAUCES ENTUBADOS km	OTRA INFRAESTRUCTURA DE DRENAJE
Álvaro Obregón	-	Ríos y barrancas 13 presas de regulación Drenaje profundo (interceptor poniente)
Azcapotzalco	2.7	Drenaje profundo (interceptores centro-poniente y central)
Benito Juárez	-	Drenaje Semiprofundo (interceptores obrero mundial y central)
Coyoacán	5.9	Drenaje Semiprofundo (canal nacional-canal de Chalco)
Cuajimalpa	-	18 km de cauces a cielo abierto
Cuauhtémoc	7.3	Drenaje Semiprofundo (interceptores central y centro-centro)
Iztacalco	10.9	Drenaje Semiprofundo (interceptores oriente y oriente-sur)
Iztapalapa	4.8	8 km de canales Drenaje profundo (interceptor oriente-oriente)
Gustavo A. Madero	9.5	18.1 km de cauces a cielo abierto 9.5 km de canales Presas de regulación Drenaje profundo (interceptores centro poniente)
Magdalena Contreras	9.5	4 km de cauces a cielo abierto 9.5 km de canales Presa de regulación 1.5 km de túneles de intercepción
Miguel Hidalgo	10.6	5.4 km de cauces a cielo abierto 34 de canales Sistema de cinco presas de regulación 4.9 km de túneles de interconexión Drenaje profundo (interceptor centro poniente)
Milpa Alta	-	Zanjas a cielo abierto y barrancas
Tláhuac	-	39. km de cauces a cielo abierto, Laguna de regulación 1.5 km de túneles de interconexión
Tlalpan	-	17 km de cauces a cielo abierto
Venustiano Carranza	12	2.5 km de cauces a cielo abierto
Xochimilco	-	Presa y laguna de regulación

Fuente: DGCOH, 1997

1.13 REGENERACION DE LOS CUERPOS DE AGUA

En México el agua residual es colectada y transportada a lo largo de kilómetros, por lo que alguna vez fue un río (drenaje natural) y ahora es un sistema de drenaje, pero la constante sigue siendo la misma: reunir todas las descargas y transportarlas a un destino, que en el mejor de los casos son las plantas de tratamiento (Escamilla, 2007).

La importancia del agua puede verse como una analogía no muy lejos de la realidad donde el agua es la sangre y el fluido linfático de la tierra. Al igual que nuestro sistema circulatorio, el ciclo hidrológico mueve el agua a través del cuerpo-tierra (Bras-Molina 2006); por ende la gran importancia de que su saneamiento sea primordial una vez utilizada el agua.

El problema de las grandes ciudades del mundo, es que tienen enfrente un serio y potencial problema, debido a que la infraestructura para los sistemas de tratamiento fueron desarrollados desde 100 a 200 años (Energy Research, 2001).

Por el tiempo que se renuevan las aguas en los ciclos hídricos es indispensable que el saneamiento sea previo a que las aguas residuales se incorporen a estos ciclos (Tabla 1.5).

Disminuyendo con ello el tiempo que le toma a la naturaleza la purificación del agua, cuando existe la contaminación a este recurso, si no existe un tratamiento previo únicamente la atenuación natural realiza la autopurificación.

Tabla 1.5 Tiempo de regeneración de los cuerpos de agua

CUERPO DE AGUA	% VOLUMEN DE AGUA	TIEMPO
Océanos	93.934	2600 años
Aguas subterránea	4.12	5000 años
Glaciares	1.65	10000 años
Lagos	0.016	10 años
Humedad del suelo	0.005	11 meses
Vapor atmosférico	0.001	10 días
Ríos	0.0001	12 días

Fuente: Energy Research, 2001

1.14 PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Un agua residual por su alto contenido de materia orgánica ocasiona una alta demanda de oxígeno para poder degradarla, lo que causa el abatimiento del oxígeno necesario para las especies que viven en el agua, en cuanto a los metales, ácidos y álcalis afectan las condiciones propias de cualquier sistema acuático.

La utilización de obras artificiales para el tratamiento previo de las aguas son conocidas como plantas de tratamiento de aguas residuales municipales y en este tratamiento se aplican diversos procesos que al aplicarse aislados o en conjunto permiten obtener diferentes grados de tratamiento de las aguas residuales.

El tratamiento de las aguas negras debe ser considerado como una parte que ayuda a que la purificación de las aguas en los ciclos naturales se equilibre y de este modo también no represente un alto costo económico.

En las plantas de tratamiento se consume mucha energía en el proceso, por la necesidad de oxigenar el agua en una etapa del tratamiento haciéndolo no sustentable, las cantidades de agua residual que se colectan son tan grandes que es difícil que se pueda construir una planta tratadora que maneje estos volúmenes por los altos costos que implicaría realizarla (Escamilla, 2007).

Los procesos para controlar las aguas residuales pueden clasificarse en el tipo de tratamiento que se le aplican y principalmente son tres:

1.14.1 Tratamiento Primario

Este tratamiento permite remover los sólidos suspendidos y materia orgánica conocido comúnmente como materiales en suspensión de las aguas residuales. Esta remoción es llevada a cabo mediante operaciones físicas de separación (Metcalf-Eddy, 1991).

El **Cribado** es la operación de separación de sólidos que se lleva a cabo con cribas y rejillas, que retienen entre sus mallas o barras los sólidos en suspensión o flotantes. Estos son retenidos y recogidos por procedimientos manuales o automáticos, mediante rastrillos.

La **Dilaceración** es la maniobra de fragmentación y trituración de materiales sólidos que se realiza en los aparatos llamados “dilaceradores”. En ocasiones esta operación sustituye al cribado y permite incorporar de nuevo los sólidos separados por las cribas a la corriente de agua residual en forma de partículas más pequeñas.

El **Desarenado** tiene únicamente por objeto separar la arena y la grava de la corriente de agua residual, ya que aquellas desgastan las bombas. Esta separación se hace por sedimentación, lo que se logra disminuyendo la velocidad de circulación del fluido.

La **Sedimentación** consistente en separar una suspensión en dos fases; un fluido y un lodo (con una concentración elevada de materia sólida). Esto se logra disminuyendo la velocidad de la corriente de agua residual, hasta alcanzar un valor lo suficientemente bajo como para que los compuestos sólidos más densos se depositen en el fondo (Figura 1.12).

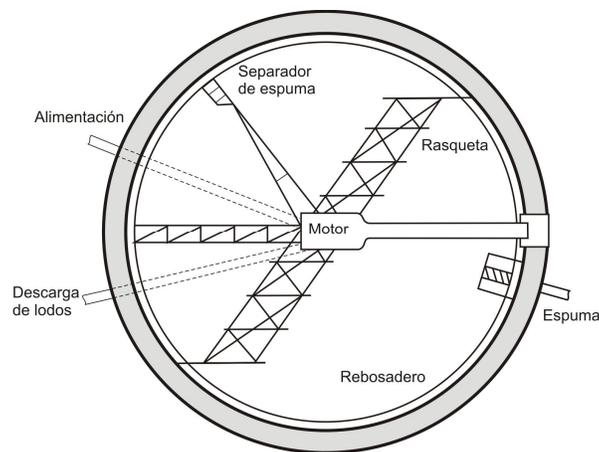


Figura 1.12 Esquema de sedimentador primario (Fuente: Metcalf-Eddy, 1991)

La **Separación de grasas** es la operación para retirar las grasas (no emulsionados) que flotan arrastradas por las corrientes de aguas residuales. Para ello se suelen utilizar tanques rectangulares de múltiples canales de gran longitud y de poca profundidad, con rasquetas superiores para separar las grasas sobrenadantes.

La **Floculación** consiste en la unión o aglutinación de las partículas suspendidas en un líquido para formar unos agregados conocidos como “flóculos”. Cuando se favorece el fenómeno de floculación por medio de agentes químicos se llama **Coagulación**. Se

utiliza esta operación para aglutinar partículas finas, causantes de turbidez, formando otros más grandes mucho más fácil de separarlos por sedimentación o filtración.

La **Flotación** se utiliza para separar sólidos o líquidos inmiscibles y de baja densidad, que se encuentra en suspensión en las aguas residuales. Como agente de flotación se utiliza el aire, que se inyecta en la parte inferior del almacenamiento de las aguas y forma en la parte superior una espuma fácilmente eliminable.

La **Filtración** se utiliza para eliminar los sólidos en suspensión de pequeño tamaño y generalmente una opción complementaria de la coagulación y sedimentación. Los materiales más utilizados son la arena, la antracita y la tierra de diatomeas.

1.14.2 Tratamiento Secundario

Es el conjunto de procesos para la oxidación, estabilización o remoción de la materia putrescible en solución o estado coloidal existente en las aguas negras (López, 1990). Este tratamiento es el encargado de eliminar la materia orgánica biodegradable (cuantificada como DBO), aun presente en el agua residual después del tratamiento primario.

Para controlar la materia orgánica se promueve la multiplicación de microorganismos capaces de asimilar la materia orgánica, transformándola en una "masa insoluble" fácilmente separable. Es decir la materia orgánica es asimilada por los microorganismos en presencia de oxígeno y nutrientes para producir más microorganismos (síntesis) y productos finales; dióxido de carbono y agua (Figura 1.13).

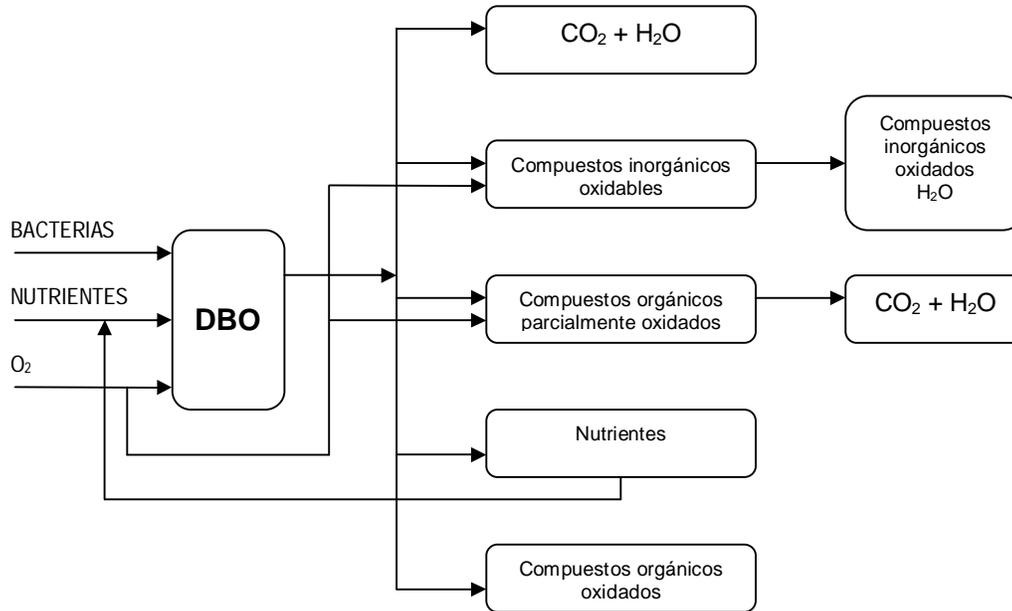


Figura 1.13 Esquema general de la oxidación biológica (Fuente: Jarabo, 2000)

Los microorganismos más sencillos son las bacterias, los cuales pueden metabolizar la mayoría de los compuestos orgánicos. Los hongos también pueden metabolizar casi todos los compuestos orgánicos pero generalmente no compiten con las bacterias. Las algas, al contener clorofila, pueden utilizar la luz solar como fuente de energía y debido a su producción de oxígeno, mantienen un medio aerobio que favorece a las bacterias y a los hongos. Finalmente, los organismos superiores como protozoarios, rotíferos, crustáceos y nematodos, no pueden hallar suficiente materia orgánica en el agua para su desarrollo, por lo que se alimentan de los organismos inferiores, completando el proceso de depuración (Jarabo, 2000). Su presencia es un indicador de que el agua está suficientemente depurada.

Los **Filtros percoladores** están formados por lechos de piedras o de materiales plásticos dispuestos en tanques circulares de gran diámetro y unos 10 metros de profundidad. El agua residual se distribuye por pulverización sobre la parte superior y se deja drenar a través del lecho, recogiéndose en su parte inferior. La materia orgánica del agua residual se degrada gracias a la población microbiana (limo), la cual al aumentar se desprende del lecho, por lo que es necesario instalar un clarificador a la salida del mismo para separar el limo arrastrado.

Los **Lodos activados** uno de los más comúnmente utilizados, consiste en airear el agua residual en un tanque, para aumenta la población microbiana, que se deposita en el forma de lodo en un sedimentador anexo para su separación (Figura 1.14). Este lodo activo (por su elevada concentración de microorganismos), se recicla en buena parte al tanque de aireación y el resto se purga para su tratamiento.

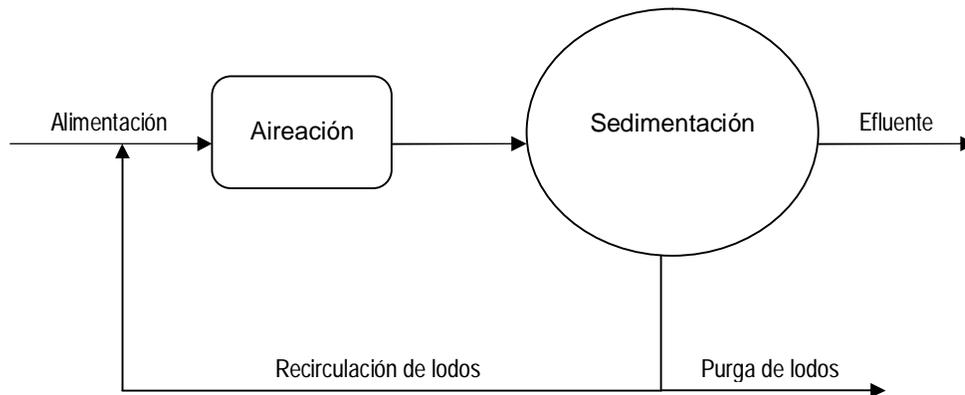


Figura 1.14 Proceso de lodos activados (Fuente: López, 1990)

1.14.3 Tratamiento Terciario

Algunos también los conocen como “procesos complementarios”, y solo se utilizan cuando es estrictamente necesario (eliminación de desecho que no es biodegradable, sólidos en suspensión o sales inorgánicas disueltas).

La **Adsorción** es un fenómeno superficial mediante el cual ciertos productos (adsorbatos) son retenidos en una gran superficie (absorbente). Los adsorbatos naturales pueden ser tierras arcillosas o el carbón activado. La adsorción es, en general, el proceso más indicado para eliminar las moléculas causantes de la coloración y de mal olor.

Se conoce como **desinfección** al procedimiento por medio del cual se destruyen de forma selectiva los gérmenes patógenos (causantes de enfermedades), que pueden estar presentes en el agua residual, como *Salmonella*, *Shigella*, *Entamoeba*, *Enterovirus*, *Adenovirus* y *Airus A* de la Hepatitis (López, 1990). La desinfección de aguas puede realizarse por métodos físicos (calor y radiaciones) o químicos

(productos oxidantes principalmente). La elección del método viene dado por las siguientes propiedades:

- Capacidad de destruir a los microorganismos.
- Alta velocidad de actuación en las condiciones de operación.
- Ausencia de efectos perjudiciales y de características organolépticas apreciable, a la concentración empleada.
- Facilidad de almacenamiento y manipulación.
- Posibilidad de ser determinada rápidamente su concentración en el agua.
- Capacidad de mantener los efectos a largo tiempo evitando una nueva contaminación.
- Bajo costo.

El **cloro** es quizás el desinfectante químico más utilizado, ya que cumple prácticamente con las condiciones mencionadas para un buen desinfectante. Se utiliza en forma gaseosa, de hipoclorito de sodio o de dióxido de cloro. Añadido al agua como gas, clora y oxida las sustancias orgánicas y oxida las sustancias inorgánicas reductoras, por lo que se debe de añadir el suficiente cloro para que exista cloro residual libre, para asegurar la desinfección. Entre sus desventajas cuando existe en exceso es que con los fenoles forma Clorofenoles que dan origen a problemas serios de olores y con algunas sustancias orgánicas forma los Trihalometanos, de los cuales el cloroformo se cree que es un agente cancerígeno.

El **ozono** es un agente oxidante con propiedades superiores de desinfección que el cloro, oxida con mayor rapidez las sustancias orgánicas, reduciéndose a oxígeno, aumentando la cantidad de oxígeno en el agua. Sin embargo el ozono no queda excedente en el agua para poder continuar con la acción desinfectante.

1.14.4 Tratamiento de los lodos

Como resultado del tratamiento de las aguas residuales, se realiza un proceso aerobio mecanizado (Escalas, 2006), donde se producen lodos o fangos constituidos en su gran parte de agua (90%) y con una gran carga de materia orgánica (DBO elevado), que es preciso tratar para eliminarlo o aprovecharlo. La secuencia para su tratamiento es el siguiente:

El **espesamiento** es donde se concentran la cantidad de sólidos y se desaloja la fracción líquida para incorporarla al tratamiento primario. Una vez concentrada la fase sólida se estabiliza para impedir que los microorganismos se desarrollen. En el **acondicionamiento** los lodos se preparan para hacer más eficaz la desecación del lodo. Ya en la **desecación** los lodos reducen al mínimo la cantidad de agua que contienen. Posterior a esto los lodos se aprovechan como abono o fertilizantes incorporándose al suelo, por lo general con dos semanas de secado los lodos se encuentran listos para ser incorporados como abono o fertilizante al suelo. La eliminación de los lodos se realiza cuando es considerado como un residuo (Figura 1.15).

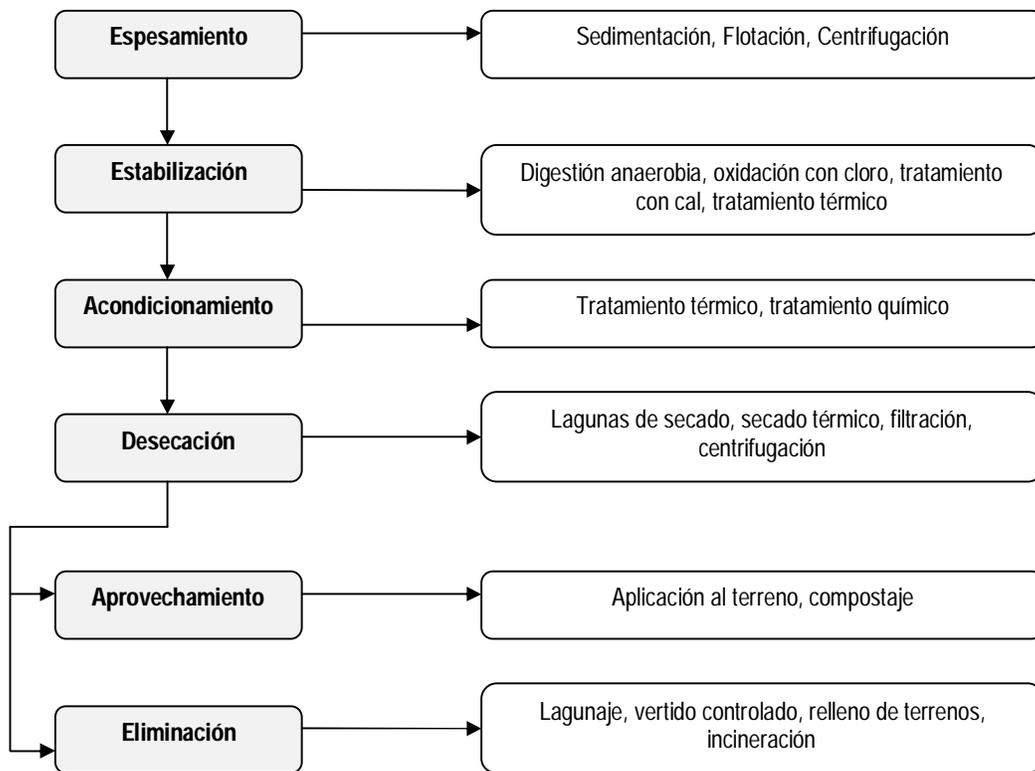


Figura 1.15 Tratamiento de lodos (Fuente: Jarabo, 2000)

En resumen se puede esquematizar el tratamiento de las aguas residuales de acuerdo al tratamiento y su utilización, (Figura 1.16).

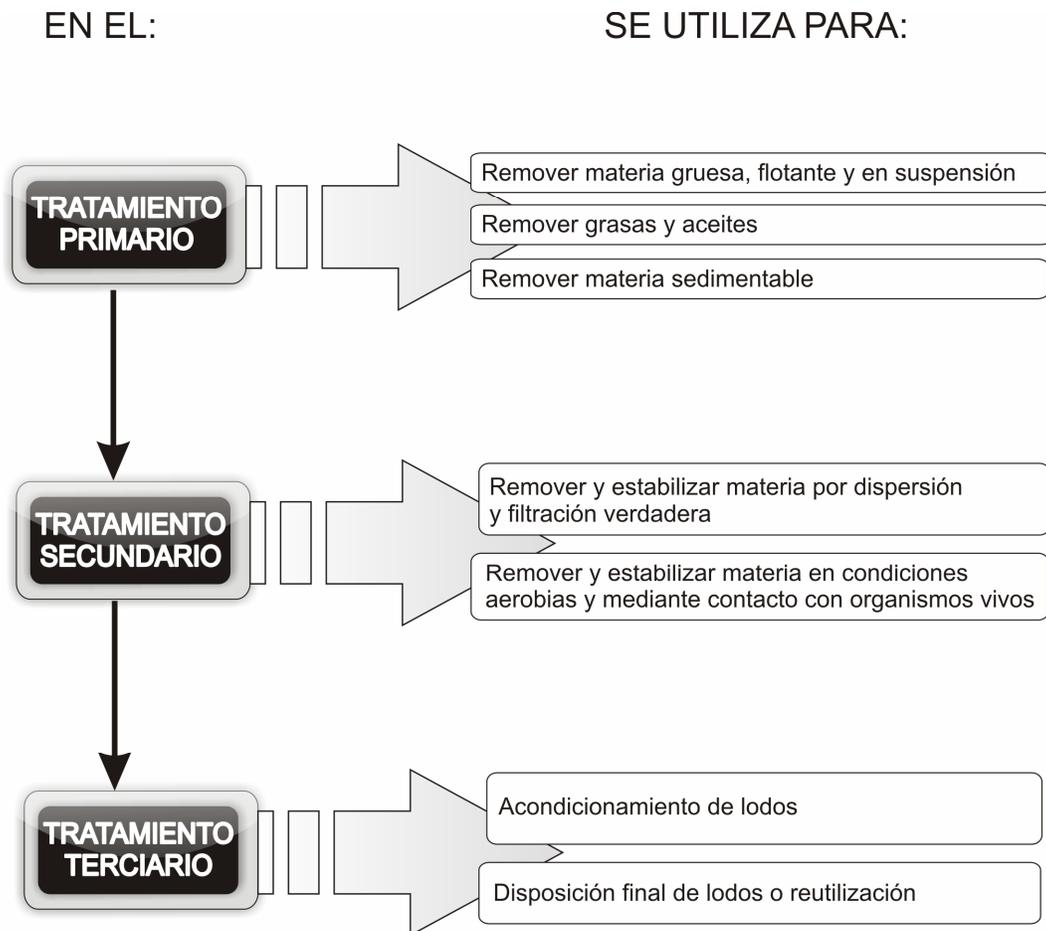


Figura 1.16 Etapas del tratamiento de las aguas residuales (Fuente: López, 1990)

1.15 PLANTAS DE TRATAMIENTO EN EL DISTRITO FEDERAL

El Distrito Federal cuenta con 30 plantas de tratamiento (Tabla 1.6) del que tienen una capacidad instalada conjunta de 6,543 L/s.

El Distrito Federal a nivel nacional ocupa el séptimo lugar en cuanto a tratamiento de los caudales de las aguas residuales (Figura 1.17); el porcentaje a nivel nacional es de 4.7%.

Tabla 1.6 Resumen del inventario nacional de plantas municipales de tratamiento de aguas residuales en operación

ESTADO	NO. DE PLANTAS	CAPACIDAD INSTALADA (litros/seg)	CAUDAL TRATADO (litros/seg)
Aguascalientes	101	3,722.70	3,288.33
Baja California	28	6411.70	4,442.07
Baja California Sur	16	1,105.20	823.50
Campeche	10	81.50	47.30
Coahuila	13	3,463.00	2,753.00
Colima	47	685.50	382.30
Chiapas	11	1,109.20	953.20
Chihuahua	116	7,976.20	6,241.55
Distrito Federal	30	6,543.00	3,525.00
Durango	138	3,465.67	2,552.93
Guanajuato	36	4,928.50	3,691.50
Guerrero	33	3,211.00	1,800.70
Hidalgo	8	56.50	49.70
Jalisco	95	3,421.50	3,275.60
México	78	7,295.20	4,733.30
Michoacán	21	1,529.00	1,043.60
Morelos	22	1,253.20	1,013.10
Nayarit	59	1,899.63	1,173.40
Nuevo León	61	13,091.00	11,102.20
Oaxaca	56	868.00	660.80
Puebla	82	3,116.59	2,421.09
Querétaro	63	1,001.00	774.10
Quintana Roo	29	2,076.50	1,600.90
San Luis Potosí	12	1,987.40	1,300.40
Sinaloa	107	4,794.07	3,818.73
Sonora	66	3,750.38	2,581.10
Tabasco	60	1,462.00	1,207.30
Tamaulipas	33	3,435.75	3,444.14
Tlaxcala	39	1,030.28	744.53
Veracruz	86	4,530.62	2,533.82
Yucatán	12	76.50	66.50
Zacatecas	25	385.90	342.60
Total Nacional	1,593	99,764.19	74,388.29

Fuente: CONAGUA, 2006

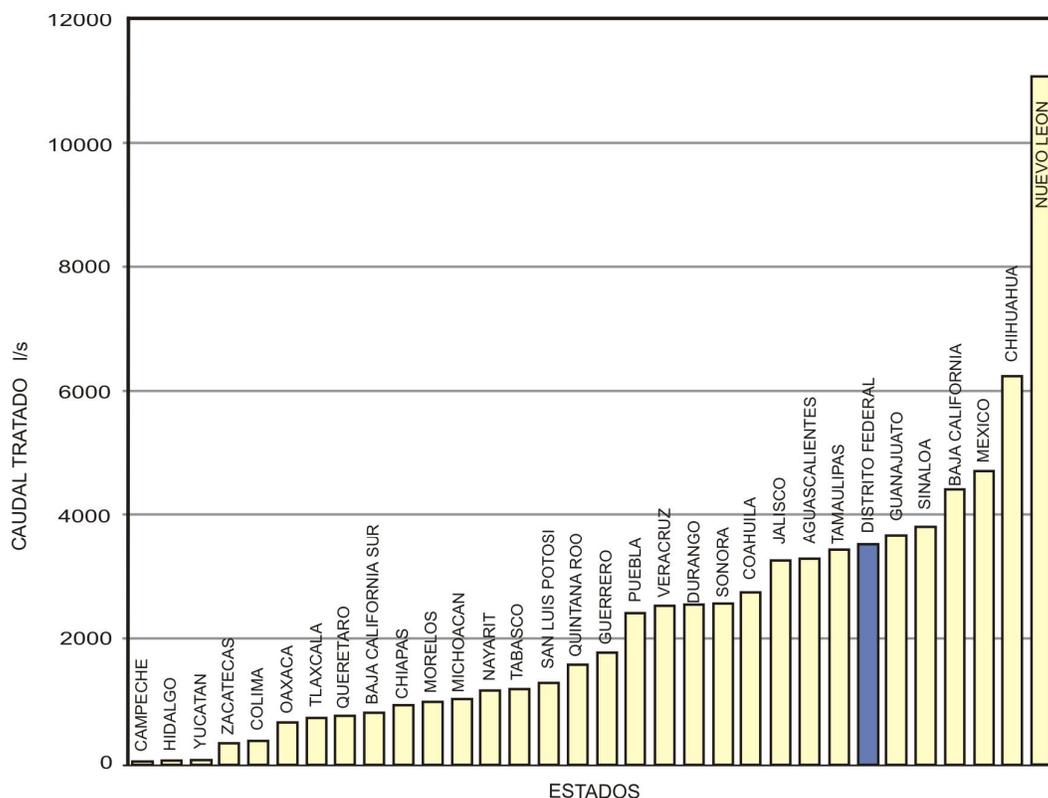


Figura 1.17 Tratamiento de las aguas residuales por estados a nivel nacional

(Fuente: Compilado de CONAGUA, 2006)

Operan con tratamiento a nivel secundario 23 plantas de tratamiento de aguas residuales, 5 a nivel terciario y 2 que tienen la nueva modalidad de tratar el agua a nivel primario avanzado (Tabla 1.7). El caudal total se conduce por medio de 626 km de redes de distribución, hacia áreas verdes, lagos recreativos, canales de riego y turísticos, así como a zonas industriales.

Tabla 1.7 Tipo de proceso de las plantas municipales de tratamiento de aguas residuales en operación en el Distrito Federal

PROCESO	NO. PLANTAS	FLUJO (litros/seg)
Lodos activados	26	3,449.00
Primario Avanzado	2	33.00
Rafa o Wabs	1	25.00
Terciario	1	18.00

Fuente: CONAGUA, 2006

El proceso que predomina es el de Lodos activados; de las dieciséis delegaciones la distribución por delegación se tiene que once cuentan con tratamiento de las aguas residuales, por lo que las delegaciones Álvaro Obregón, Benito Juárez, Cuajimalpa, Magdalena Contreras y Venustiano Carranza carecen de un tratamiento de las aguas residuales que se generan (Tabla 1.8)

Municipio	Nombre de la Planta	Proceso	Capacidad instalada (l/seg)	Caudal tratado (l/seg)	Cuerpo receptor o reuso	Observaciones
Azcapotzalco	U.H. El Rosario	Lodos activados	25	20	Riego de áreas verdes, llenado del lago parque Tezozomoc	Opera SACM
Coyoacán	Cd. Universitaria	Lodos activados	60	50	Áreas verdes	Concesionada
	Coyoacán	Lodos activados	400	250	Áreas verdes e industrial	Concesionada
Cuauhtémoc	U.H. Nonoalco Tlatelolco	Lodos activados	22	18	Áreas verdes	Opera SACM
Gustavo A. Madero	Acueducto de Guadalupe	Lodos activados	85	76	Áreas verdes e industrial	Concesionada
	San Juan de Aragón	Lodos activados	500	250	Áreas verdes, llenado de lago	Opera SACM
Iztacalco	Cd. Deportiva	Lodos activados	230	130	Áreas verdes e industrial	Concesionada
	U.H. Picos Iztacalco	Lodos activados	13	10	Áreas verdes	Opera SACM
Iztapalapa	Cerro de la estrella	Lodos activados	4,000	2,100	Áreas verdes, industrial, zona agrícola y chinampera de Tláhuac y Xochimilco	Opera SACM
	Santa Catarina	Terciario	20	18	Áreas verdes e industrial	Opera SACM
	Santa Marta Acatilla	Lodos activados	14	8		Inicio operaciones en 2005
Miguel Hidalgo	Bosques de las Lomas	Lodos activados	55	25	Áreas verdes	Opera SACM
	Campo Militar No.1-A	Lodos activados	30	25	Áreas verdes	Opera SEDENA
	Lomas de Chapultepec	Lodos activados	160	110	Áreas verdes, llenado de lago	Opera SACM
Milpa Alta	San Pedro Actocpan	Lodos activados	60	35	Riego agrícola	Opera SACM
	Villa Milpa Alta Rastro	Rafa o Wabs	30	25		
Tláhuac	Sa Andres Mixquic	Primario avanzado	30	30	Riego de hortalizas	Opera SACM
	Paraje el Llano	Lodos activados	250	80	Riego agrícola y recarga del acuífero	Opera SACM
	San Juan Ixtayopan	Lodos activados	30	13	Zona agrícola	
	San Juan Ixtayopan (La Lupita)	Lodos activados	15	14	Zona agrícola	Opera SACM
	San Nicolas Tetelco	Lodos activados	30	15	Zona agrícola	Opera SACM
	Tetelco	Primario Avanzado	15	3	Barranca	
	San Lorenzo	Lodos activados	225	55	Llenado de canales y recarga del acuífero	Opera SACM
Tlalpan	Parres	Lodos activados	8	1	Áreas verdes	Opera SACM
	Abasolo	Lodos activados	15	7	Áreas verdes	Opera SACM
	H. Colegio Militar	Lodos activados	20	26	Áreas verdes	Requiere ampliación / opera SEDENA
	San Miguel Xicalco	Lodos activados	6	4	Áreas verdes	Opera SACM
	U.H. PEMEX Picacho	Lodos activados	13	9	Áreas verdes	Opera SACM
Xochimilco	Reclusorio Sur	Lodos activados	30	19	Riego agrícola	Opera SACM
	San Luis Tlaxialtemalco	Lodos activados	150	99	Agrícola /áreas verdes	Opera SACM
TOTAL DE PLANTAS		30	6543.00	3525.00		

Fuente: CONAGUA, 2006

Se puede observar que la delegación que tiene un mayor volumen de agua residual tratada es Iztapalapa (Figura 1.18), contrariamente a ello no tiene un elevado número de plantas de tratamiento debido a que en el Distrito Federal es la delegación política

con la mayor planta de tratamiento, con un caudal arriba de los 2 mil litros por segundo. Existen once de las dieciséis delegaciones que tiene por lo menos una planta de tratamiento.

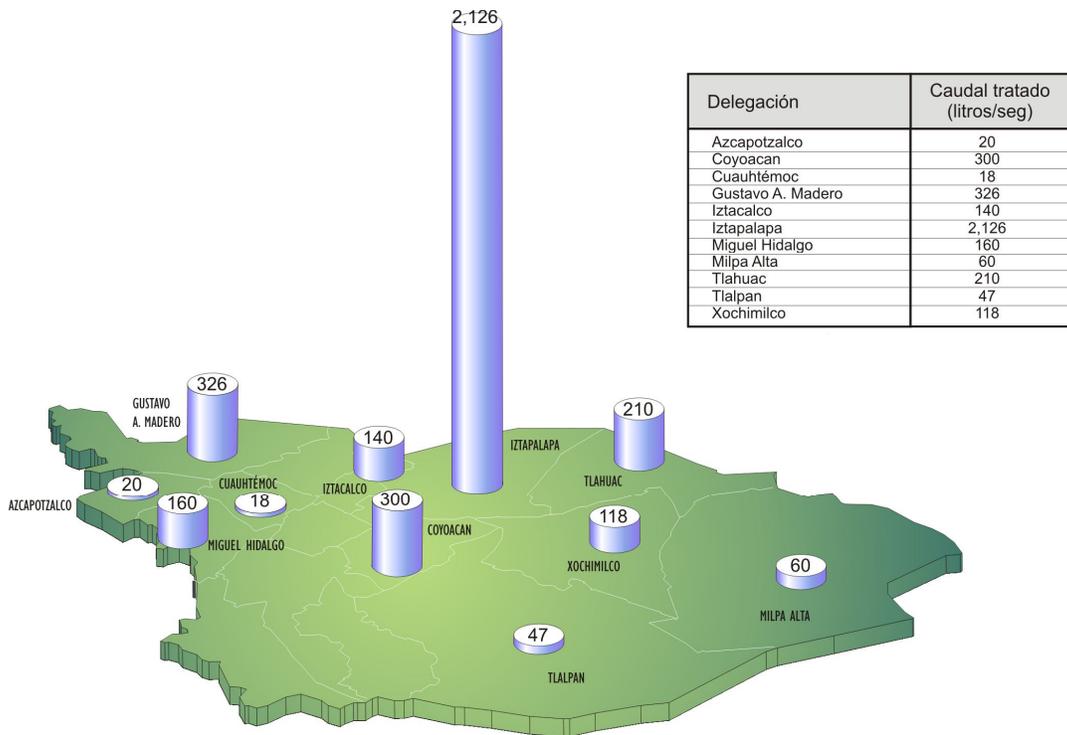


Figura 1.18 Flujos tratados de aguas residuales por delegaciones en el Distrito Federal (Fuente: Compilado de CONAGUA, 2006)

Actualmente en el Distrito Federal se tiene como proyecto el aumento de la capacidad de operación de las plantas de tratamiento; la planta de Cerro de la Estrella cuya capacidad esta en 2100 litros por segundo aumenta a 3000 litros por segundo y San Pedro Actopan de 35 litros por segundo, pasa a 60 litros por segundo (Vázquez, 2008), con el propósito de aumentar el flujo de tratamiento del agua tratada.

2

NORMATIVIDAD AMBIENTAL PARA EL AGUA RESIDUAL

Es un hecho que se entiende que el objetivo de la normatividad ambiental en materia de agua ha surgido para proteger al sistema natural, es decir regular las distintas sustancias o parámetros que en ciertas cantidades se constituyen como contaminantes debido a que su remoción mediante el ciclo hídrico demanda más tiempo para su atenuación natural; ahora bien para el sistema artificial que se tiene para conducir, transportar y controlar las aguas ya contaminadas también se debe de proteger, esto con el fin de que primero no ingrese la contaminación a la matriz suelo y después desestabilicen a su llegada a las plantas de tratamiento, por lo que los contaminantes que acompañan a esta agua sucia también tiene un límite.

2.1 INICIOS DE LA LEGISLACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Desde la incursión del hombre hacia las aguas como una necesidad de viajar para poder en un inicio de proveerse de alimento y después el intercambiar productos desde lugares lejanos, la contaminación del agua ha sido histórica. (Tabla 2.1). La navegación del hombre ha sido desde pequeñas corrientes, extensos ríos, lagunas, hasta los mares; éstos cuerpos de agua han recibido los desechos que se generan por el lavado de las embarcaciones (aguas de deslastre), la contaminación por esta agua se ha agravado debido que las embarcaciones actualmente transportan hidrocarburos.

Las únicas políticas públicas para el control de la contaminación se dieron en la “concientización sanitaria”, a mediados del siglo XIX, donde se regula los desechos de cualquier tipo que se arrojaba hacia una vía navegable (Field-Azqueta, 1996).

Por lo tanto la regulación de la contaminación fue dada principalmente por las vías navegables, después por calidad de agua para consumo, aguas residuales vertidas hacia corrientes de aguas y finalmente las aguas hacia la red de drenaje.

Esta preocupación de legislar las descargas de aguas de desecho es por el debilitamiento o reducción del oxígeno disuelto para la oxidación de la materia orgánica que pone en detrimento la vida acuática, con la finalidad de minimizar estos efectos, también se legisla desde las fuentes mismas de las aguas residuales, entre las cuales una de las más importantes es la emisión de aguas de la industria, ya que la industria química tiene una gran impacto sobre el medio ambiente (Chang, 1992).

Tabla 2.1 Historia de la legislación de la EPA sobre el control de la contaminación de aguas

Refuse Act Ley sobre Desechos de 1899
<p>Exigía permisos autorizados por el Army Corp of Engineers de Estados Unidos antes de que se arrojara cualquier desecho en aguas navegables. El propósito fundamental consistió en asegurar la navegabilidad; además tuvo una breve reaparición, no muy exitosa, en la década de 1960 como medida de la calidad del agua.</p>
Water Pollution Control Act (WPCA) Ley sobre el control de la contaminación de aguas de 1948
<p>El gobierno federal fue autorizado, para dirigir investigaciones, experimentación y encuestas; pero no se instituyó ninguna autoridad federal a fin de ejecutar las leyes, establecer estándares o limitar las descargas; facultó al gobierno federal para hacer préstamos a los municipios con el fin de construir instalaciones para el tratamiento de basura.</p>
WPCA Amendments Enmiendas de la WPCA de 1956
<p>Autorizó a los estados para que establecieran criterios con el fin de determinar niveles deseables de calidad de agua; introdujo la idea de una "junta para la ejecución de leyes", auspiciada por entidades federales a fin de que confrontaran intereses estatales y locales para desarrollar planes de ejecución. Facultó al gobierno federal para que hiciera subvenciones a las instalaciones municipales de tratamientos de desecho, con una participación federal de hasta un 55% en los costos de construcción</p>
Water Quality Act Ley de la Calidad del Agua en 1965
<p>Exigía que los estados desarrollaran <i>estándares de calidad ambiental</i> para las extensiones de agua interestatales, y planes de implementación en los cuales se exigieran reducciones de efluentes provenientes de fuentes específicas. Las acciones estatales exigían aprobación federal, con un fortalecimiento de "junta para la ejecución de leyes".</p>
WPCA Amendments Enmiendas de la WPCA de 1972
<p>Estipula un sistema federalmente decretado de <i>estándares de efluentes basados en la tecnología</i> con ejecución federal mediante la asignación de permisos de descarga. Los permisos de la fase I (que comenzarían en 1977), se adjudicaron según la "mejor tecnología practicable" (MTP); en la fase II (que comenzaría en 1983), se asignaron según la "mejor tecnología disponible" (MTD); los estados finalmente podrían adoptar procesos de asignación de permisos. Mediante estas enmiendas se manifestó el propósito de lograr la meta cero descargas para 1985: hicieron un gran incremento en el programa de subvenciones para las plantas municipales de tratamiento, con una participación federal incrementada hasta el 75% en los costos de construcción. Decretaron un tratamiento secundario para las plantas municipales de tratamiento.</p>
Clean Water Act Ley del Agua Pura de 1977
<p>Estableció procedimientos para el control de efluentes tóxicos, además de los efluentes convencionales en los cuales se habían concentrado las anteriores leyes, exigió que las fuentes cumplieran con la "mejor tecnología convencional" (MTC), para los contaminantes convencionales y la MTD para los tóxicos, a partir de 1984; incrementó la autorización de subsidios para las plantas de tratamiento.</p>
Municipal Wastewater Treatment Construction Grant Amendments Enmiendas para las Subvenciones de Construcción de Instalaciones Municipales para el Tratamiento de Aguas de Desecho de 1981
<p>La Municipal Wastewater Redujo la participación federal hasta un 55% y disminuyó considerablemente el nivel autorizado de financiamiento.</p>
Water Quality Act Ley del Agua Pura de 1987
<p>Postpuso algunas de las fechas límites para adoptar <i>estándares de efluentes basados en la tecnología</i>; transformó el programa de subsidio para el tratamiento de desecho de subvenciones federales por uno de contribuciones federales para fondos rotatorios de los estados.</p>

Fuente: Field-Azqueta., 1996

2.2 HISTORIA DE LA LEGISLACIÓN EN MEXICO EN MATERIA DE AGUA

El manejo del agua en México se remonta desde la época prehispánica, en el área que ahora cubre la Zona Metropolitana de La Ciudad de México, existía un sistema lacustre, de tal potencial que dio lugar a uno de los desarrollos más importantes del área mesoamericana. La Cuenca abarcaba alrededor de 7000 km², de los cuales cerca de 1000 corresponden a lagos y pantanos, tres de esos lagos los de Xaltocan, Zumpango y Texcoco eran salados, mientras que los de Chalco y Xochimilco eran de agua dulce (Vela, 2007).

La política moderna en materia hídrica se fundamenta en la Constitución Política de 1917, desde entonces la regulación tiene 90 años, que define la competencia, derechos y obligaciones de todo aquel que haga uso del agua.

Después de la Revolución Mexicana, la necesidad de aumentar la producción de alimento dió lugar a la creación de la Comisión Nacional de Irrigación y la promulgación del Acta de Irrigación en el año de 1926. La Ley de Aguas Propiedad de la Nación y su reglamento fueron expedidos en 1934 y 1936 respectivamente.

En 1946 la Comisión Nacional de Irrigación se convierte en la Secretaría de Recursos Hidráulicos, aumentando la regulación de este líquido por su elevada demanda. Con la extracción del agua del subsuelo en 1956 y 1958 se crea la Ley y el Reglamento del Aprovechamiento de Aguas del Subsuelo.

La Ley Federal de Aguas en el año de 1972 establece las funciones y responsabilidades de las instituciones federales y por primera vez se establecen regulaciones para las aguas residuales.

En 1975 se edita el Plan Nacional Hidráulico (PNH), con el objetivo de planear la utilización del agua y disminuir la contaminación del agua y suelo. Para 1976 la Secretaría de Recursos Hidráulicos y la Secretaría de Agricultura se fusionan para formar la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos para resolver los problemas agrarios. Por las dificultades de la implementación del Plan Hidráulico éste se transforma en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

En 1982 se incluye en la Ley Federal de Derechos, las cuotas para uso y aprovechamiento de las aguas nacionales, finalmente con el incremento de los problemas relacionados con el agua, en 1989 se crea la CONAGUA, como organismo descentralizado y en 1992 se promulga la Ley de Aguas Nacionales (LAN) y en 1994 su reglamento.

Desde los inicios de la regulación del agua en nuestro país, la planeación de los recursos hídricos ha procurado satisfacer la demanda de la sociedad y diferentes sectores económicos, por lo que los efectos de la sobreexplotación se percibieron a inicios de los años setenta, así como la contaminación de los mismos.

2.3 MARCO NORMATIVO EN MATERIA DE AGUA RESIDUAL EN MEXICO

En México la regulación en materia hídrica inicia desde la Constitución, en donde establece que 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 (Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos).

La competencia para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales incluyendo las residuales recae en las autoridades municipales. Así mismo se faculta a la Comisión Nacional de Aguas a determinar los parámetros que deberán de cumplir las aguas residuales para ser vertidas hacia los cuerpos de agua (Artículo 45 y 87 de la Ley de Aguas Nacionales).

Las empresas como una fuente generadora de agua residual que vierte hacia el alcantarillado están obligados a reunir las condiciones necesarias para prevenir la contaminación a cuerpos receptores, u ocasionar alguna interferencia en los procesos de depuración de las aguas, o alteraciones en el funcionamiento adecuado de los sistemas, y la capacidad hidráulica en los sistemas de alcantarillado (Artículo 122 de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente).

También se puede encontrar que en materia de salud, se prohíbe la descarga del agua residual sin un previo tratamiento (Artículo 122 de la Ley General de Salud) hacia

cuerpos de agua que se destinan para uso o consumo humano, esto con la finalidad de evitar cualquier riesgo para la salud pública.

2.4 OBSERVANCIA EN EL DISTRITO FEDERAL

Para el Distrito Federal en cuanto a agua residual, la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal tiene la facultad para: vigilar que las descargas cumplan con la normatividad vigente en cantidad y calidad (Artículo 155 de la Ley Ambiental del Distrito Federal), también prohíbe la descarga de aguas residuales a cualquier cuerpo o corriente de agua.

La observación de esta calidad de agua residual está fundamentada en la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, donde se establecen los límites máximos permisibles de los contaminantes que se indican en esta Norma, debido que es de orden federal.

Con la actualización de esta norma que se llevó a cabo en 1994, donde antes se podía regular un parámetro llamado conductividad que es la expresión numérica del agua que depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la que se haga la medición (Romero, 1999). El valor de la conductividad era un estimativo rápido para obtener el contenido de sólidos disueltos.

La protección de la red de drenaje se establece en el Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal, donde se prohíbe el arrojar o descargar materiales o residuos que obstruyan el flujo a cuerpos receptores (Fracción V, Artículo 53 del Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal). Para disminuir la cantidad de agua residual como lo indica la Ley Ambiental de Distrito Federal se promueve la separación de los drenajes, a fin de captar el agua de lluvia y evitar que esta se mezcle con las aguas residuales industriales, de servicio o domésticas (Artículo 9 del Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal)

2.5 PARÁMETROS DE LA NORMA NOM-002-SEMARNAT-1996

Para la inspección y regulación ambiental en materia de descarga de aguas residuales la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal aplica la Norma NOM-002-SEMARNAT-1996, en concreto el área de Regulación y Vigilancia Ambiental. Sin embargo la coordinación que existe con Sistemas de Aguas de la Ciudad de México desde el año de 2005, para la regulación en coordinación con emergencias hidráulicas de esta última ha sido basada en un acuerdo de colaboración el cual ha mejorado sustancialmente la identificación de las fuentes fijas que por las características de sus descargas pone en decremento la vida útil de la red de drenaje y como consecuencia una pobre observancia de dicha normatividad.

Gracias a ello la eficacia en la observancia de esta norma ha sido mayor, pero aun está por verse que dicho seguimiento tenga éxito por parte de la Secretaría del Medio ambiente del Distrito Federal, ya que aun no ha presentado ante la población interesada del cuidado del medio un reporte de todas aquellas empresas que continúen con el cumplimiento de las medidas impuestas ni las adecuaciones o mejoras realizadas a los proceso, como parte de el procedimiento técnico administrativo que aplica a las mismas.

Esta Norma como lo indica el preámbulo de la misma, tiene como objetivo el controlar la contaminación de la aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y su aplicación de carácter nacional aplica solo a las descargas de aguas de fuentes fijas, dejando fuera las descargas de origen pluvial (lluvia), pero como es sabido las empresas en el Distrito Federal (y en todo México), no tiene o es muy escasa la separación de los descargas de aguas residuales por su origen por lo que esta adecuación para las empresas generaría un cambio radical en su disposición de la red interna de sus drenajes situación que muy pocos están dispuestos de llevar a cabo, para evitar que la contaminación del agua residual sea menor.

En conclusión la mezcla de agua residual con la pluvial en las empresas es siempre encontrada durante los recorridos de inspección a las fuentes fijas.

Los parámetros que tiene como cumplimiento obligatorio se muestran en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Límites máximos permisibles según la Norma NOM-002-SEMARNAT-1996

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES			
PARÁMETROS (miligramos por litros, excepto cuando se especifique otra)	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y Aceites	50	75	100
Sólidos Sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

También se hace mención en sus puntos 4.3, 4.4 y 4.5 de otros parámetros que son en potencial de Hidrógeno, Temperatura y la materia flotante respectivamente (Tabla 2.3).

Tabla 2.3 Límites máximos permisibles según los puntos 4.3, 4.4 y 4.5 de la Norma NOM-002-SEMARNAT-1996

PARÁMETROS	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
Potencial de Hidrógeno (unidades de pH)	5.5 a 10
Temperatura (grados Celsius)	Hasta 40
Materia Flotante (Ausente o Presente)	AUSENTE

En lo que hace a los parámetros de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST), éstos no se encuentran en la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, sino que remite esta información en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Lo que ha ocasionado una gran discrepancia entre la autoridad

ambiental y los representantes de las empresas obligadas a cumplir con la legislación ambiental, ya que esta norma es para el vertimiento de las aguas residuales en aguas y bienes nacionales y no para el vertimiento de aguas residuales hacia la red de drenaje; la problemática principal radica en que según la tabla 2 de la Norma NOM-001-SEMARNAT-1996 se tiene una clasificación de las aguas que son ríos, embalses naturales y artificiales, aguas costeras y suelo (Tabla 2.4).

Tabla 2.4 Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales

PARAMETROS (miligramos por Litro, excepto cuando se especifique)	RÍOS			EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES		AGUAS COSTERAS			SUELO	
	Uso en riego agrícola	Uso público urbano	Protección de vida acuática	Uso en riego agrícola	Uso público urbano	Explotación pesquera, navegación y otros usos	Recreación	Estuarios	Uso en riego agrícola	Humedales Naturales
	(A) P.M.	(B) P.M.	(C) P.M.	(B) P.M.	(C) P.M.	(A) P.M.	(B) P.M.	(B) P.M.	(A) P.M.	(B) P.M.
Temperatura °C (1)	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	40
Grasas y Aceites (2)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Materia Flotante (3)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos Sedimentables (mL/L)	1	1	1	1	1	1	1	1	N.A.	1
Sólidos Suspendedos Totales	150	75	40	75	40	150	75	75	N.A.	75
Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅	150	75	30	75	30	150	75	75	N.A.	75
Nitrógeno Total	40	40	15	40	15	N.A.	N.A.	15	N.A.	N.A.
Fosforo Total	20	20	5	20	5	N.A.	N.A.	5	N.A.	N.A.

P.M. = Promedio Mensual N.A. = No Aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de derechos

(1) Instantáneo

(2) Muestra simple promedio ponderado

(3) Ausente según el método de prueba definido en la MNX-AA-006

Surgiendo la pregunta que muchos no han podido responder ¿Qué clasificación presentada en esta Norma se debe aplicar para el cumplimiento de la DBO y los SST, para el agua residual vertida hacia la red de drenaje?, por costumbre, el límite máximo permisible que se han adoptado es de **150 mg/L** para la DBO y de **75 mg/L** para los SST.

3 INDICADORES AMBIENTALES

3.1 INDICADORES AMBIENTALES

La palabra indicador viene del verbo latín *indicare*, que significa mostrar, anunciar, estimar o asignar un precio. Los indicadores son parámetros (una medida o propiedad observada), o algunos valores derivados de los parámetros, que proporcionan información sobre el estado actual de los ecosistemas, así como patrones o tendencias (cambios) en el estado del medio ambiente, en las actividades humanas que afectan o están afectadas por el ambiente, o sobre las relaciones entre tales variables (Ferman, 2006).

Es una expresión numérica, de carácter adimensional, obtenida de la fusión de varias variables ambientales. La utilización de indicadores es un medio reconocido desde hace tiempo para investigar las tendencias y minimizar los riesgos (PNUMA, 2003).

La importancia de los indicadores reside en el uso que se les puede dar. Idealmente, deben informar a los tomadores de decisiones o usuarios (SEMARNAT, 2005), ayudarlos a esclarecer en este caso la calidad del agua residual, todo lo cual conduce a decisiones mejor sustentadas. También son una excelente herramienta de información al público porque, acompañados por una buena estrategia de comunicación, ilustran conceptos e información, contribuyendo al entendimiento de los temas.

Un esquema sencillo, fácil de desarrollar consta de cuatro áreas principales, dividiéndose, a su vez, el área de "Recursos naturales" en otras subáreas (Cardozo, 2002):

1. Atmósfera
2. Residuos
3. Medio Urbano

4. Recursos Naturales

4.1 Biodiversidad

4.2 Bosques

4.3 Costas

4.4 Medio Marino

4.5 Suelo

4.6 Agua

Las características o condiciones de tales factores son los indicadores ambientales, y es una expresión que puede ser medida de manera cuantitativa y otras de manera cualitativa.

Estableciendo los indicadores para cada factor y para cada componente, las unidades de medida quedan automáticamente definidas y delimitadas en virtud de la definición del propio indicador.

Cabe señalar que frecuentemente se utilizan las palabras “parámetro” e “índice” como sinónimos de indicador, sin embargo no tienen el mismo significado. Un parámetro se define como cualquier propiedad que es medida u observada, mientras que un índice designa a un conjunto agregado o ponderado de parámetros o indicadores (SEMARNAT, 2005).

3.1.1 Características de los indicadores ambientales

Para que los indicadores ambientales cumplan su función de poder informar de una manera fácil y expresa la calidad de las aguas residuales en una escala, es necesario que el índice tenga ciertas características que a continuación se enlistan:

1. Ofrecer una visión de las condiciones ambientales, presiones ambientales y respuestas de la sociedad o gobierno.
2. Ser sencillos, fáciles de interpretar y capaces de mostrar las tendencias a través del tiempo.
3. Responder a cambios en el ambiente y las actividades humanas relacionadas.
4. Proporcionar una base para las comparaciones internacionales (cuando sea necesario).
5. Ser aplicables a escala nacional o regional, según sea el caso.
6. De preferencia tener un valor con el cual puedan ser comparados.

7. Estar teórica y científicamente bien fundamentados.
8. Estar basados en consensos internacionales.
9. Ser capaces de relacionarse con modelos económicos y/o de desarrollo, así como con sistemas de información.
10. Estar disponibles con una razonable relación costo/beneficio.
11. Estar bien documentados y gozar de calidad reconocida.
12. Ser actualizados a intervalos regulares con procedimientos confiables.

Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), a medida que los indicadores cuenten con menores características enlistadas anteriormente, la confiabilidad disminuye (SEMARNAT, 2005).

3.1.2 Criterios para el desarrollo de indicadores

Para la elaboración de los índices se reconocen tres etapas

El primer criterio, se refiere a la necesidad de contar con la información adecuada para tomar decisiones referentes a la protección del ambiente y para un seguimiento del fenómeno tratado (Vallejo, 2000). Un mejor entendimiento del fenómeno conlleva a una decisión más clara. Es importante precisar que muchas veces es imposible medir todos los parámetros pero es imprescindible contar con la información más relevante.

El segundo criterio, está relacionado con la sencillez, lo cual no implica que el indicador sea “simple”, en la elección de cada indicador debe de haber un análisis profundo y con frecuencia complejo, no obstante cuando se aplique éste debe de poder comunicar de manera clara y eficaz el mensaje a los tomadores de decisiones o a la misma sociedad (Aguirre, 2002).

El tercer criterio, referente a la facilidad que tendrá el índice propuesto a precisar de una permanente revisión a un cambio de política ambiental (Manteiga, 2000), para nuestro caso a la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996.

3.2 CATEGORÍAS USADAS COMO INDICADORES AMBIENTALES

Las categorías para los índices han sido abordadas por diversas instituciones debido a los conceptos que maneja y la naturaleza de los parámetros involucrados, por lo que se mencionará únicamente los más comunes que son:

1. **Tensores:** cualquier entidad física, química o biológica que pueden inducir un efecto adverso en los ecosistemas o la salud humana (SEMARNAT, 2005).
2. **Presiones:** son las actividades humanas, los procesos naturales, y los tensores biofísicos derivados de estas actividades y procesos, que pueden contribuir para presionar la salud y bienestar humano, así como los componentes y funciones de ecosistemas (Suarez, 2003).
3. **Estado del ambiente:** estas presiones sobre el medio ambiente conducen a un estado determinado del ambiente físico, químico, biológico así como a una condición de los ecosistemas y las funciones ecológicas (Videla, 2000).
4. **Respuestas:** son las acciones colectivas o individuales dirigidas a mitigar, controlar o prevenir impactos humanos negativos, y generalmente se expresan como políticas o normatividad (Espinoza, 2004).
5. **Indicadores de política ambiental:** permiten observar el uso, aplicación y manejo de los instrumentos y mecanismos de gestión, la capacidad institucional, la ejecución de normas, planes y proyectos y la aplicación de normas y objetivos ambientales. Con este tipo de información se puede ver cuáles son los progresos de las acciones y que políticas deben ser creadas, reforzadas o eliminadas para frenar las causas de degradación ambiental (Videla, 2000).

3.3 ESQUEMA PRESIÓN-ESTADO-RESPUESTA (PER)

Debido a que la información utilizada para construir indicadores ambientales es amplia y diversa, se requiere un marco conceptual que permita estructurar la información y facilitar su acceso e interpretación. Existen varios modelos para organizar los conjuntos de indicadores. Uno de los más conocidos y quizá el más utilizado en México es el denominado Presión-Estado-Respuesta (PER), propuesto por Environment Canada y la OCDE. Otro modelo es el de Fuerza Directriz-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (DPSIR), por sus siglas en inglés y algunos más que se caracterizan por su orientación temática. A continuación se presenta una breve descripción de algunos de ellos, con énfasis en el esquema PER, dado que es el utilizado (SEMARNAT, 2005).

El PER fue diseñado originalmente por Statistics Canada en 1979, el esquema conceptual Presión-Estado-Respuesta (PER) fue retomado y adaptado por Naciones Unidas para la elaboración de algunos manuales sobre estadísticas ambientales, concebidos para su integración a los sistemas de contabilidad física y económica. Paralelamente, ese esquema fue adoptado y modificado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), que en 1991 desarrolló el esquema PER y en 1993 definió un grupo medular de indicadores ambientales en varios temas seleccionados para la evaluación del desempeño ambiental (SEMARNAT, 2002).

El esquema PER es una herramienta analítica que trata de categorizar o clasificar la información sobre los recursos naturales y ambientales a la luz de sus interrelaciones con las actividades sociodemográficas y económicas.

Este modelo parte de cuestionamientos simples:

- ¿Qué está afectando al ambiente?
- ¿Qué está pasando con el estado del ambiente?
- ¿Qué se está haciendo acerca de estos temas?

Es importante señalar que, si bien resulta un esquema lógico en términos de la relación entre presiones, estado y acciones, sugiere una relación lineal de la interacción actividad humana-ambiente que no suele ser cierta y tiende a ocultar lo complejo que realmente son estas interacciones (Figura 3.1).

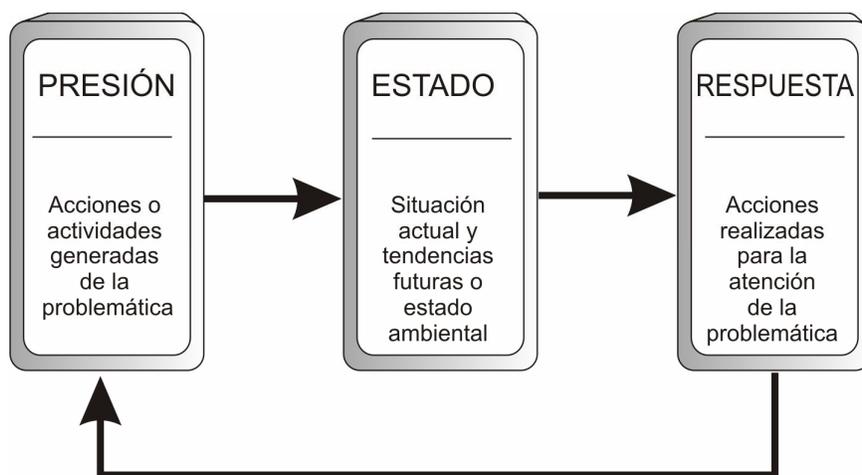


Figura 3.1 Organización de los indicadores PER

(Fuente: SEMARNAT, 2005)

3.3.1 Indicadores de presión

Son las que producen las actividades (económicas, tecnológicas, etc.) sobre el sistema natural (Boné, 2008). Los indicadores de la presión muestran cuáles son los factores antropogénicos que tienen un efecto más agudo sobre la diversidad biológica en un momento dado y en el futuro (CBM, 2001).

La clasificación del indicador de presión es:

Primario el cual nos indica las presiones directas sobre el ambiente por las actividades humanas (SEMARNAT, 2007).

Secundario toma en cuenta las actividades humanas en sí mismas, o aquellas actividades productivas que generan problemática, en otras palabras la actividad industrial. Se puede decir que es indicador de presión indirecta, lo que ayuda a pronosticar la evolución de la problemática, así como también las acciones políticas para controlar y revertir el problema (SEMARNAT, 2007).

3.3.2 Indicadores de estado

En el caso de los indicadores de estado, son diseñados para ofrecer información acerca de la situación del estado natural (ecosistemas, biodiversidad, recursos naturales, etc.). Por el nivel de modificación del estado y su relación con el hombre, se les puede clasificar en: de precaución temprana y de amenazas (Espinoza, 2004).

Por tanto un indicador de estado mide la calidad ambiental en un momento de tiempo definido, de una situación o problema específico.

3.3.3 Indicadores de respuesta

Los Indicadores de respuesta, por su lado, permiten cuantificar los efectos directos sobre la disponibilidad y la calidad ambiental, es decir los aumentos o disminuciones en la presión y en el estado de los recursos naturales o para una situación ambiental específica, indicadores que van asociados con acciones directas de control o mitigación de los impactos ambientales (IDIAM, 2004).

En México, es usual que algunas personas identifiquen los indicadores de respuesta con acciones netamente administrativas en el marco de la gestión ambiental.

3.4 CLASIFICACIÓN DE INDICADORES POR NIVEL

De acuerdo a las características de los indicadores, se establece un orden jerárquico, en el cual la relación entre las categorías establecidas permite determinar la tipología del ecosistema, manifestándose por la interacción de indicadores a diferentes niveles (Tabla 3.1).

Tabla 3.1 Clasificación de indicadores por nivel

NIVEL	CARACTERÍSTICA
Primero	Son cuantitativos y cualitativos, se caracterizan porque determinan patrones especiales y funcionales de los ecosistemas, definiendo unidades ecológicas y de paisaje.
Segundo	Definen patrones de importancia en el área estudiada y agrupan indicadores específicos de primer nivel, son conocidos como los diferentes medios de cada uno de los subcomponentes. Los medios son geológico, geomorfológico, climático, hidrológico, edáfico, vegetación, fauna, social, económico, cultural demográfico paisajístico.
Tercero	Son indicadores macros: abióticos y socioeconómicos; son conocidos como subcomponentes del sistema ambiental

Fuente: Compilado de Espejel *et al.*, 2004

A los indicadores de primer nivel se debe de hacer un análisis de influencia-dependencia, con el objeto de identificar cuáles son los más importantes y cuáles son los más vulnerables dentro del ecosistema. El análisis se hace mediante una matriz, donde se cruzan los indicadores seleccionados y se determinan los parámetros más influyentes y los más vulnerables.

La matriz donde se hace el análisis es diseñada mediante un plano de coordenadas donde las "x" corresponden a los valores de dependencias y las "y" corresponden a las influencias (Tabla 3.2).

COMPONENTES FÍSICOS					DEPENDENCIA
Indicador	Erosión	Precipitación	Reserva de aguas superficiales	Caudales superficiales	
Erosión				■	1
Precipitación	■		■	■	3
Reserva de aguas superficiales		■		■	2
Caudales superficiales	■				1
INFLUENCIA	2	1	1	3	

Tabla 3.2 Matriz de análisis de ecosistema
Fuente: Compilado y adecuado de Santibáñez-Santibañez, 1999

El indicador de precipitación es el más sensible desde el punto de vista de impactos acumulativos, y el indicador de caudales superficiales tiene un alto grado de influencia.

3.5 TIPOS DE INDICADORES

Diversos organismos e instituciones ambientales han utilizado los indicadores con varios propósitos, entre ellos el mapeo, la evaluación ambiental, el monitoreo del estado del medio ambiente con relación al desarrollo sostenible. Se consideran instrumentos para medir la calidad ambiental de un sitio con respecto a la calidad ambiental óptima, así como para la evaluación de políticas ambientales sectoriales (INECE, 2007).

El sistema de clasificación de indicadores, se basa en el concepto de que un indicador es una única característica o una manipulación matemática de una serie de variables ambientales.

3.5.1 Indicadores geológicos y geomorfológicos

Los indicadores geológicos y geomorfológicos se agrupan bajo el término de geoindicadores, y se definen como magnitudes y tendencias de los procesos geológicos y fenómenos que ocurren en períodos de tiempo de 100 años, o menos, cerca de la superficie terrestre, sujetos a variaciones de importancia para entender los rápidos cambios ambientales (IUGS, 1995).

Los geoindicadores describen procesos y parámetros ambientales capaces de cambiar sin interferencia humana, aunque las actividades humanas pueden acelerar, retrasar o desviar los cambios naturales; son usados en el monitoreo ambiental y ecológico, reporte del estado del medio ambiente y evaluación general de la sustentabilidad ambiental a escalas local, nacional e internacional (Tabla 3.3).

Tabla 3.3 Geoindicadores

GEOINDICADOR	IMPORTANCIA
Actividad de suelos congelados	También conocido como permafrost, estos rasgos periglaciares característicos se encuentran próximos a los glaciares. Los permafrost influyen en los ecosistemas naturales y explotados, tales como bosques, pastizales y praderas, montañas y humedales, como también en sus sistemas hidrológicos.
Calidad de suelo	El suelo es esencial para la prolongación ininterrumpida de la vida sobre el planeta. Como fuentes, depósitos y transformadores de nutrientes de las plantas, los suelos poseen una influencia primordial sobre los ecosistemas terrestres. Los suelos reciclan continuamente restos de plantas y animales y son sistemas principales de soporte de vida humana, determinando la capacidad de producción agrícola de las tierras. Pueden amortiguar y filtrar contaminantes, almacenar humedad y nutrientes.
Costras y fisuras en superficies desérticas	Las costras superficiales de los desiertos son importantes porque protegen el material fino subyacente de la erosión eólica.
Erosión del suelo	Es un importante problema social y económico y un factor esencial en la evaluación de la salud y funcionamiento de ecosistemas. Los estimados de la erosión son esenciales para asuntos de manejo de aguas y suelos, incluyendo el transporte y depósito de sedimentos en tierras bajas, reservorios, estuarios y sistemas de irrigación

Fuente: Pérez-Carreño, 2002

Las variaciones de los geindicadores reflejan los impactos producidos por la agricultura, la silvicultura, los asentamientos humanos, como así también por otros sectores de la economía y actividades antrópicas (Pérez-Carreño, 2002).

3.5.2 Indicadores climáticos

Son variables de las condiciones atmosféricas en cuanto a composición y presencia de ciertos elementos contaminantes (Tabla 3.4), también se incluyen las variables de tipo meteorológico (IUGS, 1995).

Tabla 3.4 Indicadores climáticos

INDICADOR CLIMÁTICO	IMPORTANCIA	CITA
Precipitación	Muestra los cambios que ocurren en el largo plazo, particularmente los relacionados con el ciclo hidrológico, en relación con un período de referencia.	IDEAM 2001
Humedad relativa	La humedad relativa cambia con la temperatura, la presión y el vapor de agua contenido. La humedad relativa es un factor importante en la determinación de la cantidad de evaporación de agua de las plantas y las superficies húmedas.	Vantage 2007
Temperatura	Es de gran importancia como evidencia del cambio climático revelando las variaciones de temperatura de la superficie en periodos de hasta 2 a 3 siglos.	Pérez-Carreño 2002
Punto de rocío	Un punto de rocío alto significa que hay mucho vapor de agua contenido. Un valor bajo significa poco vapor de agua contenido. Un alto punto de rocío indica probabilidad de lluvia y tormentas. También con este indicador se puede predecir la temperatura mínima de la noche.	Vantage 2007

3.5.3 Indicadores hídricos

Son variables abióticas que señalan un proceso o estado del ecosistema acuático, caracterizan el ecosistema afectado a través de las variables físico - químicas y sus variaciones temporales (Tabla 3.5).

Tabla 3.5 Indicadores hídricos

INDICADOR HÍDRICO	IMPORTANCIA	CITA
Sistema de cuencas	Los sistemas fluviales desempeñan un papel clave en la regulación y el mantenimiento de la biodiversidad. Los cambios en los cursos de agua son indicadores de los cambios en la dinámica de la cuenca y el uso de la tierra.	Pérez-Carreño 2002
Nivel de agua	La historia de las fluctuaciones del nivel en los lagos proporciona un registro detallado de los cambios del clima en una escala temporal que tiene un rango de diez a un millón de años. Los lagos también pueden ser valiosos indicadores de las condiciones del agua subterránea próxima a la superficie	
Agua subterránea	La composición química del agua subterránea es una medida de su conveniencia para su utilización como fuente de abastecimiento para consumo humano y animal, para irrigación, para propósitos industriales y otros usos. También influye en la salud y funcionamiento de ecosistemas, de modo que es importante detectar sus variaciones y las advertencias tempranas del cambio en su calidad ya sea en sistemas naturales como por el resultado de una contaminación	
Caudales de ríos	Representa la cuantificación y variación espacio-temporal de los caudales. Es particularmente útil la observación de las magnitudes actuales con el promedio histórico. Los desplazamientos paralelos pueden significar años más secos o más húmedos	IDEAM 2001

3.5.4 Indicadores biológicos

Son variables biológicas, ecológicas, especies, o poblaciones que al responder a las variaciones, muestran un grado de tolerancia, algunos organismos pueden proporcionar información de cambios físicos y químicos en el agua, ya que a lo largo del tiempo revelan modificaciones en la composición de la comunidad (Vázquez *et al.*, 2006).

El creciente interés por conocer el estado actual de los cuerpos acuáticos y su evolución en el tiempo, ha estimulado una fuerte investigación, en la búsqueda de

establecer estándares de juicio de “calidad de agua”, una aproximación es a través del uso de organismos indicadores de la calidad ambiental (Figuroa *et al.*, 1998).

Relacionado a los efectos de la contaminación, un organismo indicador se refiere a especies seleccionadas por su sensibilidad o tolerancia, (Tabla 3.6) normalmente es la sensibilidad a varios parámetros (Herbas *et al.*, 2006).

Tabla 3.6 Indicadores biológicos

INDICADOR BIOLÓGICO	IMPORTANCIA
<i>Escherichia coli</i>	Bacteria coliforme que es un indicador de contaminación fecal por descarga reciente de desechos
<i>Corydalis sp</i>	Megaloptero que no tolera ningún tipo de contaminación, se encuentra en aguas con buena oxigenación.
<i>Planorbella trivolvis</i>	Molusco de agua dulce es un indicador de aguas contaminadas por desechos industriales o domésticos.
<i>Capitella capitata</i>	Esta especie cosmopolita considerada como indicadora de contaminación orgánica, con un ciclo corto de vida (un mes) se reproduce rápidamente en ausencia de competidores.
<i>Simulium sp</i>	Es un díptero de hábitos filtradores intolerante a la contaminación.

Fuente: Vázquez *et al.*, 2006

3.6 ÍNDICES AMBIENTALES

Un índice ambiental es una categorización numérica o descriptiva de una gran cantidad de información ambiental, con el propósito de simplificar tales datos, y hacer más fácil la labor de decisión ambiental (Espejel *et al.*, 2005).

Un índice ambiental es el producto de una manipulación matemática de un grupo de valores de indicadores definidos con relación a un estándar o valor deseable.

Los índices resultan de valores derivados de la transformación de indicadores observados o predichos, también se consideran los índices como complejas

transformaciones matemáticas de series de indicadores, en los cuales los indicadores individuales son ponderados de acuerdo a su importancia en el sistema ambiental evaluado. La información contenida en los indicadores se puede resumir, de forma simplificada en unos pocos índices (SEMARNAT, 2005).

En términos de una evaluación ambiental, los índices ambientales se usan para:

1. Resumir los datos ambientales existentes.
2. Comunicar esta información sobre la calidad del medio ambiente afectado.
3. Evaluar la vulnerabilidad o susceptibilidad de una categoría o elemento ambiental.
4. Servir de base para expresar los impactos de las diferencias del índice evaluado, entre el valor del índice con el propósito y el valor del índice sin propósito.
5. Auditar los impactos
6. Evaluar los impactos integrados, expresados como cambios de índices de calidad ambiental.
7. Seleccionar alternativas de uso.

Mientras algunos índices son muy complejos desde una perspectiva matemática, se pueden analizar índices a través de simples comparaciones de datos. Por ejemplo, las siguientes relaciones pueden ser utilizadas en los diversos tipos de evaluaciones ambientales:

$$a) \frac{\text{Calidad existente}}{\text{Norma de calidad ambiental}}$$

$$b) \frac{\text{Calidad existente}}{\text{Promedio temporal}}$$

$$c) \frac{\text{Calidad o cantidad de emisiones}}{\text{Emisión estándar}}$$

$$d) \frac{\text{Calidad existente}}{\text{Promedio espacial}}$$

3.6.1 Índices de calidad del agua

Los índices de calidad del agua (Tabla 3.7) que existen son para los cuerpos de aguas y únicamente el índice de Langelier es para las tuberías de agua potable. El índice de calidad del agua más utilizado en España es el Índice de Calidad General (ICG), utiliza básicamente nueve parámetros y catorce complementarios según la influencia en la calidad, los nueve parámetros básicos son: coliformes totales, conductividad, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, fósforo total, sólidos suspendidos, nitratos, oxígeno disuelto y pH (Miliarium, 2007). En México para la calidad del agua se utiliza el índice de calidad del agua (ICA), aplicado por CONAGUA.

Tabla 3.7 Índices de calidad del agua

NOMBRE	FÓRMULA	VARIABLES
INDICE DE CALIDAD GENERAL	$ICG = \sum (Q_i * P_i)$	Q – Valor analítico de cada parámetro P – Peso asignado a cada parámetro
INDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DE AGUA	$ISQA = E * (A + B + C + D)$	E – Temperatura del agua (°C) A – Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) B – Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) C – Oxígeno disuelto (mg/L) D – Conductividad (µS/cm)
INDICE LANGELIER	$IL = pH + TF + HF + AF - 12$	pH – pH del agua TF – Factor de temperatura HF – Factor de dureza (logCaCO ₃) AF – Factor alcalinidad (log Alcalinidad) Para predecir problemas de corrosión e incrustación en tuberías
INDICE AUTOMATICO DE CALIDAD DE AGUA	$ISQA = E * (A + B + C + D)$	E – Temperatura del agua (°C) A – Carbono orgánico Total B – Turbidez C – Oxígeno disuelto (mg/L) D – Conductividad (µS/cm) Los valores se obtienen de redes automáticas de control
INDICE DE CALIDAD DEL AGUA	$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n (I_i * W_i)}{\sum W_i}$	W _i – Pesos específicos asignados a cada parámetro i I _i - Subíndice de calidad del agua para el iésimo parámetro y 0 ≤ I ≤ 100
	$ICA = \prod_{i=1}^n [Q_i^{W_i}]$	W _i – Pesos específicos asignados a cada parámetro i Q _i – Calidad del parámetro i

Fuente: Miliarium, 2008

3.6.1.1 Índice de calidad del agua (ICA)

Para este índice de calidad del agua, ciertos parámetros son considerados como más significativos que otros, por lo que se valoran por orden de importancia.

En México la extinta Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) aplicó en 1974 el índice de calidad de agua, utilizando 18 parámetros analíticos a los cuales se les determina un subíndice de calidad mediante ecuaciones sencillas (Tabla 3.8). El ICA se determina mediante una operación aritmética de ponderación, determinando el peso de los parámetros de acuerdo con su importancia sanitaria (León, 1991).

El índice aritmético se define como:

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n (I_i * W_i)}{\sum W_i}$$

En donde

ICA = Índice de Calidad del Agua

I_i = Subíndice de calidad del agua para el i ésimo parámetro y $0 \leq I \leq 100$

W_i = Peso de importancia del i ésimo parámetro y $0 \leq W \leq 5$

n= Número de parámetros

Tabla 3.8 Subíndices de calidad para el cálculo de Índice de Calidad del Agua

PARAMETRO	FÓRMULA	UNIDADES	
Oxígeno Disuelto	$I_{OD} = \frac{100(OD)}{14.492 - 0.334T + 0.006T^2}$	mg/L T=°C monitoreada	
	$I_{OD} = \frac{OD}{OD_{SAT}} * 100$ $OD_{SAT} = \left[14.492 - 0.334T + 0.006T^2 \right] \left(\frac{P_B}{760} \right)$	mg/L T=°C SAT=saturación	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	$I_{DBO} = 120(DBO)^{-0.673}$	mg/L	
Coliformes Totales (CT)	$I_{CT} = 97.5(CT)^{-0.27}$	NMP/100ml	
Coliformes Fecales (CF)	$I_{CF} = 97.5(CF)^{-0.27}$	NMP/ml	
Nitrógeno de Nitratos (NO ₃)	$I_{NO_3} = 162.2(NO_3)^{-0.0343}$	mg/L	
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃)	$I_{NH_3} = 45.8(NH_3)^{-0.343}$	mg/L	
Fósforo Total	$I_{PO_4} = 34.215(PO_4)^{-0.46}$	mg/L	
Sustancias Activas al Azul de Metileno	$I_{SAAM} = 100 - 16.678(SAAM) + 0.1578(SAAM)^2$	mg/L	
Sólidos suspendidos Totales (SST)	$I_{SST} = 265.5(SST)^{-0.37}$	mg/L	
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	$I_{SDT} = 109.1 - 0.0175(SDT)$	mg/L	
Alcalinidad (AL)	$I_{AL} = 105(AL)^{-0.186}$	mg/L	
Dureza Total (DT)	$I_{DT} = 10^{1.974 - 0.00174(DT)}$	mg/L	
Turbiedad (TURB)	$I_{TURB} = 180(TURB)^{-0.178}$	UTJ	
Conductividad Eléctrica (CE)	$I_{CE} = 540(CE)^{-0.379}$	µmhos/cm	
pH	pH<6.7	$I_{pH} = 10^{0.2335(pH)(0.44)}$	pH
	6.7<pH<7.3	$I_{pH} = 100$	
	pH>7.3	$I_{pH} = 10^{4.22 - 0.295(pH)}$	
Cloruros (Cl)	$I_{Cl} = 121(cloruros)^{-0.223}$	mg/L	
Grasas y Aceites (GYA)	$I_{GYA} = 87.25(GYA)^{-0.298}$	mg/L	
Color	$I_{CE} = 123(COLOR)^{-0.295}$	U. Pt-Co	

Fuente: León, 1991

Este índice de calidad del agua tiene una escala de 0 a 100, correspondiendo el valor de cero al nivel de calidad más bajo y el cien al más alto. Sus valores de ponderación para cada parámetro están dados en una escala de 0 a 5 (Tabla 3.9).

Tabla 3.9 Valores de ponderación de cada subíndice

PARAMETRO	VALOR
Oxígeno Disuelto	5.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	5.0
Coliformes Totales (CT)	3.0
Coliformes Fecales (CF)	4.0
Nitrógeno de Nitratos (NO ₃)	2.0
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃)	2.0
Fósforo Total	3.0
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	2.0
Sólidos suspendidos Totales (SST)	2.0
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	0.5
Alcalinidad (AL)	1.0
Dureza Total (DT)	1.0
Turbiedad (TURB)	0.5
Conductividad Eléctrica (CE)	2.0
pH	1.0
Cloruros (Cl)	0.5
Grasas y Aceites (GYA)	2.0
Color	1.0

De acuerdo al porcentaje que se maneja en el ICA de 0 a 100, se tienen criterios para interpretar el grado de contaminación que presenta un cuerpo de agua. El primer criterio define únicamente el grado de contaminación del recurso hídrico (Tabla 3.10).

Tabla 3.10 Estado del agua según el cálculo del ICA

INTERVALO ICA	ESTADO DEL AGUA	USO
0-29.9	Altamente contaminada	Requiere tratamiento previo para ser utilizable
30-49.9	Contaminada	
50-69.9	Poco contaminada	Riego agrícola
70-89.9	Aceptable	Uso recreativo, industrial y vida acuática.
90-100	Excelente	Consumo humano

3.6.2 Índices de calidad de suelo

En la explotación agrícola, algunos de los índices empleados (Tabla 3.11) para el suelo se muestran a continuación.

Tabla 3.11 Índices fitoclimáticos

AUTOR	FÓRMULA	VARIABLES
Emberger	$I = \frac{2P}{(M + m)(M - m)}$	P – Precipitación media anual M – Media de las máximas del mes más cálido m – Media de las mínimas del mes más frío
Thomthwaite	$e = 1.6 \left(10 \frac{t}{I} \right)^a$	e= Evapotranspiración mensual en cm. t = Temperatura media anual I = Suma de los 12 valores mensuales del índice i $i = (t/5)^{1.514}$ $a = 675(10^{-3})^3 - 77.1(10^{-3})^2 + 1792 \cdot 10^{-5} I + 0.49239$
Paterson	$I = \frac{V}{A} f p \frac{G}{12}$	V – Temperatura media mensual del mes más cálido A – Diferencia de media de máximas del mes más cálido y media de mínimas del mes más frío $f = \frac{2500}{n + 1000}$ número de horas de insolación P – Precipitación media anual G – Duración del período vegetativo (meses)
Universal de pérdida de suelo	$A = RKLSCP$	A – Pérdida de suelo R – Pluviometría K – Erosionabilidad L – Longitud de la pendiente S – Tipo de la pendiente C – Tipo de cosecha P – Acciones de control de la erosión
Vernet	$I = 100 \frac{H - h}{P} * \frac{M_y}{P_v}$	H – Precipitación de la estación más lluviosa h – Precipitación de la estación más seca P _v – Precipitación estival M _y – Media de las máximas estivales
Blaney-Criddle	$E_{pm} = \frac{f}{\sum f} (45.72t_n + 8128)K$	E _{pm} – Evapotranspiración potencial del mes n T _n – Temperatura media del mes n f – duración media de la luz solar (función de la latitud) K – Coeficiente estacional dependiente del tipo de cultivo

Fuente: Seoanez, 1999

3.6.3 Índices biológicos

Estos índices estudian la variación de la estructura de la comunidad biótica frente a las alteraciones de calidad del medio. La estructura biocinética se puede estudiar considerando distintos criterios de diversidad de sus poblaciones, su cadena trófica o comparación de cada comunidad con una comunidad ideal (Tabla 3.12).

Tabla 3.12 Índices bióticos

TIPO	AUTOR	FÓRMULA	VARIABLES
Contaminación	Zelinka & Marvan	$I = \frac{\sum ahg}{\sum hg}$	a – Valencia de saprobicidad h – Abundancia g – Valor como indicador
Contaminación	Horasawa	$BIP = \frac{M}{M + N} 100$	M – Organismos con clorofila N – Organismos sin clorofila
Contaminación	Kothé	$F = \frac{A_1 - A_x}{A_1} 100$	A ₁ – Número de especies de la muestra 1 de referencia A _x – Número de especies de la zona estudiada
Diversidad	Shanon-Weiner	$I = \sum_{i=1}^n \left(\frac{ni}{N} \log_2 \frac{ni}{N} \right)$	N – Número de individuos ni – Individuo i
Diversidad	Margalef	$I = s - 1 / \ln N$	s – Grado de saprobicidad según Liebmann N – Número de individuos
Comparativo	Sokal	$D_{jh} = \sum_{i=1}^n (P_{ij} - P_{ih})^2$	P _{ij} – Proporción de la especie i en la comunidad j
Comparativo	Czeknowski	$I = \frac{2W}{A + B}$	W – Suma de los valores menores de la abundancia de las especies comunes A y B – Suma de los valores de las abundancias en las comunidades A y B
Trófico	Gabriel	$I = \frac{2P}{R + C}$	P – Número de especies productoras R – Número de especies reductoras C – Número de especies consumidoras

Fuente: Seoanez, 1999

3.6.4 Índices de calidad del aire

El aire (atmósfera) es el medio difusor de materias (contaminación) y ondas, para medir su calidad (Tabla 3.13) existen, entre los más importantes los siguientes índices:

1. Índice de Calidad del Aire (ICAIRE)
2. Oak Ridge Air Quality Index (ORAQUI)
3. Índice Estándar de Contaminación del Aire (PSI)
4. Índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA)

Los contaminantes que se determinan para evaluar la calidad del aire son por lo general monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx), hidrocarburos (HC), polvos (PTS; PM10, PM2.5) (Naman, 2008).

Tabla 3.13 Índices de calidad del aire

NOMBRE	FÓRMULA	VARIABLES	CITA
ICAIRE	$ICAIRE = K \frac{\sum CiPi}{\sum Pi}$	C – Valor porcentual asignado a los parámetros P – Peso asignado a cada parámetro K – Constante que toma varios valores 0.75: aire con ligero olor no agradable 0.50: aire con olor desagradable 0.25: aire con fuertes olores desagradables 0.00: aire con olores insoportables	Chávez, 2007
ORAQUI	$ORAQUÍ = 3.5 \left[\sum \frac{Ci}{Cs} \right]^{1..37}$	Ci: Valor analítico de la concentración medida (SO2, PM10, NO2, Cn, Hn, CO) Cs: Valor de la concentración estándar El valor 0 indica: Aire limpio El valor 50 nos indica: Aire contaminado	Seoanez, 1999
ÍNDICE ESTÁNDAR DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE	$PSI = \frac{Cc}{EP} \times 100$	Cc – Concentración del contaminante EP – Estándar primario a corto plazo	Chávez, 2007
ICA/ ESPAÑA	$ICA = 0.72 \left(\frac{[MPS]}{100} + \frac{[SO_2]}{0.03} + \frac{[NOx]}{0.05} + 2 \right)^{3.5}$	[MPS] – Concentración de Material Particulado en Suspensión [SO2] – Concentración de dióxido de azufre [NOx] – Concentración de óxidos de nitrógeno	Miliarium, 2007

6.6.4.1 Índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA)

Desde 1977 la antes Dirección General de Saneamiento de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente desarrolló el Índice Mexicano de Calidad del Aire ó IMEXA, para conocer la calidad del aire. En 1982 se diseñó el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire o IMECA (Tabla 3.14), cuya metodología transforma a una escala adimensional las concentraciones de los contaminantes criterio. Su fundamento es el Índice Estándar de Contaminantes (Pollutant Standard Index o PSI por sus siglas en inglés), de los Estados Unidos de América, un indicador basado en una función lineal y las normas mexicanas de protección a la salud vigentes, de forma tal que establece en 100 puntos el límite de protección a la salud para cada contaminante (PROY-NADF-009-AIRE-2006). A partir de enero de 1986 el IMECA se comenzó a aplicar en la Zona Metropolitana del Valle de México.

Tabla 3.14 Subíndices de calidad para el cálculo del IMECA

PARÁMETRO	FÓRMULA		UNIDADES
OZONO	$O_3 = \frac{[O_3] \times 100}{0.11}$		ppm
DIOXIDO DE NITROGENO	$NO_2 = \frac{[NO_2] \times 100}{0.21}$		ppm
DIOXIDO DE AZUFRE	$SO_2 = \frac{[SO_2] \times 100}{0.13}$		ppm
MONOXIDO DE CARBONO	$CO = \frac{[CO] \times 100}{0.11}$		ppm
PARTICULAS MENOR A 10 MICROMETROS (PM10)	0 – 120	$PM_{10} = [PM_{10}] \times \frac{5}{6}$	[µg/m ³]
	121 – 320	$PM_{10} = [PM_{10}] \times 0.5$	
	> 320	$PM_{10} = [PM_{10}] \times \frac{5}{8}$	
PARTICULAS MENORES A 25 MICROMETROS (PM10)	0 – 15.5	$PM_{25} = [PM_{25}] \times \frac{50}{15.5}$	[µg/m ³]
	15.6 – 65.5	$PM_{25} = 19 + [PM_{25}] \times 2$	
	65.6 – 150.5	$PM_{25} = 111.5 [PM_{25}] \times \frac{5}{8.5}$	
	> 150.6	$PM_{25} = [PM_{25}] \times \frac{100}{75.25}$	

Fuente: PROY-NADF-009-AIRE-2006

4

PROPUESTA DEL INDICE DE CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL

El análisis de cualquier agua revela la presencia de gases, elementos minerales y elementos orgánicos en solución o suspensión. Estos elementos tienen origen natural, rocas, suelo y aire. Sin embargo también, las actividades humanas dirigen los desechos que generan hacia las corrientes de agua para su eliminación (Jarabo *et al.*, 2000). Estos constituyentes y desechos son los que definen un agua, precisando y delimitando su empleo para los diversos usos: agua potable, de uso doméstico, industrial, de servicio, recreativo y agrícola.

El agua tiene un grado de pureza muy variable, que va desde aguas procedentes de los glaciares hasta las aguas pantanosas, por lo tanto existen dos conceptos que implícitamente proporcionan la calidad del agua: las características físicas, químicas y el uso para el que se destina (Seaonez, 1999).

4.1 MARCO LEGAL DE LOS INDICADORES AMBIENTALES

México cuenta desde 1988 con la *Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente*, en la que se prevé que el desarrollo sustentable se concibe como “el proceso evaluable mediante criterios e indicadores de carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras” (Artículo 3º, inciso XI de la LGEEPA).

Para el desarrollo de los índices en el país adicional al marco legal mencionado es necesario de la conjunción de la capacidad técnica y de la información necesaria para poder generarlas. A nivel federal las instancias involucradas son la SEMARNAT y el INEGI; la primera cuenta con las atribuciones para el diseño de la política ambiental y el segundo tiene la responsabilidad de los sistemas de información en el país.

Ambas instituciones en julio de 1995, firmaron un Convenio de Colaboración para desarrollar conjuntamente trabajos en materia de información ambiental, En este marco, en noviembre de 1998, ambas instituciones formalizaron la creación del Comité Técnico de Información Ambiental.

El desarrollo de los índices ambientales en el Distrito Federal se encuentra sustentado en la Ley Ambiental del Distrito Federal, en donde faculta a la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal la atribución de “Promover la creación de estándares e indicadores de calidad ambiental” (Artículo 9º, fracción XI de la LADF). Sin embargo en el Distrito Federal aún no existe algún índice en materia de agua residual que se halla elaborado y aplicado para prevenir el daño a la infraestructura hidráulica o inhibir los procesos de tratamiento de las aguas residuales y con ello los efectos negativos en la salud humana y en el medio ambiente.

4.2 CAMBIOS EN LA CALIDAD DEL AGUA

Las aguas residuales urbanas tienen una actividad bioquímica intensa, debido a reacciones diversas que ocurren, los factores que en ellas influyen son muy variados desde el medio (la luz, temperatura, oxígeno disuelto etc.) hasta los organismos presentes como bacterias, hongos, virus, etc (López, 1990).

Las modificaciones que sufren esta agua estéticamente son notorias porque se vuelven líquidos más densos, oscurece su color, se altera el pH, (Seoanez, 1999) y aumenta la conductividad debido a las sales iónicas.

La suspensión de sólidos en aguas residuales de curso lento tienden a sedimentarse y disminuir su concentración aprovechando la fuerza de gravedad (Rodríguez *et al.*, 2006), al mismo tiempo las partículas coloidales se floculan y precipitan, por lo que la presencia de sales en el agua ejerce una acción precipitante sobre las arcillas en suspensión.

Las dos fases que tiene esta agua son: una compuesta por lodos y arenas que se forman por la sedimentación y de la floculación y otra constituida por el líquido sabrenadante, (Seoanez, 1999) en cada fase continúan las transformaciones bioquímicas, (Tabla 4.1).

Las fermentaciones aerobias que aparecen consumen del oxígeno disuelto en el agua, presentándose los compuestos orgánicos (Nitratos, Fosfatos y Sulfatos) e inorgánicos.

Tabla 4.1 Fermentaciones más importantes que se producen en las aguas residuales

FERMENTACIÓN O DEGRADACIÓN	TRANSFORMACIONES
Fermentación amoniacal	<i>Micrococcus ureus</i> Past. y van Thiegen que son capaces de transformar por hidrólisis, la urea en carbonato amónico.
Fermentación nitrosa	Las <i>Nitrosomas</i> y los <i>Nitrosococcus</i> oxidan las sales amónicas a productos nitrosos, se favorece en presencia de compuestos orgánicos como azúcares, albúmina, etc. y a 37 °C
Fermentación nítrica	Las nitrobacterias provocan la oxidación de los nitratos a nitritos, a temperatura cercana de 37 °C
Fermentación sulfhídrica	Las bacterias que intervienen participan en la putrefacción provocan la liberación de H ₂ S y lo mismo ocurre con las sulfobacterias. Las bacterias sulfhídricas preceden a la acción de las tiobacterias; estas últimas destruyen el H ₂ S que se desprende y originan sulfatos.
Fermentación butírica	Las <i>Amilobácter</i> , <i>Clostridium butircum</i> son los más activos para descomponer gran cantidad de sustancia como celulosas, hemicelulosas, almidón, etc. Produciendo ácido butírico y desprendiendo CO ₂ y H ₂ .
Fermentación metánica	La <i>metanobacterium</i> y <i>Metanosarcinas</i> reducen el CO ₂ a metano a partir del hidrógeno suministrado por otras fermentaciones (butírica).
Fermentación láctica	La mayoría de las bacterias producen ácido láctico a partir de los glúcidos, también se producen alcoholes, CO ₂ , ácido succínico y ácido acético. El <i>Lactobacillus bulgaricus</i> tienen un rendimiento de 95 a 100% en la leche.
Degradación de grasas	El oxígeno del aire produce una saponificación en las grasas formándose glicerol (que consumen los microorganismos) y ácidos grasos (desprendidos como ácidos volátiles).
Degradación de compuestos nitrogenados	La materia orgánica se descompone en su parte externa por microorganismos aerobios que consumen el oxígeno libre, los microorganismos anaerobios en el interior actúan sobre ciertos compuestos orgánicos. Los bacilos aerobios originan principalmente H ₂ O, CO ₂ y NH ₃ . El <i>bacillus proteus</i> y el <i>B. subtilis</i> atacan a los azúcares produciendo CO ₂ y H ₂ . Los bacilos anaerobios producen ácidos grasos, H ₂ , H ₂ S y CH ₄ . Entre ellos se encuentra el <i>B. putrificus</i> . Las bacterias de la putrefacción no son tóxicas, pero si los compuestos que producen; tripsina, tiramina, cadaverina etc. Los gases malolientes que se producen son H ₂ S, H ₃ P, NH ₃ y ácidos grasos volátiles como estocol, indol, etc.

Fuente: Seoanez, 1999

Todas estas fermentaciones ocasionan un cambio químico en la composición del agua residual por la intensa actividad bioquímica, los factores que influyen van desde el medio (temperatura, oxígeno disuelto, etc.) hasta los organismos presentes.

4.3 MODELO APLICADO PARA EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL

Para la construcción del índice de calidad del agua residual se utilizará el modelo del índice aritmético ponderado, basado en subíndices ambientales calculados mediante ecuaciones ponderadas por un peso específico de importancia. Utilizando solo aquellos parámetros que se encuentren excediendo la normatividad ambiental.

4.3.1 Identificación de las variables de mayor importancia

Las variables de mayor importancia que se integran al índice de calidad tienen un claro sesgo de normatividad ambiental (Tabla 4.2), pues están basados en la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996.

Tabla 4.2 Límite Máximo Permissible para la descarga de aguas residuales hacia la red de drenaje

	PARAMETROS	LÍMITE	UNIDADES
1	Grasas y aceites	100	mg/l
2	Sólidos sedimentables	10	ml/L
3	Sólidos suspendidos totales	75	mg/L
4	Arsénico total	1	mg/l
5	Cadmio total	1	mg/l
6	Cianuro total	2	mg/l
7	Cobre total	20	mg/l
8	Cromo hexavalente	1	mg/l
9	Mercurio total	0.002	mg/l
10	Níquel total	8	mg/l
11	Plomo total	2	mg/l
12	Zinc total	12	mg/l
13	Temperatura	40	°C
14	Potencial de hidrógeno	5.5 a 10	Unidades de pH
15	Demanda Bioquímica de Oxígeno	150	mg/l

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996

4.3.2 Límites para los subíndices de calidad

El Índice de Calidad de Agua Residual (ICAR), propuesto en este trabajo, proporciona valores de cada subíndice de la calidad del agua residual, de una serie de parámetros, estableciendo para los límites permisibles, un valor de cero lo cual representa hasta esos valores una calidad aceptable para ser vertida hacia el sistema de alcantarillado. Sin embargo basta que un solo parámetro esté fuera de estos niveles para que se pueda calcular el ICAR, considerando también que el valor de los demás parámetros por bajos que sean no amortigüen el cálculo de la contaminación que se aporta. Se han considerado valores promedio para llegar a un valor máximo de 100 unidades (Tabla 4.3).

Tabla 4.3 Límites de los parámetros para el cálculo del ICAR en el intervalo de 0 a 100

	PARAMETROS	LÍMITES PARA UN ICAR DE 0 (NOM-002-SEMARNAT-1996)	LÍMITES PARA UN ICAR DE 100 (Concentraciones propuestas)	UNIDADES
1	Grasas y aceites	100	500	mg/l
2	Sólidos sedimentables	10	90	ml/L
3	Sólidos suspendidos totales	75	1500	mg/l
4	Arsénico total	1	5.0	mg/l
5	Cadmio total	1	5.0	mg/l
6	Cianuro total	2	10.0	mg/l
7	Cobre total	20	100	mg/l
8	Cromo hexavalente	1	5.0	mg/l
9	Mercurio total	0.002	0.1	mg/l
10	Níquel total	8	16	mg/l
11	Plomo total	2	10	mg/l
12	Zinc total	12	20	mg/l
13	Temperatura	40	80	°C
14	Potencial de Hidrógeno	5.5 a 10	0 ≤ pH < 5.5 14 ≤ pH < 10	Unidades de pH
15	Demanda Bioquímica de Oxígeno	150	1500	mg/l

Esta distribución de los límites inferiores y superiores se puede visualizar también mediante columnas (Figura 4.1).

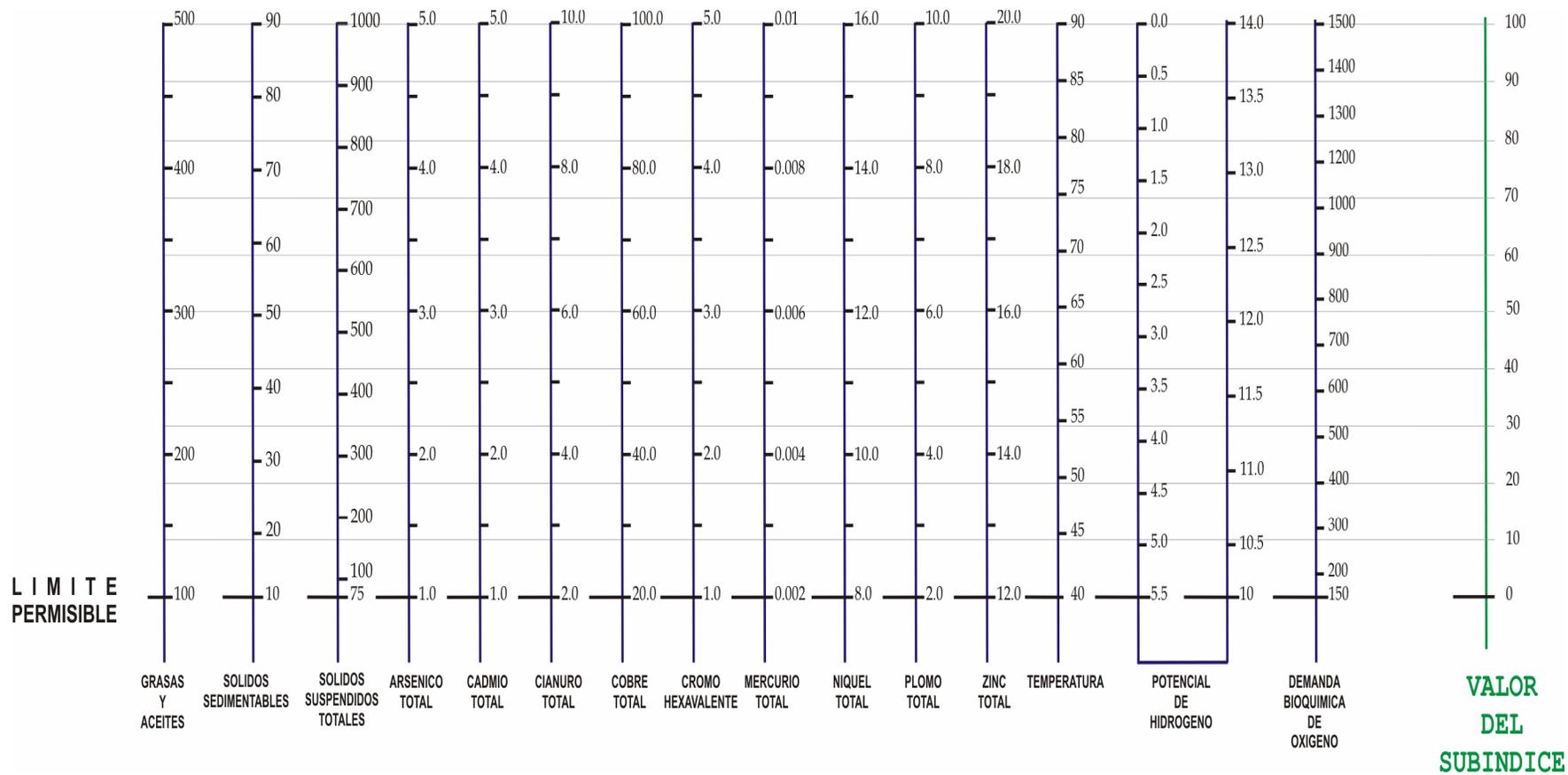


Figura 4.1 Columnas de los subíndices de calidad que conforman el ICAR

Los valores máximos considerados en cada parámetro que conforman el ICAR igual a 100 son las concentraciones promedio encontradas en las empresas que presentan problemática ambiental en su descarga de agua residual.

Se han registrado valores que exceden en mucho el promedio sugerido para el cálculo del índice, por ejemplo en grasas y aceites en el año de 2006, en una empresa que produce levadura para panadería en el Distrito Federal, alcanzó el mayor nivel de concentración para este parámetro con 16 000 mg/l (SMADF, 2006). No obstante las ecuaciones que se proponen pueden aplicarse a concentraciones que excedan la concentración máxima propuesta en este trabajo, generando un valor del ICAR superior a 100 unidades, lo cual indica contaminación extremadamente excesiva.

4.4 PROPUESTA DE LOS SUBÍNDICES DE CALIDAD

Para la propuesta de los subíndices se proponen los valores del máximo permisible en las concentraciones indicadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, se constituyen como el valor de cero. Los subíndices de calidad no indican el estado anterior de la calidad del agua residual ni la capacidad de recuperación que pueda tener esta agua vertida. Los parámetros que nos indican contaminación físico química son:

4.4.1 Grasas y aceites

Las grasas y aceites se constituyen en una descarga de agua residual como todos aquellos constituyentes que son pobremente solubles y que se separan de la porción acuosa y flotan formando natas, películas y capas iridiscentes, por lo general son aceites, grasas, ceras e hidrocarburos (Romero 1999). Las grasas y aceites en la red de drenaje es muy difícil de trasladar hacia su tratamiento debido a que se impregnan a lo largo de la red de drenaje, algunos se solidifican disminuyendo la capacidad de flujo en las tuberías. En las plantas de tratamiento las aguas negras pasan por la cámara de sedimentación, se separan las grasas y aceites y los sólidos sedimentables que pasan al digestor (López, 1990), por lo que en la digestión se pretende la reducción de las grasas y aceites.

Este subíndice de calidad (Figura 4.2) es comúnmente encontrado en empresas de rastros, emparadoras de carnes, estaciones de servicio, autolavados (con cambio de aceite), restaurantes, fabricantes de aceite de cocina y margarina, fabricantes de jabones, etc.

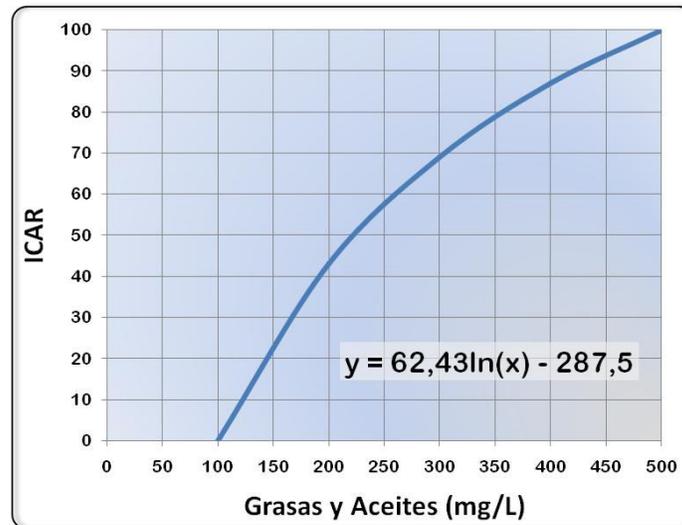


Figura 4.2 Subíndice de calidad para el parámetro de grasas y aceites

4.4.2 Sólidos sedimentables

Son aquellos sólidos en suspensión que se sedimentaran en condiciones tranquilas, por acción de la gravedad. La determinación se hace mediante un cono de Imhoff (método gravimétrico) de un litro de volumen y registrando un volumen de material en el cono de mL/L (Romero 1999). En las aguas residuales los sólidos sedimentables (Figura 4.3) la determinación de éstos tiene que ver con el fenómeno de azolvamiento: partículas que al depositarse en la parte inferior de los tubos pueden llegar a incrustarse y generar una disminución del área por el cual fluye el agua residual.

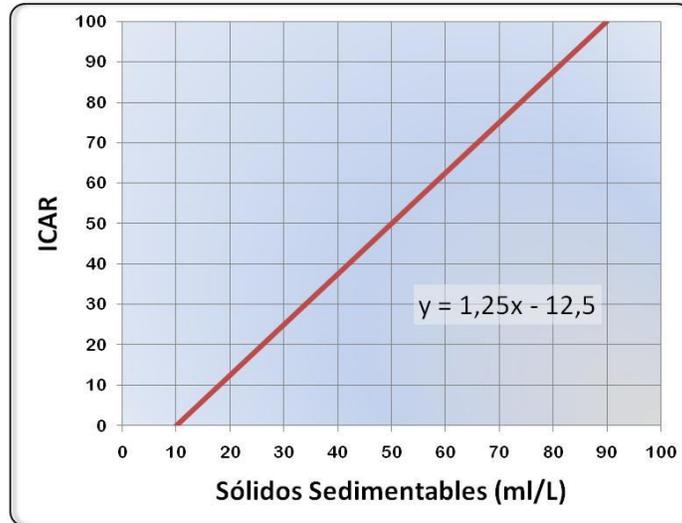


Figura 4.3 Subíndice de calidad para los sólidos sedimentables

4.4.3 Sólidos Suspendidos Totales

Son aquellos sólidos constituidos por los sólidos sedimentables, sólidos y materia orgánica en suspensión y/o coloidal, que son retenidos en un elemento filtrante (NMX-AA-034-SECOFI-2001). Los sólidos suspendidos totales (Figura 4.4) son importantes para evaluar la concentración de las aguas residuales y para el diseño de unidades de tratamiento (Romero, 1999).

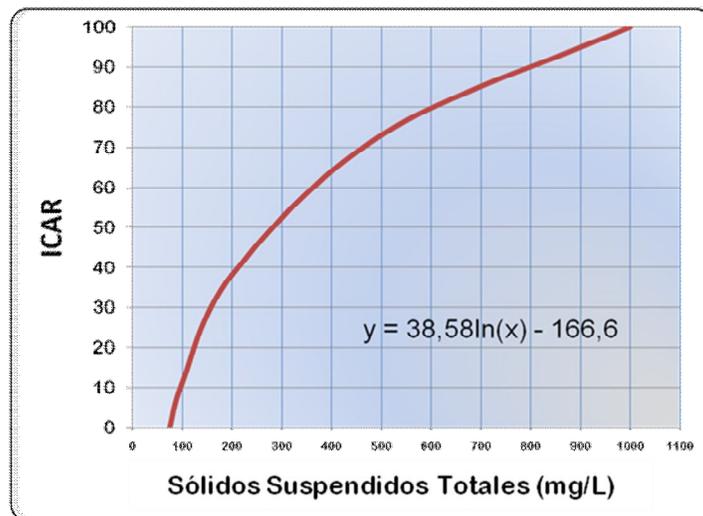


Figura 4.4 Subíndice de calidad para los sólidos suspendidos totales

4.4.4 Arsénico total

El arsénico en las aguas residuales suele encontrarse debido a que la fuente generadora la utiliza como aditivo para la aleación de metales, especialmente para el plomo y el cobre en sondas, mallas y recubrimientos de cables (Metcalf-Eddy, 1996). El arsénico es muy tóxico y causa daños al sistema neurológico, al sistema cardiovascular y está ligado a diversos tipos de cáncer como el de la piel (Valdés 1999). El subíndice de calidad para el arsénico puede verse en la Figura 4.5.

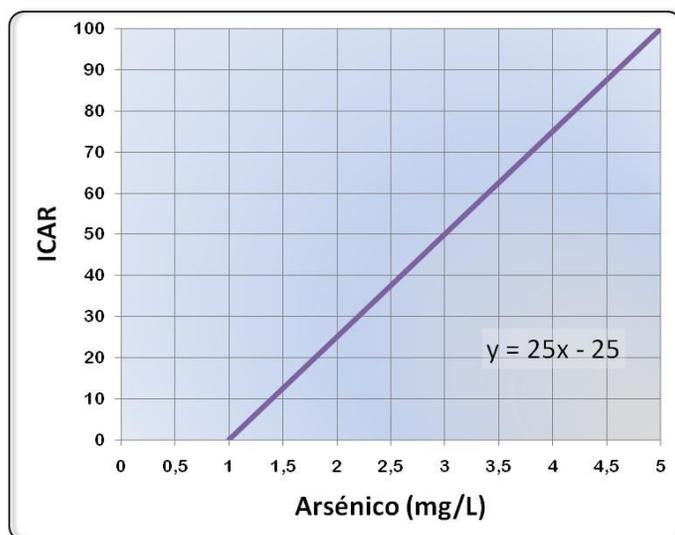


Figura 4.5 Subíndice de calidad para el parámetro de Arsénico total

4.4.5 Cadmio total

El cadmio es utilizado en recubrimientos de metales por baños o electrodeposición, aleaciones maleables y de bajo punto de fusión, sistemas de protección contra incendios, almacenamiento de energía en pilas de níquel y cadmio, cables de transmisión de potencia, fosforescencia para televisores, base de pigmentos cerámicos, esmaltado de maquinaria, litografía y maquinaria de fungicidas, rectificadores de selenio, electrodos de lámparas de vapor de cadmio, y células fotoeléctricas (Metcalf-Eddy, 1996). El envenenamiento por cadmio produce osteoporosis, enfisema pulmonar, cáncer de pulmón, cáncer de próstata, hipertensión, diversas cardiopatías y retraso en la habilidad verbal de los niños (Valdés, 1999). Es importante debido a que es altamente tóxico solubilizado en los vertidos (Figura 4.6).

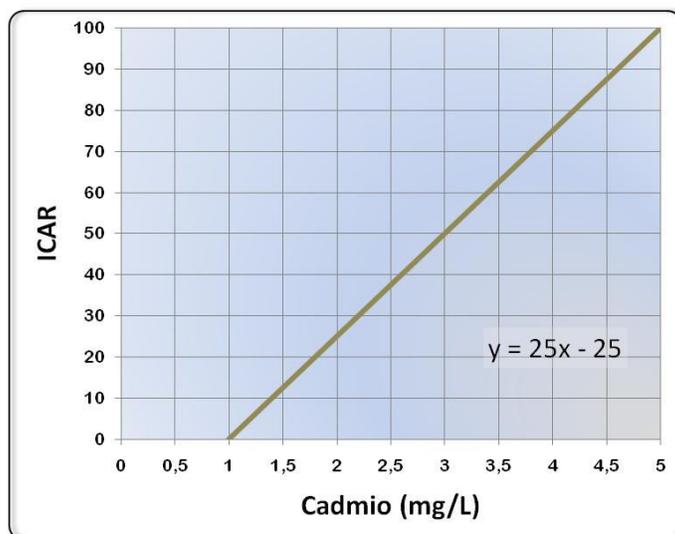


Figura 4.6 Subíndice de calidad para el parámetro de Cadmio total

4.4.6 Cianuro total

El cianuro se usa o produce en varios tipos de trabajos en los que las actividades incluyen galvanoplastia, procesamiento de metales, metalurgia, limpieza de metales, aplicación de ciertos plaguicidas, curtido de cuero, fotografía y grabado. Las fuentes principales de cianuro en el agua son las descargas de algunos procesos de minado de minerales, industrias de sustancias químicas orgánicas, plantas o manufactura de hierro o acero (ATSDR, 2004). El cianuro cuando es ingerido crónicamente produce cefaleas, debilidad generalizada, náuseas y vómitos, dolor de pecho y cólico abdominal (Barrick, 2007). Este subíndice de calidad puede verse en la Figura 4.7.

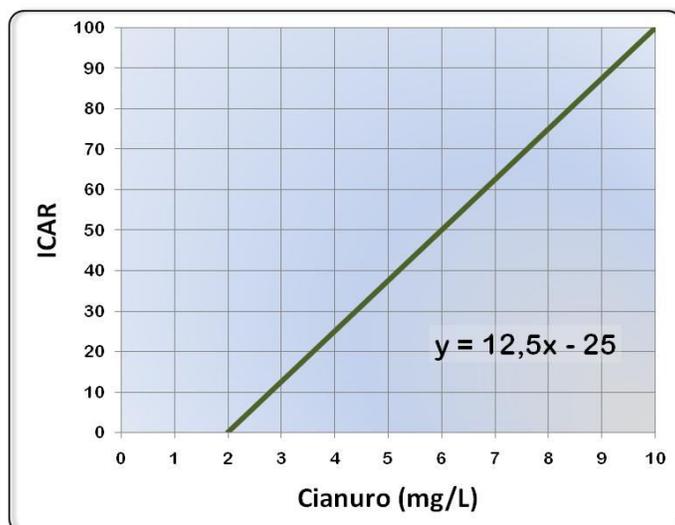


Figura 4.7 Subíndice de calidad para el parámetro de Cianuro total

4.4.7 Cromo hexavalente

En su aplicación industrial, forma parte de curtientes, pigmentos y conservantes textiles, aleaciones, pinturas antiincrustantes, catalizadores, agentes anticorrosivos, lodos de perforación, baterías de alta temperatura, fungicidas, conservantes de madera, recubrimientos metálicos y electrogalvanizados (Arauzo *et al*, 2004). El Cr (VI) por ser un poderoso oxidante de sustancias orgánicas, es peligroso para los organismos vivos y para la salud humana, poseen un fuerte poder carcinogénico, La gran toxicidad de los cromatos está originada no sólo en su solubilidad y en la facilidad con que pueden penetrar en las membranas sino, también en los daños que pueda provocar su fuerte poder oxidante (García *et al*, 2007).

Este subíndice (Figura 4.8) ha representado considerables esfuerzos muy importantes, para pasar de compuestos hexavalente a trivalente la cual es menos tóxica (Kitchen, 2005).

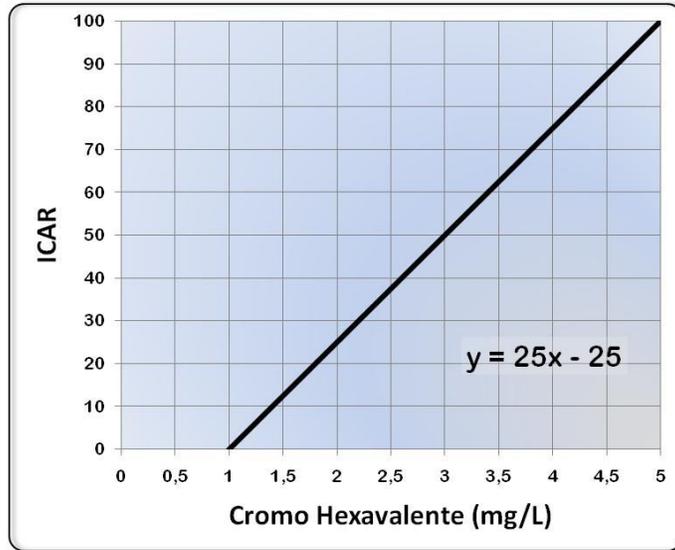


Figura 4.8 Subíndice de calidad para el parámetro de Cromo hexavalente

4.4.8 Cobre total

El cobre es un metal que se encuentra en las empresas de refinación, el cual consiste en la reducción de los iones de cobre que se deposita en el ánodo de cobre puro, para ello en las celdas electrolíticas existen soluciones ácidas de sulfato de cobre, durante esos procesos se liberan impurezas, cobre y arsénico (SMADF, 2002), este subíndice (Figura 4.9) se constituye por su naturaleza tóxica causante de impactos negativos sobre los tratamientos biológicos convencionales por que inhiben el tratamiento biológico (Simón, 2008).

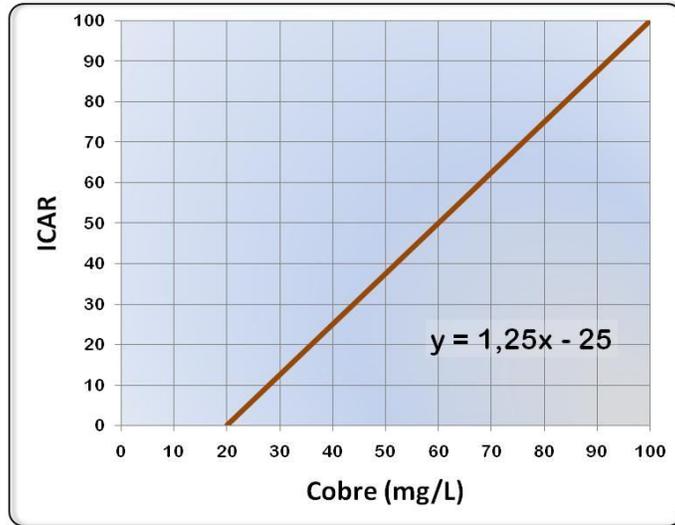


Figura 4.9 Subíndice de calidad para el parámetro de Cobre total

4.4.9 Mercurio total

El mercurio es utilizado en amalgamas, aparatos eléctricos de catálisis, cátodos para la producción de sosa cáustica y cloro, instrumentos lámparas de vapor de mercurio, recubrimientos de espejos, entre otros (Metcalf-Eddy, 1996). Este subíndice (Figura 4.10) cuando alcanza las aguas superficiales o suelo, los microorganismos pueden convertirlo en metil mercurio una substancia que puede ser absorbida rápidamente por la mayoría de los organismos dañando al sistema nervioso (Lenntech, 1998).

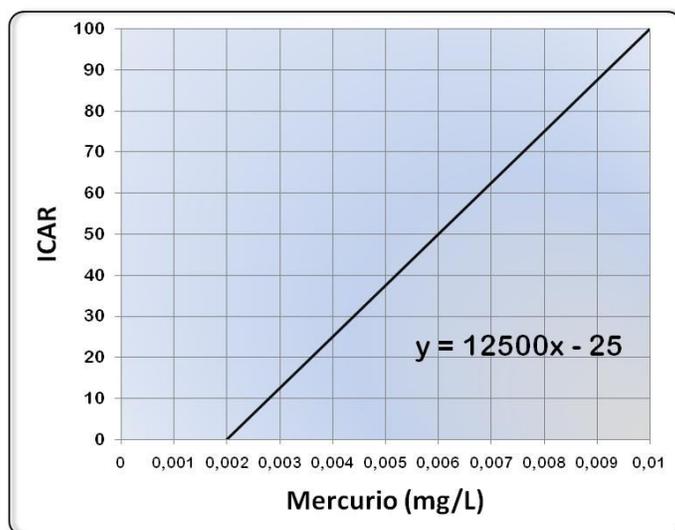


Figura 4.10 Subíndice de calidad para el parámetro de Mercurio total

4.4.10 Níquel total

El níquel es utilizado en industria química, petroquímica, alimentaria, papeleras y laboratorios, para fabricación de intercambiadores, reactores, bombas y válvulas industriales. Especialmente donde la combinación del calor y materiales corrosivos es importante y también donde la contaminación con hierro podría dañar equipos o procesos (INFRA, 2007). Este subíndice (Figura 4.11) tiene su importancia debido a que el níquel metálico es carcinogénico y que los compuestos de níquel también son sustancias reconocidas como carcinogénicas (ATSDR, 2003).

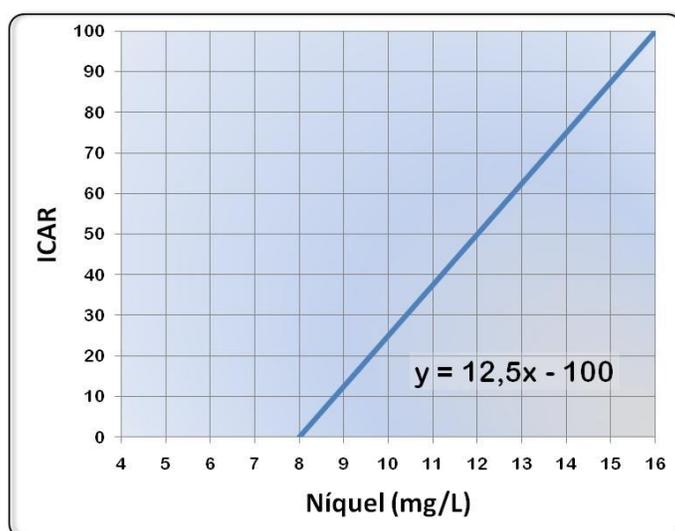


Figura 4.11 Subíndice de calidad para el parámetro de Níquel total

4.4.11 Plomo total

El plomo es utilizado en el almacenamiento de energía en pilas, este metal se encuentra en secesión para el agua residual por la introducción de las gasolinas, pinturas y colorantes sin plomo, sin embargo se utiliza en poca medida en aleaciones para soldadura y fusiones, amortiguación de vibraciones, en construcciones pesadas (Metcalf-Eddy, 1996). Este subíndice (Figura 4.12) tiene su importancia ya que la incursión de este metal en el agua residual provoca una alta toxicidad en los organismos, en los humanos el efecto más reconocido es el inhibir algunas enzimas de la hemoglobina que puede conllevar a cuadros de anemia (SNMPE, 2007).

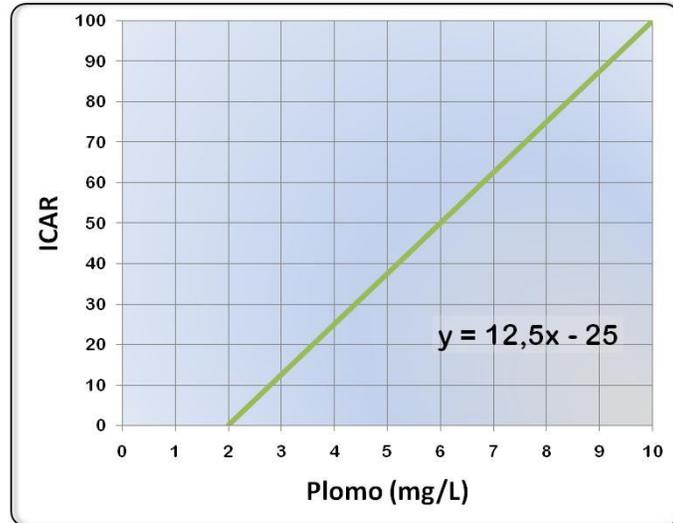


Figura 4.12 Subíndice de calidad para el parámetro de Plomo total

4.4.12 Zinc total

Al igual que el Níquel el catión zinc (Figura 4.13), también es utilizado en los procesos de zincado en la industria de la galvanoplastia. En mayor y menor medida estos metales son tóxicos para los microorganismos de las plantas de tratamiento, están considerados los metales pesados como contaminantes prioritarios, la presencia de estos iones alteran el funcionamiento de las plantas de tratamiento, hasta el extremo de ocasionar la muerte de los microorganismos obligando a detener el tratamiento de los efluentes (Metcalf-Eddy, 1996).

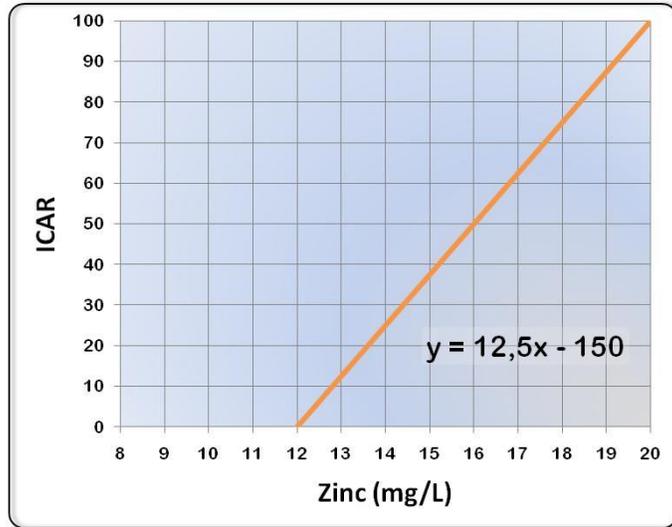


Figura 4.13 Subíndice de calidad para el parámetro de Zinc total

4.4.13 Temperatura

Influye en la solubilidad de las sales y sobre todo en la de los gases y en la disociación de las sales disueltas, y por lo tanto en la conductividad eléctrica y en el pH del agua. También la densidad está en función de la temperatura (Romero, 1999), por lo tanto una elevada temperatura altera los movimientos de mezcla de los flujos de agua en el alcantarillado (Figura 4.14).

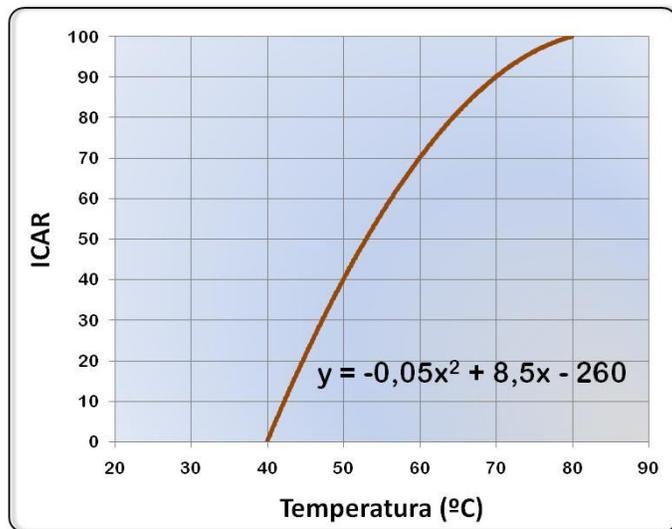


Figura 4.14 Subíndice de calidad para el parámetro de Temperatura

4.4.14 Potencial de Hidrógeno

El Potencial de Hidrógeno es una magnitud de mucha importancia en el control de la contaminación, el control de esta variable es en general difícil de realizar por su dependencia no lineal de los reactivos que ingresan al sistema (Amaya *et al*, 2004). Mide las concentraciones de los iones de hidrógeno en el agua. Un pH elevado indica una baja concentración de iones H^+ , y por lo tanto una alcalización de la tubería. Por el contrario, un pH bajo indica una acidificación en la red interna del drenaje. Estas variaciones tienen una repercusión muy importante sobre las biocenosis existentes (Seoanez, 1998).

Es importante aclarar que para el caso del subíndice del pH se tiene un intervalo y por ello este subíndice se calcula con dos ecuaciones; una para un pH ácido y otra para un pH básico (Figura 4.15) y debido a que este parámetro obedece a una escala logarítmica, el subíndice por lo tanto no se representará de una forma lineal sino mediante ecuaciones polinómicas.

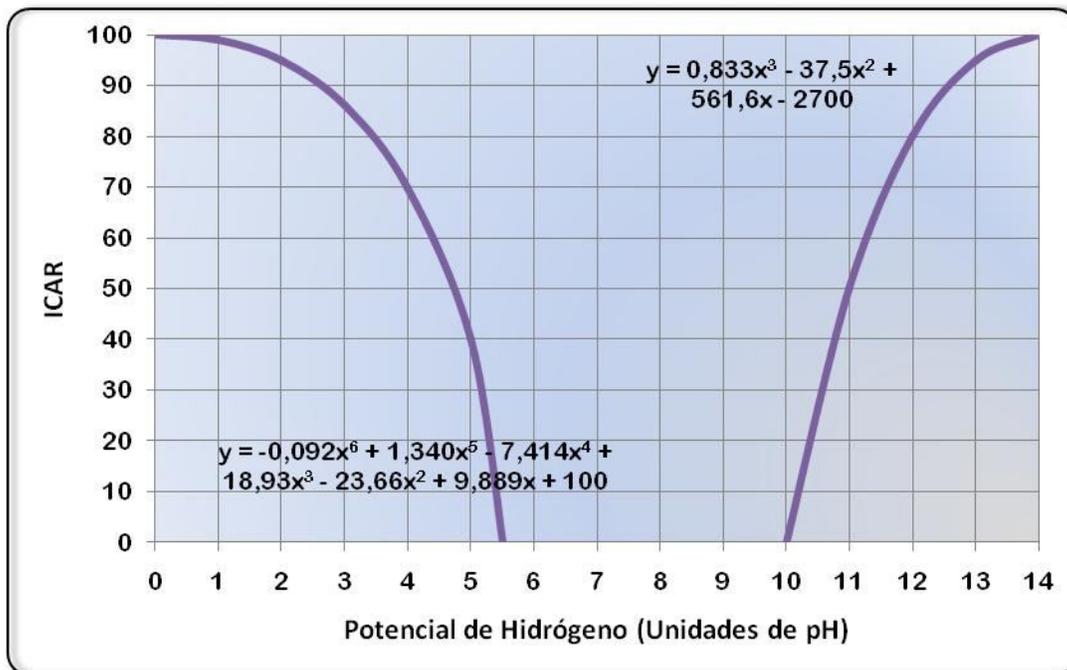


Figura 4.15 Subíndice de calidad para el parámetro de potencial de Hidrógeno

4.4.15 Demanda Bioquímica de Oxígeno

La DBO es la cantidad de oxígeno que requieren las bacterias para estabilizar, degradar u oxidar la materia orgánica por procesos biológicos. Este parámetro tiene su importancia en que nos indica contaminación orgánica (Chávez, 2007), una DBO alta es una grave contaminación orgánica, lo primero que se degrada en la materia es el carbono en las aguas residuales municipales; la DBO carbonosa representa un 75% de la DBO total en 5 días (Romero, 1999).

Este subíndice es uno de los más importantes (Figura 4.16), ya que casi en todas las empresas se encuentra.

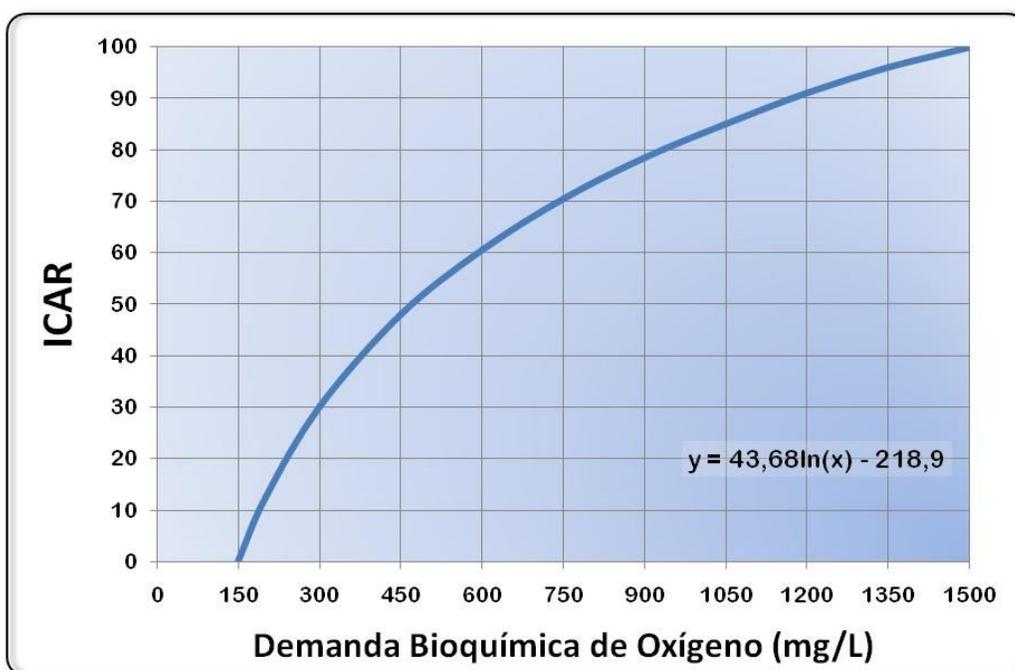


Figura 4.16 Subíndice de calidad para el parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno

4.5 FÓRMULAS DE LOS SUBÍNDICES DE CALIDAD

De las anteriores gráficas por regresión se obtienen las siguientes fórmulas de los subíndices de calidad del agua residual (Tabla 4.4).

Tabla 4.4 Fórmulas de los subíndices de calidad del agua residual

	PARAMETROS	FÓRMULA DEL SUBÍNDICE
1	Grasas y Aceites	$62.43\ln[\text{GyA}] - 287.5$
2	Sólidos sedimentables	$1.25[\text{SS}] - 12.5$
3	Sólidos suspendidos totales	$38,58\ln[\text{SST}] - 166,6$
4	Arsénico total	$25[\text{As}] - 25$
5	Cadmio total	$25[\text{Cd}] - 25$
6	Cianuro total	$12.5[\text{CN}] - 25$
7	Cobre total	$1.25[\text{Cu}] - 25$
8	Cromo hexavalente	$25[\text{Cr}] - 25$
9	Mercurio total	$12500[\text{Hg}] - 25$
10	Níquel total	$12.5[\text{Ni}] - 100$
11	Plomo total	$12.5[\text{Pb}] - 25$
12	Zinc total	$12.5[\text{Zn}] - 150$
13	Temperatura	$-0,05[\text{T}]^2 + 8,5[\text{T}] - 260$
14	Potencial de Hidrógeno	$-0.092[\text{pH}]^6 + 1.34[\text{pH}]^5 - 7.414[\text{pH}]^4 + 18.93[\text{pH}]^3 - 23.66[\text{pH}]^2 + 9.89[\text{pH}] + 100$
		$0.833[\text{pH}]^3 - 37.5[\text{pH}]^2 + 561.6[\text{pH}] - 2700$
15	Demanda Bioquímica de Oxígeno	$43.68\ln[\text{DBO}] - 218.9$

4.6 PESOS ESPECÍFICOS DE LOS SUBÍNDICES DE CALIDAD

Debido a que cada parámetro tiene un grado de importancia entre cada uno de ellos se propone para la construcción del índice de calidad los pesos específicos para cada subíndice (Tabla 4.5). El peso específico se designó para cada subíndice que puede tener un valor de 0 a 1. Solo en el caso que una fuente fija se encontrara excediendo todos los parámetros de la norma, esta sumatoria sería uno, y el cálculo del ICAR se reduce a la sumatoria de las concentraciones obtenidas con las ecuaciones de la tabla 7.4.

Los niveles de importancia que a cada parámetro se le ha asignado, es debido a las características que presenta de manera general las descargas de aguas residuales que exceden la normatividad en el Distrito Federal; es decir, es ya frecuente que los parámetros que exceden la normatividad sean los mismos.

De las visitas realizadas en materia de agua residual por parte de la SMADF en su Programa de Operación Anual, un 20% aproximadamente se llevaron a cabo en coordinación con el SACM en 2006 (Figura 4.17), debido a que estas fuentes fijas presentan problemas en sus descargas históricamente y afectan continuamente la operación normal de la red de drenaje así como a las plantas de tratamiento.

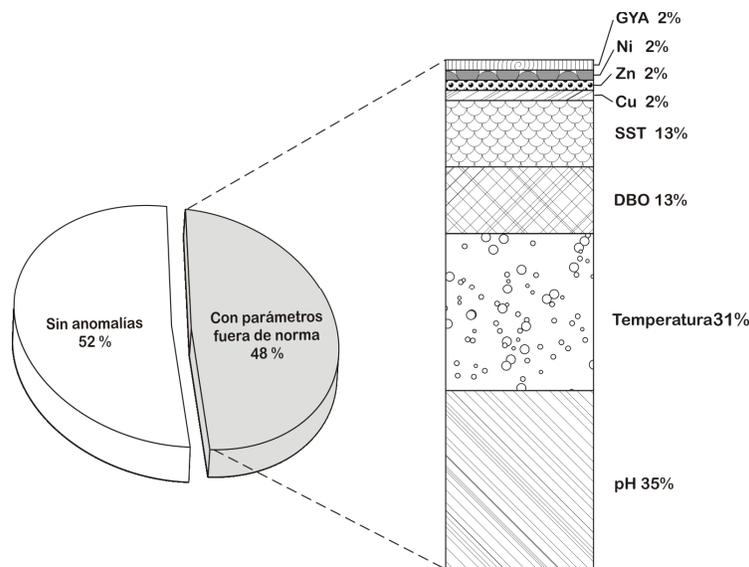


Figura 4.17 Visitas en materia de agua residual por SMADF y SACM en el 2006 (Fuente: SMADF, 2007)

Se tiene que el pH es el principal parámetro que motiva una medida de seguridad consistente en la clausura temporal parcial de las instalaciones de la fuente fija seguida de la temperatura y por último la DBO y los SST.

Por lo que los subíndices que representa a los parámetros de la DBO, pH, Temperatura y GYA son los que tienen un mayor peso específico y los metales como el Cadmio, el Plomo y el Níquel son los que tiene un menor peso específico.

También por este grado de importancia afecta a las fórmulas de cada subíndice ya que para los subíndices de menor peso específico se plantean ecuaciones de tipo lineal y para aquellas con un mayor peso específico se proponen mediante ecuaciones polinomiales o logarítmicas, esto para aumentar su sensibilidad.

Tabla 4.5 Pesos específicos de los subíndices de calidad

	PARAMETROS	PESO ESPECÍFICO DEL SUBÍNDICE
1	Grasas y Aceites	0.080
2	Sólidos sedimentables	0.055
3	Sólidos suspendidos totales	0.075
4	Arsénico total	0.040
5	Cadmio total	0.030
6	Cianuro total	0.040
7	Cobre total	0.050
8	Cromo hexavalente	0.045
9	Mercurio total	0.040
10	Níquel total	0.030
11	Plomo total	0.025
12	Zinc total	0.035
13	Temperatura	0.115
14	Potencial de Hidrógeno	0.185
15	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0.155

4.7 ECUACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD PARA EL AGUA RESIDUAL (ICAR)

El cálculo de índice de calidad se puede establecer con la siguiente expresión, que relaciona a los subíndices de calidad que exceden la normatividad, con las ponderaciones de cada uno de estos:

$$ICAR = K \frac{\sum_{i=1}^n C_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

Donde:

C_i = Concentración del subíndice i , fuera de norma (Tabla 7.4)

P_i = Peso específico asignado a cada parámetro i fuera de norma (Tabla 7.5)

K = Constante que toma los siguientes valores

- 1.00 Aguas que no presentan coloración, espumas, ni vapores irritantes.
- 1.5 Aguas que presentan alguna de las siguientes propiedades: coloración, espumas o vapores irritantes

4.7.1 Constante de afectación a la red de drenaje K

Se ha incluido una constante de afectación a la red de drenaje y a las plantas de tratamiento, que toma valores que van de 1 a 1.5, ésta constante juega un papel importante ya que existen situaciones que la normatividad no considera, entre los que se encuentran:

1. La detergencia representada por el parámetro de Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM). La variedad de los detergentes que se vierten hacia la red de drenaje cuando ingresan al tratamiento es amplia y algunos puedan ser degradados y otros no los son. Los valores se encuentran en las aguas residuales entre 1 a 20 mg/L (Romero, 1999).

2. La coloración en las aguas residuales por lo general es grisácea y dependiendo del tiempo del agua residual adquiere un color negro, sin embargo en la industria el color del agua residual representa también la inclusión de materiales inorgánicos (anilinas por ejemplo) que difícilmente son degradados (Metcalf-Eddy, 1996).
3. Los hidrocarburos en algunas ocasiones acompañan a las aguas residuales, son raras, pero altamente contaminantes y difícilmente degradables aunque sus concentraciones sean bajas (Jarabo, 2000), las empresas de lavandería industrial es uno de ellos, así como los autolavados que realizan cambio de aceite en el servicio.
4. Los vapores irritantes, son emitidos por una de las formas del Azufre que se encuentra en el agua residual. Los Sulfatos son un factor importante ya que ocasionan problemas de olor y corrosión de alcantarillas, (Figura 4.18) además los Sulfatos (SO_4^{2-}) tienden a formar incrustaciones (Romero, 1999). El problema de olores se agrava cuando los sulfatos se reducen para formar Ácido Sulfhídrico (H_2S) en condiciones anaerobias, aunado a esto se permite el ataque del concreto de los tubos de la red de drenaje por el ácido sulfúrico (H_2SO_4).

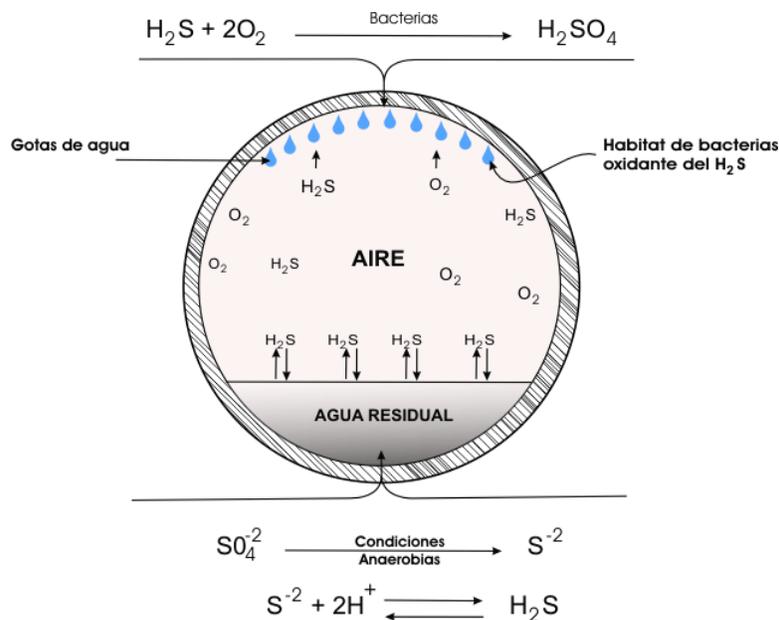


Figura 4.18 Corrosión en alcantarillas ocasionado por ácido sulfúrico (Fuente: Romero, 1999)

Los problemas que el H₂S presenta al mantenimiento de las alcantarillas son los siguientes (Romero, 1999):

- Olor desagradable, a huevo podrido que causa malestar.
- El gas es tóxico y causa la muerte o daños físicos al personal de mantenimiento. Concentraciones mayores de 20 mg/L son tóxicos y producen parálisis.
- El gas es explosivo en una gran variedad de concentraciones; mezclas de aire con 4 a 46% de H₂S, en volumen.
- Es más difícil tratar las aguas residuales
- En forma de H₂SO₄ ataca estructuras metálicas y de concreto.

Por lo anterior el ICAR puede incrementarse hasta en un 50% del valor calculado mediante los subíndices, cuando se encuentren estas condiciones en campo. Es importante aclarar que el cálculo del índice sólo lo integrarán los subíndices que se encuentren excediendo los límites que señalan la normatividad ambiental.

5 ESTUDIO DE CASOS

En la SMADF, existen clasificadas más de trescientas empresas, en los rubros de emisiones a la atmósfera y descarga de aguas residuales, como “potencialmente contaminantes”, denominadas como el grupo de las 300’s.

Este grupo, en el rubro de descargas de aguas residuales, ha sido identificado por el monitoreo cotidiano de los colectores de las aguas residuales por SACM. El monitoreo en estos puntos proporciona una sospecha de las industrias probablemente generadoras del contaminante. Otra forma de identificar a estas empresas en la SMADF, es con el análisis de aguas residuales que presentan como requisito en los trámites ambientales.

Se analizarán dos empresas para conocer el nivel de contaminación que descargan hacia la red de drenaje mediante sus aguas residuales. Por lo que a continuación se aplica el cálculo del ICAR propuesto en este trabajo.

CASO 1

El siguiente análisis de las aguas residuales corresponde a una empresa con giro industrial de alimentos (Tabla 5.1), el producto que genera es levadura, utilizada primordialmente en la panificación.

El número de descarga que presenta es una, la cual fue monitoreada por la SMADF y el SACM en 2006.

Tabla 5.1 Análisis de aguas residuales de una empresa productora de levadura

GRUPO	PARÁMETROS	UNIDADES	DESCARGA No. 1	Criterio de NOM-002-SEMARNAT-1996
FÍSICOS	TEMPERATURA	°C	41,70	40
	pH	Unidades de pH	13,84	5.5-10
	COLOR	Upt/co	1500,0	N/S
	TURBIDEZ	UTN	131,3	N/S
MINERALES	ALC. TOTAL	mg/l	17378	N/S
	ALC. FENOLF.	mg/l	14861	N/S
	DUREZA TOTAL	mg/l	237,8	N/S
	CARBONATOS	mg/l	5034	N/S
	HIDRÓXIDOS	mg/l	12344	N/S
	COND. ELEC.	umhos/cm	20410	N/S
SÓLIDOS	SOL. TOTALES	mg/l	8280	N/S
	SOL. DIS. TOT.	mg/l	6647	N/S
	SOL. SUSP. TOT.	mg/l	1633	75
	SOL. SEDIM.	ml/l	0,1	10
NUTRIENTES	NITR. AMON.	mg/l	68,48	N/S
	SULFATOS	mg/l	104	N/S
	NITR. NITRITOS	mg/l	0,05	N/S
	SODIO TOT.	mg/l	10899,8	N/S
	PLOMO TOT	mg/l	0,135	2
	CADMIO TOTAL	mg/l	0,043	1
	MERCURIO TOT.	mg/l	0,00062	0,02
	ARSÉNICO TOT.	mg/l	0,00832	1
	ZINC TOTAL	mg/l	0,271	12
	COBRE TOTAL	mg/l	0,323	20
	NÍQUEL	mg/l	0,176	8
MATERIA	D.B.O. TOTAL	mg/l	680	150
	D.Q.O. TOTAL	mg/l	5094,4	N/S
GRA. Y ACE.	G Y A	mg/l	650,60	100
DETERG.	S.A.A.M	mg/l	0,182	N/S

N/S- Análisis No solicitado

Fuente: SACM, 2006

De este análisis los parámetros que se encuentra excediendo la norma son cinco: Temperatura, SST, pH, DBO y GYA. En cuanto al pH, se observa que el resultado del análisis es mayor a 10 unidades, por lo que se debe escoger la ecuación para un pH básico.

Para el cálculo de ICAR (Tabla 5.2), se recurrió a la tabla 4.4 donde se extrajeron las fórmulas de los subíndices de cada parámetro y a la tabla 4.5 para obtener los pesos específicos.

Tabla 5.2 Ejemplo del cálculo del ICAR de una empresa productora de levadura

Parámetro	Conc.	Ecuación del parámetro i	Concentración del parámetro i Ci	Peso específico del parámetro i Pi	CiPi
Temperatura	41.7	$-0,05[T]^2 + 8,5[T] - 260$	1.555	0.115	0.178
Sólidos suspendidos totales	1633	$38,58\ln[SST] - 166,6$	118.822	0.075	8.911
pH	13.84	$0.833[pH]^3 - 37.5[pH]^2 + 561.6[pH] - 2700$	9.836	0.185	1.819
DBO	680	$43.68\ln[DBO] - 218.9$	65.985	0.155	10.227
GyA	650.6	$62.43\ln[GyA] - 287.5$	116.915	0.080	9.353
				$\Sigma Pi = 0.610$	$\Sigma CiPi = 30.488$

La constante K=1 debido a que su descarga no presenta coloración, espumas ni vapores irritantes, por lo que el ICAR es:

$$ICAR = \frac{30.488}{0.610} = 50$$

CASO 2

El siguiente análisis de aguas residuales corresponde a una empresa con giro industrial de galvanoplastía, el producto que genera son piezas metálicas con recubrimientos de diferentes metales.

El número de descargas que tiene son dos, sin embargo sólo una presenta problemática en su análisis (Tabla 5.3).

Tabla 5.3 Análisis de aguas residuales de una empresa de galvanoplastía

GRUPO	PARAMETROS	UNIDADES	DESCARGA No. 1	Criterio de NOM-002-SEMARNAT-1996
FÍSICOS	Temperatura	°C	22,60	40
	pH		3,85	5.5-10
	COLOR	Upt/co	350,0	N/S
	TURBIDEZ	UTN	638	N/S
SÓLIDOS	SOL. TOTALES	mg/l	19574	N/S
	SOL. TOT. FIJ.	mg/l	15810	N/S
	SOL. TOT. VOL.	mg/l	3764	N/S
	SOL. DIS. TOT.	mg/l	17099	N/S
	SOL. DIS. FIJ.	mg/l	14010	N/S
	SOL. DIS. VOL.	mg/l	3089	N/S
	SOL. SUSP. TOT.	mg/l	2475	75
	SOL. SUSP. FIJ.	mg/l	1800	N/S
	SOL. SUSP. VOL.	mg/l	675	N/S
	SOL. SEDIM.	ml/l	0,5	10
METALES PESADOS	FIERRO TOT.	mg/l	252,500	N/S
	MANGANESO TOT.	mg/l	11,85	N/S
	PLOMO TOT	mg/l	0,416	2
	CADMIO TOTAL	mg/l	<0.043	1
	MERCURIO TOT.	mg/l	0,00112	0,02
	ARSÉNICO TOT.	mg/l	0,01400	1
	CROMO TOTAL	mg/l	1,04	N/S
	ZINC TOTAL	mg/l	15,6	12
	COBRE TOTAL	mg/l	2,224	20
	SILICIO	mg/l	38,7	N/S
	ALUMINIO	mg/l	679	N/S
	NÍQUEL	mg/l	18,100	8
MATERIA ORGÁNICA	D.B.O. TOTAL	mg/l	298	150
	D.B.O. SOLUBLE	mg/l	172	N/S
	D.Q.O. TOTAL	mg/l	1600	N/S
	D.Q.O. SOLUBLE	mg/l	768	N/S
GRA. Y ACE.	G Y A	mg/l	10,41	100
DETERG.	S.A.A.M	mg/l	24,92	N/S

N/S- Análisis No solicitado

Fuente: SACM, 2006

Para el cálculo de ICAR (Tabla 5.4), nuevamente se acudió a la tabla 4.4 donde se extrajeron las fórmulas de los subíndices de cada parámetro y a la tabla 4.5 para obtener los pesos específicos.

Tabla 5.4 Ejemplo del cálculo del ICAR de una empresa de galvanoplastía

Parámetro	Conc.	Ecuación del parámetro i	Concentración del parámetro i Ci	Peso específico del parámetro i Pi	CiPi
pH	3.85	$-0.092[\text{pH}]^6 + 1.34[\text{pH}]^5 - 7.414[\text{pH}]^4 + 18.93[\text{pH}]^3 - 23.66[\text{pH}]^2 + 9.89[\text{pH}] + 100$	72.602	0.185	13.431
Sólidos suspendidos totales	2475	$38,58\ln[\text{SST}] - 166,6$	135.464	0.075	10.159
Zinc	15.6	$12.5[\text{Zn}] - 150$	45	0.035	1.575
Níquel	18.1	$12.5[\text{Ni}] - 100$	126.250	0.030	3.7875
DBO	298	$43.68\ln[\text{DBO}] - 218.9$	29.949	0.155	4.642
				$\Sigma \text{Pi} = 0.48$	$\Sigma \text{CiPi} = 33.59$

$$\text{ICAR} = \frac{33.59}{0.48} = 70.0$$

6 DISCUSIÓN

En los casos de estudio que se analizaron anteriormente se puede observar que solo ingresaron al cálculo del ICAR aquellos valores que excedían la norma, en ambos casos fueron cinco, pero para el pH, se debe de escoger la ecuación de acuerdo a las condiciones ácidas o básicas.

Difícilmente una empresa podrá rebasar todos los límites establecidos en la normatividad, esto debido a que por la propia naturaleza del giro u actividad que desarrolla, son característicos los contaminantes que podría verter hacia la red de drenaje. En teoría si esto fuera posible, la ecuación propuesta para el ICAR se reduce a la sumatoria de las concentraciones de todos los parámetros propuestos en la tabla 4.4, sin incluir los pesos específicos, debido a que la sumatoria es uno y se vuelve una constante que no afecta a la ecuación.

Los valores propuestos como máximos para un ICAR de 100 en cada subíndice, son las concentraciones que normalmente se encuentran excediendo las empresas, pero si un análisis arroja un valor que excede el máximo propuesto, la ecuación admite estos valores, debido a que no están limitadas las ecuaciones a estos valores, es decir no presentan errores de procesamiento de datos al encontrarse estas eventualidades.

Después de conocer valor del ICAR, se puede relacionar éste valor con la implementación de medidas en la empresa o industria que se trate para corregir la problemática que genera el vertimiento.

Se puede desde sólo aplicar principios de buenas prácticas de manufactura, hasta la construcción y puesta en marcha de una planta de tratamiento de aguas residuales, para corregir una problemática que origina contaminación en las aguas vertidas. Por lo que se propone una escala (Tabla 6.1).

Tabla 6.1 Intervalos de calidad basado en el ICAR

INTERVALO DE CALIDAD	TIPO DE DESCARGA	PROBLEMAS	MEDIDAS A ADOPTAR
>100	EXTREMA AGRESIVIDAD	Problemas serios a la red de drenaje y un alto costo a las plantas de tratamiento	INSTALAR PLANTA DE TRATAMIENTO EN LA EMPRESA
80 – 99.9	ALTA AGRESIVIDAD		
50 – 79.9	REGULAR AGRESIVIDAD	Problemas serios a la red de drenaje y dificultades de mantenimiento a las plantas de tratamiento	INSTALAR SISTEMA DE TRATAMIENTO EN LA EMPRESA
20 – 49.9	BAJA AGRESIVIDAD		
0.1 – 19.9	LIGERA AGRESIVIDAD	Ocasiona problemas de mantenimiento a la red de drenaje	ADECUAR LAS BUENAS PRACTICAS DE MANUFACTURA

En los dos casos de estudio se tuvo un ICAR en un intervalo de calidad de “Regular agresividad”, con la escala propuesta se recomienda la instalación de una planta de tratamiento en la empresa, para controlar la carga contaminante.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El ICAR propuesto representa una nueva herramienta que comunica y expresa el problema de vertimiento de agua residual que excede los límites máximos permisibles en base a la legislación ambiental, considerando una alta sensibilidad debido a que está diseñado para que los parámetros que se encuentren dentro de los intervalos permitidos no amortigüen a aquellos parámetros que excedan la normatividad ambiental.

Es necesario aplicar el índice de calidad para el agua residual en el Distrito Federal, debido a que representa las ventajas de cumplir la política ambiental, de promover la creación de estándares e indicadores de calidad ambiental, como lo requiere la ley ambiental.

En términos de la ley ambiental del Distrito Federal, la propuesta de éste índice, consigue de manera más efectiva responsabilizar a las fuentes fijas causantes de la afectación del sistema de la red de drenaje y de la operación de las plantas de tratamiento; es decir el Gobierno del Distrito Federal en base al valor obtenido del índice estará en condiciones de imponer la obligación de reparar los daños causados. Para lograr esto se deberá de instrumentar la relación entre el valor del índice y un monto que equipare el daño ambiental producido.

Podría entonces, por estar diseñado el índice bajo la observancia de una norma que aplica en toda la república mexicana (NOM-002-SEMARNAT-1996) aprovecharse en cualquier entidad.

Se recomienda que la SMADF, incluya en sus procedimientos administrativos llevados en la Jefatura de Supervisión y Dictamen a Descargas de Aguas utilice el ICAR, para

sustentar la exigencia ambiental a las industrias de la implementación de las medidas a adoptar (sistema de tratamiento o planta de tratamiento de aguas residuales).

Para la instrumentación de este índice ambiental la Secretaría del Medio Ambiente en específico, la Dirección encargada de la inspección y vigilancia Ambiental, deberá de crear un programa donde se aplique dicho índice en concordancia con la Ley Ambiental del Distrito Federal.

Algunos de los beneficios de la aplicación de este ICAR pueden ser fiscales, accediendo aquellas fuentes fijas que tengan un ICAR de cero, es decir, para parámetros dentro de la normatividad una reducción respecto del impuesto sobre la nomina, esto de acuerdo a lo establecido en el artículo 294 del Código Financiero del Distrito Federal.

GLOSARIO

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

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

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

Biocenosis: Es el conjunto de organismos de cualquier especie (vegetal y animal) que coexisten en un espacio definido (el biotopo) que ofrece las condiciones exteriores necesarias para su supervivencia. Un biotopo y una biocenosis constituyen un ecosistema. La biocenosis puede dividirse en fitocenosis (especies vegetales) y zococenosis (especies animales).

Biota: Designa al conjunto de especies de plantas, animales y otros organismos que ocupan un área dada. La biota puede desglosarse en una flora y una fauna.

Calidad de agua: Concepto complejo que implica un juicio subjetivo que es función del uso. Relación de parámetros físicos, químicos y biológicos que determinan su composición, grado de alteración, y su utilidad a los seres humanos y el medio ambiente.

Carcinogénico: Sustancia capaz de inducir cáncer

Cianuro: Son compuestos cuyos elementos principales son el carbono y el nitrógeno. La mayoría de los cianuros son venenos potentes y de acción rápida. El cianuro de hidrógeno, que es un gas, y las sales simples de cianuro (cianuro de sodio y cianuro de potasio) son ejemplos de compuestos de cianuro. Algunas bacterias, hongos y algas pueden producir cianuro.

Ciclo hídrico: proceso que sigue el agua al pasar de un estado físico a otro, desplazándose entre el océano, el aire, la tierra y los organismos vivos. Los procesos principales en este ciclo, son la *evaporación* (conversión del agua en vapor), *condensación* (conversión del vapor de agua en gotas de agua líquida), *transpiración* (proceso en el cual es absorbida por los sistemas de raíces de las plantas y pasa a través de los poros (estomas) de sus hojas u otras partes, para evaporarse luego en la atmósfera), *precipitación* (rocío, lluvia, aguanieve, granizo, nieve) y *escurrimiento*.

Compuestos orgánicos: Como compuestos orgánicos se designan a un amplio sector de compuestos que en su constitución interviene siempre el carbono.

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

Contaminantes básicos: Son aquellos compuestos 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-SEMARNAT-1996, sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno₅, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl de nitritos y de nitratos, expresadas como mg/litro de nitrógeno), fósforo total, temperatura y pH.

Consuntivo: Es el uso del agua que no se incorpora en forma inmediata al ciclo del agua, por ejemplo el riego es un uso consuntivo.

Coliforme fecal: Parte del grupo de los coliformes asociado a la flora intestinal de los animales de sangre caliente. Es usado como indicador de la presencia potencial de organismos patógenos.

Coloide: Sustancia que contiene partículas con diámetros entre 1 y 0.001 micras, por lo que no se sedimentan. Normalmente, los coloides llevan una carga eléctrica asociada que les impide juntarse para sedimentar por ello se necesita la presencia de polielectrolitos, que rompan dicha carga y permitan la sedimentación de los coloides.

Cuerpo receptor: La corriente, depósito de agua, el cauce o bien del dominio público del Distrito Federal en donde se descargan, infiltran o inyectan aguas residuales;

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Es la cantidad de Oxígeno, expresada en miligramos de Oxígeno por litro, consumida en la oxidación bioquímica de la materia orgánica contenida en el agua durante un tiempo predeterminado, cinco días generalmente, y en condiciones de ensayo normalizadas: incubación en la oscuridad a 20 ° C.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Es una medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable, mediante el uso de un fuerte oxidante en una muestra de agua. Sus unidades son mg O₂/L. Su valor siempre será mayor o igual al obtenido en los ensayos de DBO.

Descarga o vertido: La acción de descargar o verter aguas residuales a los cuerpos hídricos receptores o a sistemas de alcantarillado.

Evapotranspiración: Es el agua utilizada por las plantas, se utiliza las siglas (ET), para simplificar el nombre. La ET es un parámetro importante en el balance de agua usado en los cálculos hidráulicos.

Fitoclimático: Disciplina que se ocupa de relacionar las variables meteorológicas de un lugar (clima) con los aspectos fitológicos que suscitan (fitologías).

Fuentes fijas: Los establecimientos industriales, mercantiles y de servicios y los espectáculos públicos que emitan contaminantes al ambiente, ubicados o realizados, según corresponda, en el Distrito Federal.

Fungicidas: Son sustancias tóxicas que se emplean para impedir el crecimiento o para matar los hongos perjudiciales para las plantas, los animales o el hombre.

Galvanoplastia: Giro industrial, cuya actividad son los recubrimientos metálicos. Está basado en el traslado de iones metálicos desde un ánodo a un cátodo en un medio líquido, compuesto fundamentalmente por sales metálicas y ligeramente acidulado.

Grasas y aceites: Son los compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como de hidrocarburos del petróleo que son extraídos de la muestra utilizando hexano como disolvente.

Helminto: Término designado a un amplio grupo de organismos que incluye a todos los gusanos parásitos (de humanos, animales y vegetales) y de vida libre, con formas y tamaños variados.

Indicador: Especies seleccionadas por su sensibilidad o tolerancia a varios parámetros, para conocer la calidad del agua.

Índice: Es un número adimensional producto de una manipulación matemática de un grupo de valores de indicadores.

Nemathelminetos: Grupo de gusanos de cuerpo alargado y forma cilíndrica. Algunas especies enteroparásitas de humanos y animales son: *Ascaris lumbricoides*, *Toxocara canis*, *Enterobius vermicularis* y *Trichuris trichiura*, entre otros.

Nivel freático: Nivel de las aguas subterráneas que se encuentran a presión atmosférica (acuífero libre).

Panícula: Es un racimo ramificado de flores, en el que las ramas son a su vez racimos.

Plantilla: Sección transversal de la tubería de la red de drenaje.

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

Periglaciario: Áreas criogénicas que se encuentran próximos a los glaciares, en la alta montaña (sobre todo a bajas latitudes) y alrededor de las regiones polares.

Permafrost: Son los suelos donde se produce un fuerte congelamiento y descongelamiento anual.

Platyhelminetos: Grupo de gusanos dorsoventralmente aplanados, algunos de interés médico son: *Taenia solium*, *Hymenolepis nana* e *H. diminuta*, entre otros.

Procedimiento administrativo: Proceso donde la autoridad ambiental y una empresa concurren legalmente para corregir una anomalía o problemática ambiental.

Proceso aerobio: La descomposición de la materia orgánica por microorganismos en presencia de Oxígeno.

Proceso anaerobio: La descomposición de la materia orgánica por microorganismos en ausencia de Oxígeno.

Protozoario: Microorganismos unicelulares no fotosintéticos, generalmente carecen de pared celular rígida.

Putrescible: Que está expuesto a la putrefacción por la acción de microorganismos.

RAFA: Reactor anaerobio de flujo ascendente.

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

Sustancia Tóxica: Sustancia capaz de alterar o dañar, temporalmente o permanentemente el funcionamiento normal del hombre, animales, plantas o microorganismos.

Variables: Subíndices que conforman un índice de calidad. Su valor se obtiene mediante una ecuación que requiere como dato la concentración del contaminante.

LITERATURA CITADA

- ABS, Energy Research (2001), **“THE ISSUES IN THE GLOBAL WATER AND WASTE MARKET”**, xvi pp.
- Arauzo M., Rivera M., Valladolid M., Noreña C., Cedenila O. (2004), **“CONTAMINACIÓN POR CROMO EN EL AGUA INTERSTICIAL, EN EL AGUA DEL CAUCE Y EN LOS SEDIMENTOS DEL RÍO JARAMA”**, Centro de Ciencias Medioambientales, Madrid España, 88 pp.
- Aguirre M. (2002), **“LOS SISTEMAS DE INDICADORES AMBIENTALES Y SU PAPEL EN LA INFORMACIÓN E INTEGRACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE”**, Ministerio del Medio Ambiente, 1235 pp.
- Álvarez U., Prieto F., Ruiz B., De Zavala G. (2007), **“EL CAMBIO CLIMATICO Y SUS IMPACTOS SOBRE LOS ECOSISTEMAS”**, Indicadores del Observatorio de la Sostenibilidad en España”, 28 pp.
- Alcaraz Y. (2005), **“CONSUMO DE AGUA EN EL DISTRITO FEDERAL”**, Periódico EL UNIVERSAL, 8 pp.
- Amaya W., Cañón O., Avilés O. (2004) **“CONTROL DE PH PARA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”**, Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Colombia, 1 pp.
- ATSDR (2003), **“RESEÑA TOXICOLOGICA DEL NIQUEL”**, Departamento de Salud y Servicios humanos de los EE.UU., CAS # 7440-02-0, 2 pp.
- ATSDR (2004), **“RESUMEN DE SALUD PÚBLICA, CIANURO”**, Departamento de Salud y Servicios humanos de los EE.UU., 3 pp.
- Barrick (2007), **“USOS Y APLICACIONES DEL CIANURO”**, Minería de Lagunas del Norte, México, 32 pp.
- Bernedo J. (2004), **“ABASTECIMIENTO DE AGUA MEDIANTE SISTEMA DE PERFORACIÓN HORIZONTAL CON TUBERÍA DE FUNDICIÓN DÚCTIL ACERROJADA”**, 1 pp.
- Bras L., Molina M. (2006), **“AGUA LA CRISIS DEL SIGLO XXI”**, Revista National Geographic en español, Agua y Clima, 79 pp.
- Bueno P. (2008), **“MANUAL DEL SISTEMA DE INDICADORES AMBIENTALES DE ARAGÓN”**, Departamento del Medio Ambiente de Aragón España, 14 pp.
- CBM (2001), **“MONITOREO DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA EN MESOAMERICA, taller regional de monitoreo de la diversidad biológica en Mesoamérica”**, México D.F., 7 pp.

- Cardozo F. (2002), **“INDICADORES AMBIENTALES. EL SISTEMA DE INDICADORES AMBIENTALES DEL MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE”**, Ministerio de Medio Ambiente, 2, pp.
- Chávez A. (2007), **“ASPECTOS FÍSICOS, QUÍMICOS, BIOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS. ÍNDICES E INDICADORES AMBIENTALES”**, Universidad de Piuría, 23, 44 a 49 pp.
- Chang R. (1992), **“QUÍMICA GENERAL”**, Cuarta Edición, Editorial Mc Graw Hill, 1063 pp.
- CONAGUA (2006), **“INVENTARIO NACIONAL DE PLANTAS MUNICIPALES DE POTABILIZACIÓN Y DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN OPERACIÓN”**, Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, 71-73, 109-111 pp.
- CONAGUA (2000), **“ALCANTARILLADO SANITARIO”**, Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas, Subdirección General Técnica, 1 pp.
- **CONSTITUCIÓN POLITICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS**, Titulo primero, Capitulo I de las Garantías Individuales, Artículo 27, México.
- Dinius, S. (1987), **“DESIGN OF A WATER QUALITY INDEX”**, W.R. Bulletin, V23, #5, 833-43 pp.
- DGCOH (1997), **“PLAN MAESTRO DE AGUA POTABLE DEL DISTRITO FEDERAL 1997-2010”**, 1-3 y 1-6 pp.
- DGPCDF (2006), **“ATLAS DE RIESGOS DEL DISTRITO FERREAL, DENSIDAD DEDRENAJE”**, Distrito Federal, 156 pp.
- Dojlido J., Raniszewski J., Woyciechowska J. (1994), **“WATER QUALITY INDEX APPLIED TO RIVER IN THE VISTULA. RIVER BASIN IN POLAND”**, Enviromental Monitoring and Assessment, 33-42 pp.
- Escalas A. (2006), **“TECNOLOGÍAS Y USOS DE LAS AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO”**, Universidad de Concepción, Concepción Chile, 6 pp.
- Escamilla M. (2007), **“TEOREMA AMBIENTAL”**, Revista No. 61, EDIFICIOS VERDES, Reciclaje de agua residual urbana, 26 pp.
- Espejel R., González T., Perón D. (2005), **“EL ÍNDICE DE DETERIORO AMBIENTAL EN LOS MUNICIPIOS DE TLAXCALA: UNA PROPUESTA METODOLÓGICA”**, Universidad Autónoma de Tlaxcala, 2 pp.
- Espinoza T. (2004), **“MODELO CUALITATIVO DE INDICADORES AMBIENTALES PARA EL ANALISIS DE ESCENARIOS PESQUEROS: CASO DE ESTUDIO EL NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA”**, Universidad Autónoma de Baja California Facultad de Ciencias Marinas Instituto de Investigaciones Oceanológicas, 41 pp.

- Ferman A. (2006), **“INDICADORES AMBIENTALES”**, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad de Baja California, 2 pp.
- Fernández N., Ramírez A., Solano F. (2006), **“ÍNDICES FÍSICOQUÍMICOS DE CALIDAD DEL AGUA, UN ESTUDIO COMPARATIVO”**, Departamento de Biología de la Universidad de Pamplona Colombia, Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y Desarrollo Sostenible, 211, 212 pp.
- Field B., Azqueta O. (1996), **“ECONOMÍA & MEDIO AMBIENTE”**, Tomo 2, Editorial Mc Graw Hill, Primera Edición, 313-346 pp.
- Figueroa R., Araya E., Parra O., Valdovinos C. (1998), **“MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS COMO INDICADORES DE CALIDAD DE AGUA”**, Universidad de Concepción, Chile, 2 pp.
- García H. (2005), **“ESTIRANDO EL AGUA MEDIANTE SU USO EFICIENTE Y REHUSO”**, Artículo a título personal, 1-10 pp.
- García O., Collentes T., Castillo R., Velásquez L., Chávez, C. (2007), **“BIORREMEDIACIÓN DE CROMO VI DE AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRES POR PSEUDOMONAS SP Y SU EFECTO SOBRE EL CICLO CELULAR DE ALLIUM CEPA”**, Revista Médica Vallejana, v. 4 n 1, Lima Perú, 3 pp.
- Herbas A., Rivero O., Gonzales R. (2006), **“INDICADORES BIOLÓGICOS DE CALIDAD DEL AGUA”**, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, 3 pp.
- Hernández O. (2008), **“ALCANTARILLADO”**, Departamento de Construcción y Arquitectura de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España.
- Herrera I., Martínez R., Hernández G. (1989), **“CONTRIBUCIÓN PARA LA ADMINISTRACIÓN CIENTÍFICA DEL AGUA SUBTERRANEA DE LA CUENCA DE MÉXICO”**, Revista de Geofísica internacional, Vol. 28, Num 2, 297-334 pp.
- IDEAM (2001), **“INDICADORES AMBIENTALES”**, Instituto de Estudios Ambientales de Bogotá Colombia, 1-3 pp.
- IDIAM (2004), **“INDICADORES AMBIENTALES MUNICIPALES MANUAL PARA DETERMINAR EL ESTADO DE GESTIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS Y EL AGUA A NIVEL LOCAL EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA,”** Instituto de Incidencia Ambiental de Guatemala, 7 pp.
- INECE (2007), **“INTRODUCCIÓN A LOS INDICADORES DE APLICACIÓN Y CUMPLIMIENTO AMBIENTAL”**, Washington D.C., 2 pp.
- INEGI (2000), **“MARCO GEOESTADÍSTICO MUNICIPAL”**, XXII Censo General de Población y vivienda 2000, descargado de la página www.inegi.gob, el día 25 de noviembre de 2007.
- INEGI (2007), **“ATLAS CARTOGRAFICO DE LA CIUDAD DE MEXICO Y AREA CONURBADA”**, Mapas virtuales del Distrito Federal, descargado de la página www.inegi.gob, el día 20 de octubre de 2007.

- INFRA (2007), “**ICONEL 182**”, Revista de INFRA electrodos México, no. 15, 112 pp.
- Jarabo F., Elortegui E., Jarabe U. (2000), “**FUNDAMENTOS DE TECNOLOGÍA AMBIENTAL**”, Primera Edición, Editorial Neografis, S.L. Impresores, 69, 75-85 pp.
- Kitchen M. (2005), “**EVALUACIÓN TÉCNICA PRELIMINAR DE LA REDUCCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE POR MEDIO DE UN PROCESO ELECTROLÍTICO**”, Universidad de los Andes Bogotá Colombia, 1 pp.
- Lentech (1998), “**PROPIEDADES QUÍMICAS DEL MERCURIO - EFECTOS DEL MERCURIO SOBRE LA SALUD - EFECTOS AMBIENTALES DEL MERCURIO**”, descargado de www.lentech.com, el día 16 de octubre de 2008.
- León V., Luis F. (1991), “**ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA (ICA), FORMA DE ESTIMARLOS Y APLICACIÓN EN LA CUENCA LERMA-CHAPALA**”, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 3 pp.
- **LEY AMBIENTAL DEL DISTRITO FEDERAL** (2000), *Gaceta Oficial del Distrito Federal*, 10, 48 pp.
- **LEY DE AGUAS NACIONALES**, (1992) *Diario Oficial de la Federación*, Título Quinto zonas reglamentadas, de veda o de reserva Capítulo único, artículo 45, Título Séptimo prevención y control de la contaminación de las aguas Capítulo único, artículo 87.
- **LEY GENERAL DE EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE**, (2000), Título Cuarto Protección al Ambiente, Capítulo III Prevención y Control de la Contaminación del Agua y de los Ecosistemas Acuáticos, Artículo 122.
- **LEY GENERAL DE SALUD (APARTADO DE AGUA)** (2000), Título Séptimo, Promoción de la Salud, Capítulo IV, Efectos del Ambiente en la Salud, artículo 122.
- Lesser, DGCOH (1996), “**BALANCE GEOHIDROLOGICO Y RECARGA ARTIFICIAL EN LA ZMCM**”, Distrito Federal, 15 pp.
- López A. (1990), “**ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN Y ELIMINACIÓN DE EXCRETAS**”, Instituto Politécnico Nacional, 255, 290 pp.
- López F. (2008), “**TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN EL DISTRITO FEDERAL**”, Periódico El Sol de México, Sección Metrópoli, 15 pp.
- Lozano G. (1989), “**PALINOLOGÍA Y PALEOAMBIENTALES PLESISTOCENICOS DE LA CUENCA DE MÉXICO**”, Revista de Geofísica, Vol. 28, Núm. 2, 335-362 pp.
- Manteiga L. (2000), “**LOS INDICADORES AMBIENTALES COMO INSTRUMENTO PARA EL DESARROLLO DE LA POLÍTICA AMBIENTAL Y SU INTEGRACIÓN EN OTRAS POLÍTICAS**”, Instituto de Estadística de Andalucía. Sevilla, 4pp.
- Martínez O. (2004), “**GESTIÓN DEL AGUA EN EL DISTRITO FEDERAL, RETOS Y PROPUESTAS**”, Primera Edición, Editorial Solart, S.A. de C.V., 157 a 162 pp.
- Metcalf, Eddy (1996), **WASTERWATER ENGINEERING, TREATMENT DISPOSAL REUSE**, Tercera Edición Editorial Mac Graw Hill, 128 pp.

- Miliarum A. (2007), “**INDICES GLOBALES DE CALIDAD DE LAS AGUAS**”, Ingeniería Civil, Construcción y el Medio Ambiente, Madrid España, descargado de la página www.miliarum.com, el día 02 de abril de 2008.
- Naman J. (2007), “**ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE**”, Área de informática de la Dirección Saneamiento y Control Ambiental, Provincia de Mendoza, España.
- **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-CNA-1995**, Especificaciones de hermeticidad del sistema de alcantarillado sanitario. *Diario Oficial de la Federación*, México.
- **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-996**, Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. *Diario Oficial de la Federación*, México.
- **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-SEMARNAT-996**, Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. *Diario Oficial de la Federación*, México.
- **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-SEMARNAT-1997**, Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. *Diario Oficial de la Federación*, México.
- **NMX-AA-034-SECOFI-2001**, Análisis de agua, determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, *Diario Oficial de la Federación*, México,
- Pérez M., Carreño R. (2002), **NOMINA DE GEOINDICADORES**, COGEOENVIRONMENT (IUGS), Working Group on Geoindicators, 1 pp.
- PNUMA (2003), “**INDICADORES AMBIENTALES**”, XIV Reunión del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe Ciudad de Panamá, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Panamá, 3 pp.
- **PROY-NADF-009-AIRE-2006**, Establece los requisitos para elaborar el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire, Gaceta Oficial del Distrito Federal, Aviso por el que se da a conocer las respuestas a los comentarios recibidos, así como las modificaciones al proyecto de norma ambiental para el Distrito Federal.
- **REGLAMENTO DE LA LEY AMBIENTAL DEL DISTRITO FEDERAL** (1993), *Gaceta Oficial del Distrito Federal*.
- Romero R. (1999), “**CALIDAD DEL AGUA**”, 2da Edición, Escuela Colombiana de Ingeniería, Editorial Alfaomega, 2a edición, 69, 124 -127, 146 pp.
- Rodríguez F., Letón g., Rosal G., Dorado V., Villar F., Sanz G. (2006), “**TRATAMIENTOS AVANZADS DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES**” Universidad de Alcála del Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía (CITME), España, 18 pp.

- Santibañez Q., Santibañez V. (1999), “**POBREZA, DESERTIFICACIÓN Y DEGRADACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES**”, Universidad de Santiago de Chile, 252 pp.
- SECOFI (2002) “**CÓDIGO FINANCIERO DEL DISTRITO FEDERAL**”, Distrito Federal, 28 pp.
- SEGOB (2007), “**MANUAL INFORMATIVO DE LOS INDICADORES 2030, SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL**”, tomado de la página web: www.vision2030.gob.mx/pdf/indicadores/Indicador4.pdf, el 25 de febrero de 2008, 4 pp.
- SEMARNAT (2000), “**INDICADORES DE DESARROLLO SUSTENTABLE EN MÉXICO**”, Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática, 6 y 8 pp.
- SEMARNAT, (2007), “**INDICADORES AMBIENTALES: SU APLICACIÓN EN PROGRAMAS DE CALIDAD DEL AIRE**”, 5 y 6 pp.
- SEMARNAT (2005), “**INDICADORES BÁSICOS DEL DESEMPEÑO AMBIENTAL DE MÉXICO: 2005**”, Dirección de Análisis e Indicadores Ambientales, Dirección General de Estadística e Información Ambiental, 6, 7, 14 pp.
- Seoanez C. (1998), “**Ecología Industrial: INGENIERÍA MEDIOAMBIENTAL APLICADA A LA INDUSTRIA Y A LA EMPRESA, MANUAL PARA RESPONSABLES MEDIOAMBIENTALES**”, Editorial Mundi prensa, 2 Edición, 111-132 pp.
- Seoanez C. (1999), “**AGUAS RESIDUALES URBANAS, TRATAMIENTOS NATURALES DE BAJO COSTO Y APROVECHAMIENTO**”, Editorial: Ediciones Mundi-prensa, Tomo II, 157 pp.
- Seoanez C. (1999b), “**INGENIERÍA DEL MEDIO AMBIENTE APLICADA AL MEDIO NATURAL CONTINENTAL**”, Editorial Mundi prensa, 2 Edición, 304-312, 338-349 pp.
- Simón E. (2008), “**LOS METALES PESADOS EN LAS AGUAS RESIDUALES**”, Grupo de Fisicoquímica de Procesos Industriales y Medioambientales, FQPIMA. Universidad Complutense de Madrid, 1 pp.
- SNMPE (2007), “**EL PLOMO**”, Revista de Informe Quincenal n 53, Lima Perú, 3 pp.
- SMADF (2002), “**ALCANTARILLADO SANITARIO**”, Jefatura de Supervisión a Descargas, 8 pp.
- SMADF (2007), “**PLAN DE COORDINACIÓN PARA LA INSPECCIÓN Y VIGILANCIA A FUENTES FIJAS EN MATERIA DE CONTAMINACIÓN AL AGUA**”, Dirección de Verificación Ambiental, 2 pp.
- Steinzeug K. (2005), “**TUBOS DE GRES VITRIFICADO, INTRODUCCIÓN AL GRES VITRIFICADO**”, 7 pp.
- Suarez O. (2003), “**INDICADORES E INDICES AMBIENTALES, MARCO TEORICO**”, Banco Interamericano de Desarrollo, Universidad Nacional De Colombia, 13 pp.

- The Nipón Fundation, (2003), **“EL RECURSO HÍDRICO EN MÉXICO”**, Análisis de la situación actual y perspectivas futuras, Centro del Tercer Mundo para el Manejo del Agua A.C., Primera Edición, 161-164 pp.
- UICG (1995), **“INTRODUCCIÓN A LOS GEOINDICADORES”**, Herramientas para la evaluación de cambios rápidos en sistemas terrestres, 1 pp.
- Valdés P. (1999), **“CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN TORREÓN COAHUILA MÉXICO”**, En defensa del ambiente A.C., Torreón Coahuila, México, 4 pp.
- Vallejo O. (2000), **“PROPUESTA DE INDICADORES AMBIENTALES SECTORIALES PARA EL TERRITORIO DE MOA”**, Revista Minería y Geología Vol . XVI I, Nos. 3-4, 2 pp.
- Vantaje P. (2007), **“MEDIDAS Y CÁLCULO DE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS”**, Manual de la Estación Ecológica de Guáquira, 1, 2 pp.
- Vázquez, G., Castro M., González M., Pérez R., Castro B., (2006) **“BIOINDICADORES COMO HERRAMIENTAS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL AGUA”**, UNAM Xochimilco, 41-11 pp.
- Vázquez N. (2008), **“EN LAS ENTRAÑAS DEL DRENAJE PROFUNDO”**, Revista Vértigo análisis y pensamiento de México, No. 366, 24 pp.
- Vela E. (2007), **“LA CUENCA DE MÉXICO”**, Revista Arqueología Mexicana Volumen XV, Número 86, 29 pp.
- Videla M. (2000), **“DESARROLLO Y USO DE INDICADORES AMBIENTALES PARA LA PLANIFICACIÓN Y TOMA DE DECISIONES (ARGENTINA)”**, Banco Interamericano de Desarrollo, 9 pp.

ANEXO

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

CON BASE EN EL ACUERDO POR EL CUAL SE REFORMA LA NOMENCLATURA DE LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS EXPEDIDAS POR LA SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, ASÍ COMO LA RATIFICACIÓN DE LAS MISMAS PREVIA A SU REVISIÓN QUINCENAL, PUBLICADO EN EL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN EL 23 DE ABRIL DE 2003.

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

CONSIDERANDO

Que en cumplimiento a lo dispuesto en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 24 de junio de 1996, a fin de que los interesados en un plazo de 90 días naturales presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en Av. Revolución 1425, mezaninne planta alta, Colonia Tlacopac, Código Postal 01040, de esta ciudad. Que durante el plazo a que se refiere el considerando anterior y de conformidad con lo dispuesto en el artículo 45 del Ordenamiento Legal citado, estuvieron a disposición del público los documentos a que se refiere dicho precepto. Que de acuerdo con lo que disponen las fracciones II y III del artículo 47 de la Ley Federal

sobre Metrología y Normalización, los comentarios presentados por los interesados fueron analizados en el seno del citado Comité, realizándose las modificaciones procedentes a dicha Norma; las respuestas a los comentarios de referencia fueron publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 24 de diciembre de 1996.

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de Normas Oficiales Mexicanas, el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 30 de octubre de 1996, aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, por lo que he tenido a bien expedir la siguiente **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES.**

ÍNDICE

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

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

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

2. REFERENCIAS

Norma Mexicana NMX-AA-003 Aguas residuales - Muestreo, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 25 de marzo de 1980. Norma Mexicana NMX-AA-004 Aguas -Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales - Método del cono Imhoff, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 13 de septiembre de 1977.

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

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

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

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

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

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

Norma Mexicana NMX-AA-029 Aguas - Determinación de fósforo total – Métodos espectrofotométricos, publicada en el **Diario**

Oficial de la Federación el 21 de octubre de 1981.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3. DEFINICIONES

3.1 Aguas costeras

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

3.2 Aguas nacionales

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

3.3 Aguas residuales

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

3.4 Aguas pluviales

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

3.5 Bienes nacionales

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

3.6 Carga contaminante

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

3.7 Condiciones particulares de descarga

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

3.8 Contaminantes básicos

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

que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl, de nitritos y de nitratos, expresadas como mg/litro de nitrógeno), fósforo total, temperatura y pH.

3.9 Contaminantes patógenos y parasitarios

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

3.10 Cuerpo receptor

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

3.11 Descarga

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

3.12 Embalse artificial

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

3.13 Embalse natural

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

3.14 Estuario

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

3.15 Humedales naturales

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

3.16 Límite máximo permisible

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

3.17 Metales pesados y cianuros

Son aquellos que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los

siguientes: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuros.

3.18 Muestra compuesta

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

TABLA 1

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

N.E. No especificado

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

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

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

Donde:

VMS_i = volumen de cada una de las muestras simples "i", litros.

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

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

$$Q_t = \sum Q_i \text{ hasta } Q_n, \text{ litros por segundo}$$

3.20 Parámetro

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

3.21 Promedio diario (P.D.)

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

3.22 Promedio mensual (P.M.)

Es el valor que resulte de calcular el promedio ponderado en función del caudal, de los valores que resulten del análisis de al

menos dos muestras compuestas (Promedio diario).

3.23 Riego no restringido

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

3.24 Riego restringido

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

3.25 Río

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

3.26 Suelo

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

3.27 Tratamiento convencional

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

3.28 Uso en riego agrícola

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

3.29 Uso público urbano

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

4. ESPECIFICACIONES

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

4.2 Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1,000 y

2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario, respectivamente.

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

TABLA 2

PARAMETROS (miligramos por Litro, excepto cuando se especifique)	RÍOS			EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES		AGUAS COSTERAS			SUELO	
	Uso en riego agrícola	Uso público urbano	Protección de vida acuática	Uso en riego agrícola	Uso público urbano	Explotación pesquera, navegación y otros usos	Recreación	Estuarios	Uso en riego agrícola	Humedales Naturales
	(A) P.M.	(B) P.M.	(C) P.M.	(B) P.M.	(C) P.M.	(A) P.M.	(B) P.M.	(B) P.M.	(A) P.M.	(B) P.M.
Temperatura °C (1)	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	40
Grasas y Aceites (2)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Materia Flotante (3)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos Sedimentables (mL/L)	1	1	1	1	1	1	1	1	N.A.	1
Sólidos Suspendidos Totales	150	75	40	75	40	150	75	75	N.A.	75
Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅	150	75	30	75	30	150	75	75	N.A.	75
Nitrógeno Total	40	40	15	40	15	N.A.	N.A.	15	N.A.	N.A.
Fosforo Total	20	20	5	20	5	N.A.	N.A.	5	N.A.	N.A.

P.M. = Promedio Mensual N.A. = No Aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de derechos

(1) Instantáneo

(2) Muestra simple promedio ponderado

(3) Ausente según el método de prueba definido en la MNX-AA-006

TABLA 3

PARAMETROS (*) (miligramos por Litro)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO			
	Uso en riego agrícola		Uso público urbano		Protección de vida acuática		Uso en riego agrícola		Uso público urbano		Explotación pesquera, navegación y otros usos		Recreación		Estuarios		Uso en riego agrícola		Humedales Naturales	
	(A)	(B)	(B)	(C)	(B)	(C)	(A)	(B)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuros	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.001	0.01	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

(*) Medidos de manera total
P.D. Promedio diario P.M. = Promedio Mensual N.A. = No Aplicable
(A), (B) y (C): Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de derechos

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

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

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

correspondiente a 1990, publicado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

b) Las descargas no municipales tendrán como plazo límite hasta las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 5. El cumplimiento es gradual y progresivo, dependiendo de la mayor carga contaminante, expresada como demanda bioquímica de oxígeno₅ (DBO₅) o sólidos suspendidos totales (SST), según las cargas del agua residual, manifestadas en la solicitud de permiso de descarga, presentada a la Comisión Nacional del Agua.

TABLA 4

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

TABLA 5

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

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

4.7. Los responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales,

cuya concentración de contaminantes en cualquiera de los parámetros básicos, metales pesados y cianuros, que rebasen los límites máximos permisibles señalados en las Tablas 2 y 3 de esta Norma Oficial Mexicana, multiplicados por cinco, para cuerpos receptores tipo B (ríos, uso público urbano), quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control

de la calidad del agua de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, en un plazo no mayor de

180 días naturales, a partir de la publicación de esta Norma en el Diario Oficial de la Federación. Los demás responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales, que rebasen los límites máximos permisibles de esta norma, quedan

obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, en las fechas establecidas en las Tablas 6 y 7.

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

TABLA 6

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

TABLA 7

CARGA CONTAMINANTES DE LAS DESCARGAS NO MUNICIPALES	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO₅ Y/O SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)	FECHA LÍMITE PARA PRESENTAR PROGRAMA DE ACCIONES
mayor de 50,000 habitantes	30 de junio de 1997
de 20,001 a 50,000 habitantes	31 de diciembre de 1998
de 2,501 a 20,000 habitantes	31 de diciembre de 1999

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

TABLA 8

RANGO DE POBLACIÓN	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de 50,000 habitantes	MENSUAL	TRIMESTRAL
de 20,001 a 50,000 habitantes	TRIMESTRAL	SEMESTRAL
de 2501 a 20,000 habitantes	SEMESTRAL	ANUAL

TABLA 9

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

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

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

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

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

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

5. MÉTODOS DE PRUEBA

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

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

6. VERIFICACIÓN

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

7. GRADO DE CONCORDANCIA CON NORMAS Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES

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

8. BIBLIOGRAFÍA

8.1 APHA, AWWA, WPCF, 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. USA. (Métodos normalizados para el análisis del agua y aguas residuales. 19ª Edición. E.U.A.).

8.2 Code of Federal Regulations. Title 40. Parts 100 to 149; 400 to 424; and 425 to 629. Protection of Environment 1992. USA. (Código de Normas Federales. Título 40. Partes 100 a 149; 400 a 424; y 425 a 629. Protección al Ambiente. E.U.A.)

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

8.4 Industrial Water Pollution Control, 1989. 2nd Edition. USA. (Control de la contaminación industrial del agua Eckenfelder W.W. Jr. 2ª Edición McGraw-Hill International Editions. E.U.A.)

8.5 Manual de Agua para Usos Industriales, 1988. Sheppard T. Powell. Ediciones Ciencia y Técnica, S.A. 1ª edición. Volúmenes 1 al 4. México.

8.6 Manual de Agua, 1989. Frank N. Kemmer, John McCallion Ed. McGraw-Hill. Volúmenes 1 al 3. México.

8.7 U.S.E.P.A. Development Document for Effluent Limitation Guidelines And New Source Performance Standard For The 1974 (Documento de Desarrollo de La U.S.E.P.A. para guías de límites de efluentes y estándares de evaluación de nuevas fuentes para 1974).

8.8 Water Treatment Chemicals. An Industrial Guide, 1991. (Tratamiento químico del agua. Una guía industrial) Flick, Ernest W. Noyes Publications. E.U.A.

8.9 Water Treatment Handbook, 1991. (Manual de tratamiento de agua. Degremont 6ª Edición Vol. I y II. E.U.A.)

8.10 Wastewater Engineering Treatment. Disposal, Reuse, 1991. 3rd Edition. USA. (Ingeniería en el tratamiento de aguas residuales. Disposición y reuso. Metcalf And Eddy. McGraw-Hill International Editions. 3ª Edición. E.U.A.)

8.11 Estudio de Factibilidad del Saneamiento del Valle de México. Informe Final. Dic. 1995. Comisión Nacional del Agua, Departamento del Distrito Federal, Estado de Hidalgo y Estado de México.

8.12 Guía Para el Manejo, Tratamiento y Disposición de Lodos Residuales de Plantas de Tratamiento Municipales. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial. México, 1994.

8.13 Sistemas Alternativos de Tratamiento de Aguas Residuales y Lodos Producidos. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial. México, 1994.

8.14 Impact of Wastewater Reuse on Groundwater In The Mezquital Valley, Hidalgo State, Mexico. Overseas Development Administration. Phase 1, Report - February 1995.

8.15 Evaluación de la Toxicidad de Descargas Municipales. Comisión Nacional del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Noviembre de 1993.

8.16 Tratabilidad del Agua Residual Mediante el Proceso Primario Avanzado. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1994-1995.

8.17 Estudio de la Desinfección del Efluente Primario Avanzado. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1994-1995.

8.18 Formación y Migración de Compuestos Organoclorados a través de Columnas Empaquetadas con Suelo de la Zona de Tula-Mezquital-Actopan. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995-1996.

8.19 Estudio de Calidad y Suministro del Agua para Consumo Doméstico del Valle del Mezquital. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995-1996.

8.20 Estudio de Impacto Ambiental Asociado al Proyecto de Saneamiento del Valle de México. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995-1996.

8.21 Proyecto de Normatividad Integral para Mejorar la Calidad del Agua en México. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995-1996.

8.22 Estudio de Disponibilidad de Agua en México en Función del Uso, Calidad y Cantidad. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995.

8.23 Cost - Effective Water Pollution Control in The Northern Border Of Mexico. Institute For Applied Environmental Economics (Tme), 1995.

8.24 XI Censo General de Población y Vivienda. INEGI / CONAPO 1990

8.25 Normas Oficiales Mexicanas para descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores: NOM-001-ECOL/1993 a NOM-033-ECOL/1993, publicadas en el **Diario Oficial de la Federación el 18 de octubre de 1993**; NOM-063-ECOL/1994 a NOM-065-ECOL/1994 publicadas en el **Diario Oficial de la Federación el 5 de enero de 1995**; NOM-066-ECOL/1994 a NOM-068-ECOL-1994, publicadas en el **Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1995**; NOM-069- ECOL/1994 y NOM-070-ECOL /1994, publicadas en el **Diario Oficial de la Federación el 9 de enero de 1995**; y NOM-071-ECOL-1994 a NOM-073-ECOL-1994, publicadas en el **Diario Oficial de la Federación el 11 de enero de 1995**.

8.26 Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. SEMARNAP. Instituto de Ecología. México, D.F.

8.27 Catálogo Oficial de Plaguicidas Control Intersectorial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas. SARH, SEDESOL, SSA y SECOFI. México, D.F. 1994.

8.28 Indicadores Socioeconómicos e Índice de Marginación Municipal 1990. CONAPO/CNA.

8.29 Bases para el Manejo Integral de la Cantidad y Calidad del Agua en México. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995.

8.30 Manejando las Aguas Residuales en Zonas Urbanas Costeras. Reporte 1993. EUA. Comité Sobre el Manejo de las Aguas Residuales en Zonas Urbanas Costeras. Consejo de Ciencia y Tecnología sobre Agua. Comisión de Sistemas Técnicos e Ingeniería. Consejo Nacional de Investigación.

8.31 NMX-AA-087-1995-SCFI. Análisis de Agua.- Evaluación de Toxicidad Aguda con *Daphnia magna* Straus (Crustacea-Cladocera).- Método de Prueba).

8.32 NMX-AA-110-1995-SCFI. Análisis de Agua.- Evaluación de Toxicidad Aguda con *Artemia franciscana* Kellogs (Crustacea-Anostraca).- Método de Prueba.

8.33 NMX-AA-112-1995-SCFI. Análisis de Agua y Sedimento.- Evaluación de Toxicidad aguda con *Photobacterium phosphoreum*.- Método de Prueba.

9. OBSERVANCIA DE ESTA NORMA

9.1 La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, por conducto de la Comisión Nacional del Agua, y a la Secretaría de Marina en el ámbito de sus respectivas atribuciones, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

9.2 La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

9.3 Se abrogan las normas oficiales mexicanas que a continuación se indican:

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de las centrales termoeléctricas convencionales.

Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria productora de azúcar de caña.

Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de refinación de petróleo y petroquímica.

Norma Oficial Mexicana NOM-004-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de fabricación de fertilizantes excepto la que produzca ácido fosfórico como producto intermedio.

Norma Oficial Mexicana NOM-005-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de fabricación de productos plásticos y polímeros sintéticos.

Norma Oficial Mexicana NOM-006-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de fabricación de harinas.

Norma Oficial Mexicana NOM-007-ECOL-

1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de la cerveza y de la malta.

Norma Oficial Mexicana NOM-008-ECOL-

1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de fabricación de asbestos de construcción.

Norma Oficial Mexicana NOM-009-ECOL-

1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria elaboradora de leche y sus derivados.

Norma Oficial Mexicana NOM-010-ECOL-

1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de las industrias de manufactura de vidrio plano y de fibra de vidrio.

Norma Oficial Mexicana NOM-011-ECOL-

1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de productos de vidrio prensado y soplado.

Norma Oficial Mexicana NOM-012-ECOL-

1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria hulera.

Norma Oficial Mexicana NOM-013-ECOL-

1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria del hierro y del acero.

Norma Oficial Mexicana NOM-014-ECOL-

1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria textil.

Norma Oficial Mexicana NOM-015-ECOL-

1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de la celulosa y el papel.

Norma Oficial Mexicana NOM-016-ECOL-

1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de bebidas gaseosas.

Norma Oficial Mexicana NOM-017-ECOL-

1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores,

provenientes de la industria de acabados metálicos.

Norma Oficial Mexicana NOM-018-ECOL-

1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de laminación, extrusión y estiraje de cobre y sus aleaciones.

Norma Oficial Mexicana NOM-019-ECOL-

1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de impregnación de productos de aserradero.

Norma Oficial Mexicana NOM-020-ECOL-

1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de asbestos textiles, materiales de fricción y selladores.

Norma Oficial Mexicana NOM-021-ECOL-

1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria del curtido y acabado en pieles.

Norma Oficial Mexicana NOM-022-ECOL-

1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de matanza de animales y empaquetado de cárnicos.

Norma Oficial Mexicana NOM-023-ECOL-

1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de envasado de conservas alimenticias.

Norma Oficial Mexicana NOM-024-ECOL-

1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria elaboradora de papel a partir de celulosa virgen.

Norma Oficial Mexicana NOM-025-ECOL-

1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria elaboradora de papel a partir de fibra celulósica reciclada.

Norma Oficial Mexicana NOM-026-ECOL-

1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de restaurantes o de hoteles.

Norma Oficial Mexicana NOM-027-ECOL-

1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas

de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria del beneficio del café. Norma Oficial Mexicana NOM-028-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de preparación y envasado de conservas de pescados y mariscos y de la industria de producción de harina y aceite de pescado.

Norma Oficial Mexicana NOM-029-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de hospitales.

Norma Oficial Mexicana NOM-030-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de jabones y detergentes.

Norma Oficial Mexicana NOM-032-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola.

Norma Oficial Mexicana NOM-033-ECOL-1993, que establece las condiciones bacteriológicas para el uso de las aguas residuales de origen urbano o municipal o de la mezcla de éstas con la de los cuerpos de agua, en el riego de hortalizas y productos hortofrutícolas. Publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 18 de octubre de 1993.

La nomenclatura de las Normas Oficiales Mexicanas antes citadas está en términos del Acuerdo por el que se reforma la nomenclatura de 58 Normas Oficiales Mexicanas en materia de Protección Ambiental, publicado en el **Diario Oficial de la Federación** el 29 de noviembre de 1994.

Asimismo se abrogan las siguientes normas oficiales mexicanas:

Norma Oficial Mexicana NOM-063-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria vinícola.

Norma Oficial Mexicana NOM-064-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de la destilería.

Norma Oficial Mexicana NOM-065-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de las industrias de pigmentos y

colorantes. Publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 5 de enero de 1995.

Norma Oficial Mexicana NOM-066-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de la galvanoplastia.

Norma Oficial Mexicana NOM-067-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal.

Norma Oficial Mexicana NOM-068-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de aceites y grasas comestibles de origen animal y vegetal, publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 6 de enero de 1995.

Norma Oficial Mexicana NOM-069-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de componentes eléctricos y electrónicos.

Norma Oficial Mexicana NOM-070-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de preparación, conservación y envasado de frutas, verduras y legumbres en fresco y/o congelados, publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 9 de enero de 1995.

Norma Oficial Mexicana NOM-071-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de productos químicos inorgánicos.

Norma Oficial Mexicana NOM-072-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de las industrias de fertilizantes fosfatados, fosfatos, polifosfatos, ácido fosfórico, productos químicos inorgánicos fosfatados, exceptuando a los fabricantes de ácido fosfórico por el proceso de vía húmeda.

Norma Oficial Mexicana NOM-073-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de las industrias farmacéutica y farmoquímica, publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 11 de enero de 1995.

TRANSITORIO

ÚNICO. A partir de la entrada en vigor de esta Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, el responsable de la descarga de aguas residuales:

1) Que cuente con planta de tratamiento de aguas residuales, está obligado a operar y mantener dicha infraestructura de saneamiento, cuando su descarga no cumpla con los límites máximos permisibles de esta Norma. Puede optar por cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, o los establecidos en sus condiciones particulares de descarga, previa notificación a la Comisión Nacional del Agua.

En el caso de que la calidad de la descarga que se obtenga con dicha infraestructura no cumpla con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, debe presentar a la Comisión Nacional del Agua, en los plazos establecidos en las Tablas 6 y 7, su programa de acciones u obras a realizar para cumplir en las fechas establecidas en las Tablas 4 y 5, según le corresponda.

Los que no cumplan, quedarán sujetos a lo dispuesto en la Ley Federal de Derechos.

En el caso de que el responsable de la descarga opte por cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana y que descargue una mejor calidad de agua residual que la establecida en esta Norma, puede gozar de los beneficios e incentivos que para tal efecto establece la Ley Federal de Derechos.

2) Que se hubiere acogido a los Decretos Presidenciales que otorgan facilidades administrativas y fiscales a los usuarios de Aguas Nacionales y sus Bienes Públicos inherentes, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 11 de octubre de 1995, en la materia, quedará sujeto a lo dispuesto en los mismos y en lo conducente a la Ley Federal de Derechos.

3) No debe descargar concentraciones de contaminantes mayores a las que descargó durante los últimos tres años o menos, si empezó a descargar posteriormente, de acuerdo con sus registros y/o con los informes presentados ante la Comisión Nacional del Agua en ese período si su descarga tiene concentraciones mayores a las establecidas como límite máximo permisible en esta Norma. Los responsables que no cumplan con esta especificación, quedarán sujetos a lo dispuesto en la Ley Federal de Derechos.

4) Que establezca una nueva instalación industrial, posterior a la publicación de esta Norma Oficial Mexicana en el Diario Oficial de la Federación, no podrá acogerse a las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 5 de esta Norma y debe cumplir con los límites máximos permisibles para su descarga, 180 días calendario después de iniciar la operación del proceso generador, debiendo notificar a la Comisión Nacional del Agua dicha fecha.

5) Que incremente su capacidad o amplíe sus instalaciones productivas, posterior a la publicación de esta Norma Oficial Mexicana en el Diario Oficial de la Federación, éstas nuevas descargas no podrán acogerse a las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 5 de esta Norma y debe cumplir con los límites máximos permisibles para éstas, 180 días calendario después de iniciar la operación del proceso generador, debiendo notificar a la Comisión Nacional del Agua dicha fecha.

6) Que no se encuentre en alguno de los supuestos anteriores, deberá cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, sujeto a lo dispuesto en la Ley Federal de Derechos, en lo conducente.

México., Distrito Federal, a los once días del mes de diciembre de mil novecientos noventa y seis. La Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Julia Carabias Lillo.-
Rúbrica.

ANEXO 1 TÉCNICA PARA LA DETERMINACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE HUEVOS DE HELMINTO

1. OBJETIVO

Determinar y cuantificar huevos de helminto en lodos, afluentes y efluentes tratados.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

Es aplicable para la cuantificación de huevos de helminto en muestras de lodos, afluentes y efluentes de plantas de tratamiento.

3. DEFINICIONES

3.1 Helminto: término designado a un amplio grupo de organismos que incluye a todos los gusanos parásitos (de humanos, animales y vegetales) y de vida libre, con formas y tamaños variados.

3.2 Platyhelminetos: gusano dorsoventralmente aplanado, algunos de interés médico son: *Taenia solium*, *Hymenolepis nana* e *H. diminuta*, entre otros.

3.3 Nematelminetos: gusanos de cuerpo alargado y forma cilíndrica. Algunas especies enteroparásitas de humanos y animales son: *Ascaris lumbricoides*, *Toxocara canis*, *Enterobius vermicularis* y *Trichuris trichiura*, entre otros.

3.4 Método difásico: técnica de concentración que utiliza la combinación de dos reactivos no miscibles y donde las partículas (huevos, detritus), se orientan en función de su balance hidrofílico-lipofílico.

3.5 Método de flotación: técnica de concentración donde las partículas de interés permanecen en la superficie de soluciones cuya densidad es mayor. Por ejemplo la densidad de huevos de helminto se encuentra entre 1.05 a

1.18, mientras que los líquidos de flotación se sitúan entre 1.1 a 1.4.

4. FUNDAMENTO

Utiliza la combinación de los principios del método difásico y del método de flotación, obteniendo un rendimiento de un 90%, a partir de muestras artificiales contaminadas con huevos de helminto de *Ascaris*.

5. EQUIPO

Centrífuga: Con intervalos de operación de 1000 a 2500 revoluciones por minuto Períodos de operación de 1 a 3 minutos Temperatura de operación 20 a 28 °C

Bomba de vacío: Adaptada para control de velocidad de succión 1/3 hp

Microscopio óptico: Con iluminación Köhler Aumentos de 10 a 100X; Platina móvil; Sistema de microfotografía

Agitador de tubos: Automático Adaptable con control de velocidad

Parrilla eléctrica: Con agitación

Hidrómetro: Con intervalo de medición de 1.1 a 1.4 g/cm³

Temperatura de operación: 0 a 4 °C

6. REACTIVOS

- Sulfato de zinc heptahidratado
- Acido sulfúrico
- Eter etílico
- Etanol
- Agua destilada
- Formaldehído

6.1 Solución de sulfato de zinc, gravedad específica de 1.3

- Fórmula
- Sulfato de zinc 800 g
- Agua destilada 1,000 ml

Preparación

Disolver 800 g de sulfato de zinc en 1,000 ml de agua destilada y agitar en la parrilla eléctrica hasta homogeneizar, medir la densidad con hidrómetro. Para lograr la densidad deseada agregar reactivo o agua según sea el caso.

6.2 Solución de alcohol-ácido

- Fórmula
- Acido sulfúrico 0.1 N 650 ml
- Etanol 350 ml

Preparación

Homogeneizar 650 ml del ácido sulfúrico al 0.1 N, con 350 ml del etanol para obtener un litro de la solución alcohol-ácida.

Almacenarla en recipiente hermético.

7. MATERIAL

- Garrafrones de 8 litros
- Tamiz de 160 µm (micras) de poro
- Probetas graduadas (1 litro y 50 ml)
- Gradillas para tubos de centrífuga de 50 ml
- Pipetas de 10 ml de plástico

- Aplicadores de madera
- Recipientes de plástico de 2 litros
- Guantes de plástico
- Vasos de precipitado de 1 litro
- Bulbo de goma
- Magneto
- Cámara de conteo Doncaster
- Celda Sedgwick-Rafter

8. CONDICIONES DE LA MUESTRA

1. Se transportarán al laboratorio en hieleras con bolsas refrigerantes o bolsas de hielo.
2. Los tiempos de conservación en refrigeración y transporte deben reducirse al mínimo
3. Si no es posible refrigerar la muestra líquida, debe fijarse con 10 ml de formaldehído al 4% o procesarse dentro de las 48 horas de su toma.
4. Una muestra sólida debe refrigerarse y procesarse en el menor tiempo posible.

9. INTERFERENCIAS

La sobreposición de estructuras y/o del detritus no eliminado en el sedimento, puede dificultar su lectura, en especial cuando se trata de muestras de lodo. En tal caso, es importante dividir el volumen en alícuotas que se consideren adecuadas.

10. PRECAUCIONES

1. Durante el procesado de la muestra, el analista debe utilizar guantes de plástico para evitar riesgo de infección.
2. Lavar y desinfectar el área de trabajo, así como el material utilizado por el analista.

11. PROCEDIMIENTO

1 Muestreo

- a) Preparar recipientes de 8 litros, desinfectándolos con cloro, enjuagándolos con agua potable a chorro y con agua destilada.
 - b) Tomar 5 litros de la muestra (ya sea del afluyente o efluente).
 - c) En el caso de que la muestra se trate de lodo, preparar en las mismas condiciones recipientes de plástico de 1 litro con boca ancha.
 - d) Tomar X gramos de materia fresca (húmeda) que corresponda a 10 g de materia seca.
2. Concentrado y centrifugado de la muestra
 - a) La muestra se deja sedimentar durante 3 horas o toda la noche.
 - b) El sobrenadante se aspira por vacío sin agitar el sedimento.
 - c) Filtrar el sedimento sobre un tamiz de 160 µm (micras), enjuagando también el recipiente donde se encontraba originalmente la muestra y lavar enseguida con 5 litros de agua (potable o destilada).
 - d) Recibir el filtrado en los mismos recipientes de 8 litros.
 - e) En caso de tratarse de lodos, la muestra se filtrará y enjuagará en las mismas condiciones iniciando a partir del inciso c.

- f) Dejar sedimentar durante 3 horas o toda la noche.
- g) Aspirar el sobrenadante al máximo y depositar el sedimento en una botella de centrifuga de 250 ml, incluyendo de 2 a 3 enjuagues del recipiente de 8 litros.
- h) Centrifugar a 400 g por 3 minutos (1,400 - 2,000 rpm por 3 minutos, según la centrifuga).
- i) Decantar el sobrenadante por vacío (asegurarse de que exista la pastilla) y resuspender la pastilla en 150 ml de ZnSO₄ con una densidad de 1.3.
- j) Homogeneizar la pastilla con el agitador automático, o aplicador de madera.
- k) Centrifugar a 400 g por 3 minutos (1,400 - 2,000 rpm por 3 minutos).
- l) Recuperar el sobrenadantevirtiéndolo en un frasco de 2 litros y diluir cuando menos en un litro de agua destilada.
- m) Dejar sedimentar 3 horas o toda la noche.
- n) Aspirar al máximo el sobrenadante por vacío y resuspender el sedimento agitando, verter el líquido resultante en 2 tubos de centrifuga de 50 ml y lavar de 2 a 3 veces con agua destilada el recipiente de 2 litros.
- ñ) Centrifugar a 480 g por 3 minutos (2,000 - 2,500 rpm por 3 minutos, según la centrifuga).
- o) Reagrupar las pastillas en un tubo de 50 ml y centrifugar a 480 g por minutos (2,000 - 2,500 rpm por 3 minutos).
- p) Resuspender la pastilla en 15 ml de solución de alcohol-ácido (H₂SO₄ 0.1 N) + C₂H₅OH a 33-35% y adicionar 10 ml de éter etílico.
- q) Agitar suavemente y abrir de vez en cuando los tubos para dejar escapar el gas (considerar que el éter es sumamente inflamable y tóxico).
- r) Centrifugar a 660 g por 3 minutos (2,500 - 3,000 rpm por 3 minutos, según la centrifuga).
- s) Aspirar al máximo el sobrenadante para dejar menos de 1 ml de líquido, homogeneizar la pastilla y proceder a cuantificar.
- 3. Identificación y cuantificación de la muestra**
- a) Distribuir todo el sedimento en una celda de Sedgwick-Rafter o bien en una cámara de conteo de Doncaster.
- b) Realizar un barrido total al microscopio.

12. CÁLCULOS

1 Para determinar los rpm de la centrifuga utilizada, la fórmula es:

$$r p m = \sqrt{\frac{K g}{r}}$$

Argumento de modificador no especificado.

Donde:

- g:** fuerza relativa de centrifugación
K: constante cuyo valor es 89,456
r: radio de la centrifuga (spindle to the centre of the bracker) en cm La fórmula para calcular g es:

$$g = \frac{r (rpm)^2}{K}$$

Argumento de modificador no especificado.

2. Para expresar los resultados en número de huevecillos por litro es importante tomar en cuenta el volumen y tipo de la muestra analizada.

13. FORMATO

No aplica.

14. BIBLIOGRAFÍA

1. APHA, AWWA, WPCF, 1992 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th ed., Washington.
2. CETESB, São Paulo, 1989 Helmintos e Protozoários Patogénicos Contagem de Ovos e Cistos em Amostras Ambientais.
3. Schwartzbrod, J., 1996 Traitement des Eaux Usees de Mexico en Vue d'une Reutilisation a des Fins Agricoles. Reunión de Expertos para el Análisis del Proyecto de Saneamiento del Valle de México. Instituto de Ingeniería UNAM, 86 p.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-SEMARNAT-1996, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO URBANO O MUNICIPAL.

CON BASE EN EL ACUERDO POR EL CUAL SE REFORMA LA NOMENCLATURA DE LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS EXPEDIDAS POR LA SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, ASÍ COMO LA RATIFICACIÓN DE LAS MISMAS PREVIA A SU REVISIÓN QUINCENAL, PUBLICADO EN EL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN EL 23 DE ABRIL DE 2003.

JULIA CARABIAS LILLO, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 32 Bis fracciones I, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 5o. fracción V, 6o, 7o. 8o. fracciones II, VII y XII, 36, 37, 37 Bis, 117, 118 fracción II, 119, 119 Bis, 121, 122, 123, 171 y 173 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 45, 46 y 47 fracciones III y IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, he tenido a bien expedir la siguiente Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal; y

CONSIDERANDO

Que con fecha 18 de octubre de 1993, se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-031-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal. De conformidad con el Acuerdo mediante el cual se modifica la nomenclatura de 58 normas oficiales mexicanas en materia de protección ambiental publicado en el referido órgano informativo el 29 de noviembre de 1994, se cambió la nomenclatura de la norma en cuestión, quedando como norma oficial mexicana NOM-031-ECOL-1993.

Que durante la aplicación de la referida norma se detectaron algunos problemas de carácter técnico, por lo que se tuvo la

necesidad de llevar a cabo un análisis de la misma por parte del Instituto Nacional de Ecología en coordinación con la Comisión Nacional del Agua, autoridades locales y con los diversos sectores involucrados en su cumplimiento, llegándose a la conclusión de que era necesario reformular la norma en comento procediéndose a elaborar una nueva norma oficial mexicana que la sustituyera, tomando en consideración puntos de vista socioeconómicos, la infraestructura existente de los sistemas de alcantarillado, la determinación de parámetros prioritarios, el tamaño de poblaciones y la compatibilidad con otras normas en la materia, y que las disposiciones establecidas sean operativas y su cumplimiento sea gradual y progresivo.

Que en cumplimiento a lo dispuesto en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado, se publicó en el **Diario Oficial de la Federación** el 9 de enero de 1997, a fin de que los interesados en un plazo de 90 días naturales presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en avenida Revolución 1425, mezanine planta alta, colonia Tlacopac, Delegación Álvaro Obregón, código postal 01040, de esta ciudad.

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

Que de acuerdo con lo que disponen las fracciones II y III del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, los comentarios presentados por los interesados fueron analizados en el seno del citado Comité, realizándose las modificaciones procedentes a dicha Norma; las respuestas a los comentarios de referencia fueron publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 3 de abril de 1998.

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de Normas Oficiales Mexicanas, el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 9 de diciembre de 1997, aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal por lo que he tenido a bien expedir la siguiente **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002- ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO URBANO O MUNICIPAL.**

Í N D I C E

1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias
3. Definiciones
4. Especificaciones
5. Métodos de prueba
6. Grado de concordancia con normas internacionales
7. Bibliografía
8. Observancia de esta norma
9. Transitorios

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a

las generadas por la industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.

2. REFERENCIAS

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-003 Aguas residuales – Muestreo, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 25 de marzo de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-004 Aguas - Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales - Método del cono Imhoff, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 15 de septiembre de 1977.

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

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

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

Norma Mexicana NMX-AA-008 Aguas – Determinación de pH – Método potenciométrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 27 de octubre de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-044 Aguas – Análisis de agua-Determinación de Cromo Hexavalente- Método colorimétrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 6 de enero de 1982.

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

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

Norma Mexicana NMX-AA-057 Aguas - Determinación de plomo - Método

colorimétrico de la ditizona, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 29 de septiembre de 1981.

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

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

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

Norma Mexicana NMX-AA-066 Aguas – Determinación de cobre- Método de la neocuproína, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 10 de marzo de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-076 Aguas – Determinación de níquel, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 4 de mayo de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-078 Aguas – Determinación de zinc, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de diciembre de 1982.

3. DEFINICIONES

3.1 Aguas pluviales

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

3.2 Aguas residuales

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

3.3 Aguas residuales de proceso

Las resultantes de la producción de un bien o servicio comercializable.

3.4 Aguas residuales domésticas

Las provenientes del uso particular de las personas y del hogar.

3.5 Autoridad competente

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

3.6 Condiciones particulares para descargas al alcantarillado urbano o municipal

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

3.7 Contaminantes

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

3.8 Descarga

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

3.9 Instantáneo

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

3.10 Límite máximo permisible

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

3.11 Muestra compuesta

La que resulta de mezclar el número de muestras simples, según lo indicado en la especificación 4.10 de esta Norma Oficial Mexicana.

3.12 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, el volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento del muestreo.

3.13 Parámetro

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

3.14 Promedio diario (P.D)

Es el valor que resulta del análisis de una muestra compuesta, tomada en un día

representativo del proceso generador de la descarga.

3.15 Promedio mensual (P.M.)

Es el valor que resulte de calcular el promedio ponderado en función del caudal de los valores que resulten del análisis de laboratorio practicado al menos a dos muestras compuestas, tomadas en días representativos de la descarga en un período de un mes.

3.16 Punto de descarga

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

3.17 Sistema de alcantarillado urbano o municipal

Es el conjunto de obras y acciones que permiten la prestación de un servicio público de alcantarillado, incluyendo el saneamiento, entendiéndose como tal la conducción, tratamiento, alejamiento y descarga de las aguas residuales.

4. ESPECIFICACIONES

4.1 Los límites máximos permisibles para contaminantes de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, no deben ser superiores a los indicados en la Tabla 1. Para las grasas y aceites es el promedio ponderado en función del caudal, resultante de los análisis practicados a cada una de las muestras simples.

TABLA 1

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES			
Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

4.2 Los límites máximos permisibles establecidos en la columna instantáneo, son únicamente valores de referencia, en el caso de que el valor de cualquier análisis exceda el instantáneo, el responsable de la descarga queda obligado a presentar a la autoridad competente en el tiempo y forma que establezcan los ordenamientos legales locales, los promedios diario y mensual, así como los resultados de laboratorio de los análisis que los respaldan.

4.3 El rango permisible de pH (potencial hidrógeno) en las descargas de aguas residuales es de 10 (diez) y 5.5 (cinco punto

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

4.4 El límite máximo permisible de la temperatura es de 40 °C. (Cuarenta Grados Celsius), medida en forma instantánea a cada una de las muestras simples. Se permitirá descargar con temperaturas mayores, siempre y cuando se demuestre a la autoridad competente por medio de un estudio sustentado, que no daña al sistema del mismo.

4.5. La materia flotante debe estar ausente en las descargas de aguas residuales, de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006, referida en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana.

4.6. Los límites máximos permisibles para los parámetros demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales, que debe cumplir el responsable de la descarga a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, son los establecidos en la Tabla 2 de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 referida en el punto 2 de esta norma, o a las condiciones particulares de descarga que corresponde cumplir a la descarga municipal.

4.7. El responsable de la descarga de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal que no dé cumplimiento a lo establecido en el punto 4.6, podrá optar por remover la demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales, mediante el tratamiento conjunto de las aguas residuales en la planta municipal, para lo cual deberá de:

a) Presentar a la autoridad competente un estudio de viabilidad que asegure que no se generará un perjuicio al sistema de alcantarillado urbano o municipal.

b) Sufragar los costos de inversión, cuando así se requiera, así como los de operación y mantenimiento que le correspondan de acuerdo con su caudal y carga contaminante

de conformidad con los ordenamientos jurídicos locales aplicables.

4.8. No se deben descargar o depositar en los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, materiales o residuos considerados peligrosos, conforme a la regulación vigente en la materia.

4.9 La autoridad competente podrá fijar condiciones particulares de descarga a los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado, de manera individual o colectiva, que establezcan lo siguiente:

c) Nuevos límites máximos permisibles de descarga de contaminantes.

d) Límites máximos permisibles para parámetros adicionales no contemplados en esta Norma.

Dicha acción deberá estar justificada por medio de un estudio técnicamente sustentado presentado por la autoridad competente o por los responsables de la descarga.

4.10 Los valores de los parámetros en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal a que se refiere esta norma, se obtendrán de análisis de muestras compuestas, que resulten de la mezcla de las muestras simples, tomadas éstas en volúmenes proporcionales al caudal medido en el sitio y en el momento del muestreo, de acuerdo con la Tabla 2.

TABLA 2

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

Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples debe ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$VMSi = VMC \times \frac{Qi}{Qt}$$

Donde:

VMSi = volumen de cada una de las muestras simples "i", litros.

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

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

Qt = $\sum Qi$ hasta Qn, litros por segundo

En el caso de que en el período de operación del proceso o realización de la actividad generadora de la descarga, ésta no se presente en forma continua, el responsable de dicha descarga deberá presentar a consideración de la autoridad competente la información en la que se describa su régimen de operación y el programa de muestreo para la medición de los contaminantes.

4.12 Las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 3 de esta Norma, para el o los responsables de descargas individuales o colectivas, pueden ser modificadas por la autoridad competente, cuando:

a) El sistema de alcantarillado urbano o municipal cuente con una o varias plantas de tratamiento en operación y la o las descargas causen efectos nocivos a la misma, el responsable de la descarga queda obligado a presentar a la autoridad competente en un plazo no mayor de 180 (ciento ochenta) días a partir de la fecha de publicación de esta norma, un programa de acciones en el cual se establezca en tiempo y forma el cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana

b) La autoridad competente, previo a la publicación de esta norma, haya suscrito formalmente compromisos financieros y contractuales para construir y operar la o las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales

TABLA 3

DESCARGAS MUNICIPALES	
FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	RANGO DE POBLACIÓN
1 de enero de 1999	mayor de 50,000 habitantes
1 de enero de 2004	de 20,001 a 50,000 habitantes
1 de enero de 2009	De 2501 a 20,000 habitantes

4.11 Los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal deben cumplir los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma, en las fechas establecidas en la Tabla 3. De esta manera, el cumplimiento es gradual y progresivo, conforme al rango de población, tomando como referencia el XI Censo General de Población y Vivienda, 1990.

c) La Comisión Nacional del Agua oficialmente establezca emergencias hidroecológicas o prioridades en materia de saneamiento, y en consecuencia se modifique la fecha de cumplimiento establecida en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, referida en el punto 2 de esta norma, para su descarga correspondiente.

d) Exista previo a la publicación de esta norma, reglamentación estatal o municipal

que establezca fechas de cumplimiento para los responsables de las descargas a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. De tres años posteriores a la toma de muestras.

4.13 Cuando la autoridad competente determine modificar las fechas de cumplimiento, deberá notificarlo a los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, conforme a los procedimientos legales locales correspondientes.

4.14 Los responsables de las descargas tienen la obligación de realizar los análisis técnicos de las descargas de aguas residuales, con la finalidad de determinar el promedio diario o el promedio mensual, analizando los parámetros señalados en la Tabla 1 de la presente Norma Oficial Mexicana. Asimismo, deben conservar sus registros de análisis técnicos por lo menos durante

4.15 El responsable de la descarga podrá quedar exento de realizar el análisis de alguno o varios de los parámetros que se señalan en esta Norma, cuando demuestre a la autoridad competente que, por las características del proceso productivo, actividades que desarrolla o el uso que le dé al agua, no genera o concentra los contaminantes a exentar, manifestándolo ante la autoridad competente, por escrito y bajo protesta de decir verdad. La autoridad competente podrá verificar la veracidad de lo manifestado por el responsable.

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

4.16 El responsable de la descarga, en los términos que lo establezca la legislación local, queda obligado a informar a la autoridad competente, de cualquier cambio en sus procesos productivos o actividades, cuando con ello modifique la calidad o el volumen del agua residual que le fueron autorizados en el permiso de descarga correspondiente.

4.17 El responsable de la descarga de aguas residuales que, como consecuencia de implantar o haber implantado un programa de uso eficiente y/o reciclaje del agua en sus procesos productivos, concentre los contaminantes en su descarga, y en consecuencia rebase los límites máximos permisibles establecidos en la presente

Norma, deberá solicitar ante la autoridad competente se analice su caso particular, a fin de que ésta le fije condiciones particulares de descarga.

4.18 En el caso de que el agua de abastecimiento registre alguna concentración promedio diario o mensual de los parámetros referidos en el punto 4.1 de esta Norma, la suma de esta concentración al límite máximo permisible correspondiente, es el valor que el responsable de la descarga está obligado a cumplir, siempre y cuando lo demuestre y notifique por escrito a la autoridad competente.

5. MÉTODOS DE PRUEBA

Para determinar los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, se pueden aplicar los métodos de prueba referidos en las normas mexicanas señaladas en el punto 2 de esta Norma. El responsable de la descarga puede solicitar a la autoridad competente, la aprobación de métodos alternos. En caso de aprobarse, dichos métodos quedarán autorizados para otros responsables de descarga en situaciones similares

6. GRADO DE CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES.

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

7. BIBLIOGRAFÍA

7.1 APHA, AWWA, WPCF, 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. USA. (Métodos normalizados para el análisis del agua y aguas residuales. 19ª Edición. E.U.A.).

7.2 Code of Federal Regulations. Title 40. Parts 100 to 149; 400 to 424; and 425 to 629. Protection of Environment 1992 . USA. (Código de Normas Federales. Título 40. Partes 100 a 149; 400 a 424; y 425 a 629. Protección al Ambiente 1993. E.U.A.)

7.3 Ingeniería sanitaria y de aguas residuales, 1988. Gordon M. Fair, John Ch. Geyer, Limusa, México.

7.4 Industrial Water Pollution Control, 1989. 2nd Edition. USA. (Control de la

contaminación industrial del agua Eckenfelder W.W. Jr. 2ª Edition Mcgraw-Hill International Editions. E.U.A.)

7.5 Manual de Agua para Usos Industriales, 1988. Sheppard T. Powell. Ediciones Ciencia y Técnica, S.A. 1ª edición. Volúmenes 1 al 4. México.

7.6 Manual de Agua, 1989. Frank N. Kemmer, John McCallion Ed. Mcgraw-Hill. Volúmenes 1 al 3. México.

7.7 U.S.E.P.A. Development Document for Effluent Limitation Guidelines And New Source Performance Standard For The 1974 (Documento de Desarrollo de La U.S.E.P.A. para guías de límites de efluentes y estándares de evaluación de nuevas fuentes para 1974).

7.8 Water Treatment Chemicals. An Industrial Guide, 1991. (Tratamiento químico del agua. Una guía industrial) Flick, Ernest W. Noyes Publications. E.U.A.

7.9 Water Treatment Handbook, 1991. (Manual de tratamiento de agua. Degremont 6ª Edition Vol. I Y II. E.U.A.)

7.10 Wastewater Engineering Treatment. Disposal, Reuse, 1991. 3ª Edition. USA. (Ingeniería en el tratamiento de aguas residuales. Disposición y reuso. Metcalf And Eddy. Mcgraw-Hill International Editions. 3ª Edición. E.U.A.)

7.11 Estudio de Factibilidad del Saneamiento del Valle de México. Informe Final. Dic. 1995. Comisión Nacional del Agua, Departamento del Distrito Federal, Estado de Hidalgo y Estado de México.

7.12 Guía Para el Manejo, Tratamiento y Disposición de Lodos Residuales de Plantas de Tratamiento Municipales. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial. México, 1994.

7.13 Sistemas Alternativos de Tratamiento de Aguas Residuales y Lodos Producidos. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial. México, 1994.

7.14 Impact of Wastewater Reuse on Groundwater In The Mezquital Valley, Hidalgo State, Mexico. Overseas Development Administration. Phase 1, Report - February 1995.(Impacto del reuso de las aguas residuales en aguas subterráneas, en el Valle del Mezquital, Estado de Hidalgo, México. Administración para el Desarrollo Exterior. Fase 1, Informe Febrero 1995).

7.15 Evaluación de la Toxicidad de Descargas Municipales. Comisión Nacional del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Noviembre de 1993.

7.16 Proyecto de Normatividad Integral para Mejorar la Calidad del Agua en México. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995-1996.

7.17 Estudio de Disponibilidad de Agua en México en Función del Uso, Calidad y Cantidad. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995.

7.18 Cost - Effective Water Pollution Control in The Northern Border Of Mexico. Institute For Applied Environmental Economics (Tme), 1995. (Costoefectividad del Control de la Contaminación del Agua en la Frontera Norte de México. Instituto de la Economía Ambiental Aplicada-1995).

7.19 XI Censo General de Población y Vivienda. INEGI / CONAPO 1990

7.20 Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. SEDUE. México, D.F. 1989.

7.21 Catálogo Oficial de Plaguicidas Control Intersectorial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas. SARH, SEDESOL, SSA y SECOFI. México, D.F. 1994.

7.22 Indicadores Socioeconómicos e Índice de Marginación Municipal 1990. CONAPO/CNA

7.23 Bases para el Manejo Integral de la Cantidad y Calidad del Agua en México. Instituto de Ingeniería, UNAM. 1995.

7.24 Administración de las Aguas Residuales en Zonas Urbanas Costeras. Reporte 1993. EUA. Comité Sobre el Manejo de las Aguas Residuales en Zonas Urbanas Costeras. Consejo de Ciencia y Tecnología sobre Agua. Comisión de Sistemas Técnicos e Ingeniería. Consejo Nacional de Investigación.

7.25 NMX - AA - 087 - 1995 - SCFI. Análisis de Agua.- Evaluación de Toxicidad Aguda con Daphnia Magna Straus (Crustacea-Cladocera).- Método de Prueba).

7.26 NMX - AA - 110 - 1995 - SCFI. Análisis de Agua.- Evaluación de Toxicidad aguda con Artemia Franciscana Kellogs (Crustacea-Anostraca).- Método de Prueba.

7.27 NMX - AA - 112 - 1995 - SCFI . Análisis de Agua y Sedimento.- Evaluación de Toxicidad aguda con Photobacterium Phosphoreum.- Método de Prueba.

7.28 Operation of Wastewater Treatment Plants.-Manual of Practice No. 11.- Second

Printing 1985. Water Pollution Control Federation. Washington. D.C. (Operación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.- Manual de Prácticas No. 11.- Segunda Edición 1985). Federación del Control de la Contaminación del Agua).

8. OBSERVANCIA DE ESTA NORMA

8.1. La vigilancia del cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana corresponde a los Gobiernos Estatales, Municipales y del Distrito Federal, en el ámbito de sus respectivas competencias, cuyo personal realizará los trabajos de verificación, inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

8.2. La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación. La presente Norma Oficial Mexicana aboga a su similar NOM-CCA-031-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de octubre de 1993.

TRANSITORIOS

PRIMERO.- A partir de la fecha de entrada en vigor de esta Norma Oficial Mexicana NOM- 002-ECOL-1996, el responsable de la descarga a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal que cuente con planta de tratamiento de aguas residuales está obligado a operar y mantener dicha infraestructura de saneamiento, cuando su descarga no cumpla con los límites máximos permisibles de esta Norma. En el caso de que la calidad de la descarga que se obtenga con dicha infraestructura no cumpla con los límites máximos permisibles de esta norma, el responsable de la descarga debe presentar a la autoridad competente su programa de acciones u obras a realizar para cumplir en las fechas establecidas en el punto 4.11 de esta Norma, según le corresponda.

SEGUNDO.- Las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 3 de esta Norma Oficial Mexicana, no serán aplicables,

cuando se trate de instalaciones nuevas o de incrementos en la capacidad o ampliación de las instalaciones existentes en fecha posterior a la entrada en vigor del presente instrumento, el responsable de la descarga deberá cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana, en un período no mayor de 180 (ciento ochenta) días naturales posteriores al inicio de la actividad u operación del proceso generador, debiendo notificar a la autoridad competente dicha fecha.

TERCERO.- En tanto se alcanzan las fechas de cumplimiento establecidos en la Tabla 3 y en el caso de que las descargas a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal contengan concentraciones de contaminantes superiores a los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana, el responsable de la descarga no podrá descargar concentraciones de contaminantes mayores a las que descargó durante los últimos tres años, de acuerdo con sus registros y los informes presentados ante la autoridad competente.

México., Distrito Federal, a los seis días del mes de abril de mil novecientos noventa y ocho.

**LA SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE,
RECURSOS NATURALES Y PESCA
JULIA CARABIAS LILLO**