

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**



FACULTAD DE QUIMICA

**ESTUDIOS DE CARACTERIZACION DE LAS
AGUAS RESIDUALES**

**TRABAJO ESCRITO VIA CURSOS
DE EDUCACION CONTINUA
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
JORGE GONZALEZ FLORES**



MEXICO, D. F.



**EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA**

2002



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

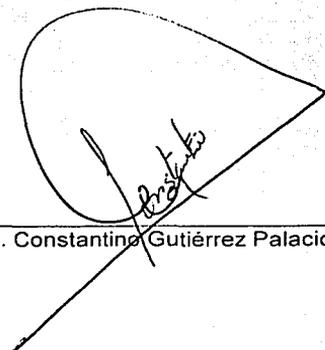
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición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

Jurado asignado:

Presidente Dra. Elvira Santos Santos
Vocal I. Q. Margarita Rosa Garfias Vázquez
Secretario M. en C. Constantino Gutiérrez Palacios
1er sup. Dr. Alfonso Durán Moreno
2do sup. Dra. Sara Elvia Meza Galindo

Sitio donde se desarrolló el tema: U.N.A.M.: C.U. Facultad de Química,
Edificio D, Educación Continua, Coordinación
de Extensión Académica

Asesor del tema:



M. en C. Constantino Gutiérrez Palacios

Sustentante:

Jorge González F.
Jorge González Flores

Doy gracias a Dios por brindarme oportunidades en la vida

Dedico sinceramente este trabajo a:

Mis padres Hortensia Flores y Juan González de quienes siempre he recibido apoyo, amor y comprensión.

Mis hermanos Juan Carlos y Alejandro, por la unión entre nosotros y su trato leal y franco.

Mis abuelos Aída Venancio y Efrén Flores, que han sido afectuosos, nobles y gentiles conmigo.

A la memoria de mis abuelos Trinidad Sabino y Porfirio González.

Mis tíos Angel Flores, Marina Flores, Benjamín Flores, Pablo Flores, Alberta González, Genaro Castañeda, Ana Juárez y Leticia de la Rosa; personas amables, cordiales y desinteresadas.

Mis primos, fuente de inspiración presente y futura.

Mi novia Silvina Bravo, por su cariño, confianza y fortaleza.

Las amistades que da la vida, por compartir intereses, triunfos y tristezas. Mención especial para los amigos de la Facultad de Química: Enrique Tirado, Perfecto García, David Contreras, Javier Esquivel, Nicandro Páez, Saúl Galicia, Federico Miñón y a la asociación de exalumnos autodenominada "Truchos".

Me siento en deuda con la Universidad y su comunidad por su labor de formación, y espero no decepcionar su espíritu

Un especial reconocimiento al M. en C. Constantino Gutiérrez Palacios por su valiosa ayuda como asesor.

ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
2. DEFINICIONES BÁSICAS	2
3. MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES	3
4. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS	6
5. CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS	14
6. ENTIDAD MEXICANA DE ACREDITAMIENTO A.C. (EMA)	15
7. CONCLUSIONES	19
8. BIBLIOGRAFÍA	20

ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua es el compuesto más abundante sobre la superficie de la tierra, y sin ella la vida como la conocemos no existiría. Dependiendo de la fuente, el agua se haya en la naturaleza en forma de solución acuosa y/o como un sistema disperso de variados compuestos orgánicos e inorgánicos en diferentes proporciones. De la cantidad total que hay en la hidrósfera el 97.13% está presente en los océanos, 2.24% en los casquetes polares y glaciales, 0.61% en forma de agua subterránea, y tan solo 0.02% en ríos, lagos y corrientes. ^[9]

La fuente de abastecimiento de agua determina su calidad, y de acuerdo al uso que se le dé, es posible usarla directamente o bien acondicionarla para que tenga las propiedades o características deseables para aprovecharla. (Mediante pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario si es requerido.)

Una vez que alguna comunidad ha empleado agua, le habrá modificado a esta última sus características físicas, químicas y bacteriológicas al agregarle compuestos diferentes a los de su composición original. Además se estima que el 70% del agua que se alimenta a la comunidad debe removerse mediante descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, ^[3] y aun cuando las fuentes acuíferas pueden asimilar cierta cantidad de desechos, al crecer la población y la actividad industrial, sus efectos terminan por contaminar la fuente al ser inaceptable para ser usada.

Para preservar la calidad del agua es necesario evacuar aguas residuales adecuadamente tratadas a las corrientes receptoras. Y para tener un buen control de la calidad del agua es necesario conocer las propiedades físicas, químicas y biológicas, y de esta manera saber si son susceptibles de cambio y cómo se habrán de tratar. Es necesario por tanto caracterizar las aguas residuales.

2. DEFINICIONES BÁSICAS

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. ^[6]

Muestreo: Las actividades desarrolladas para obtener volúmenes de agua en un sitio determinado del sistema de abastecimiento, de tal manera que sean representativos, con el propósito de evaluar características físicas, químicas y biológicas. ^[2]

Parámetro: Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad física, química y biológica del agua. ^[6]

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. De acuerdo a NOM-001-ECOL-1996 se consideran: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total, temperatura y pH. ^[6]

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. De acuerdo a NOM-001-ECOL-1996 se consideran: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuros. ^[6]

Estudios de caracterización: Estudios encaminados a determinar algunas características físicas, químicas y biológicas del agua y las concentraciones de sus constituyentes. Con estos estudios se establece el método mas adecuado para reducir la concentración de contaminantes. ^[4]

Métodos estándar: procedimientos normalizados que suponen que el usuario tiene algún conocimiento previo de la metodología analítica y por ende proporciona un esbozo general de los pasos a seguir para obtener información acerca de la composición de las sustancias. ^[1]

3. MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES

El objetivo del muestreo es recolectar una porción de agua residual, pequeña en volumen, para ser transportada y manipulada en el laboratorio mientras aun es una muestra representativa. Esto implica que las concentraciones de todos los compuestos de interés serán las mismas en la muestra como en la fuente que esta siendo muestreada, y que esta será manejada de tal modo que no ocurran cambios significativos en la composición antes de que se realicen las pruebas. ^[1] Se debe evitar que la muestra sea contaminada; ya que la estabilidad de cada constituyente no puede ser lograda, retardar en la medida de lo posible los cambios físicos, químicos y biológicos que inevitablemente ocurren después de la recolección de las muestras.

Los datos obtenidos del análisis de las aguas residuales pueden servir como bases para diseñar su tratamiento. Los procedimientos deben ser ajustados para cada situación de muestreo, y a veces se necesitan programas especiales cuando las muestras varían considerablemente en composición. También debe seleccionarse el sitio para efectuar el muestreo, la frecuencia y el tipo de muestra a ser determinada. ^[4]

Localizaciones de los sitios de muestreo. El examinar drenajes, obras de captación, de conducción y cuerpos receptores de agua residual es la base fundamental para comenzar la caracterización, se debe determinar los sitios donde fluya una mezcla homogénea, en tubos de drenaje a un tercio de la profundidad del agua desde el fondo, en cámaras anchas deben ser tomadas a través del canal. Además, se debe prevenir una excesiva turbulencia que pueda liberar gases disueltos y evitar depósitos sólidos durante la recolección. ^[4]

Mediciones de caudal: Una vez que se han definido los puntos donde se llevaran a cabo los muestreos, es conveniente también medir los flujos de las aguas residuales. Se pueden instalar canales Parshall en canales abiertos o alcantarillados parcialmente llenos, se pueden llenar recipientes cuando son gastos pequeños o cuando estos son intermitentes, o bien calcular el gasto mediante las características de las bombas. El flujo puede estimarse mediante métodos indirectos que involucran velocidades superficiales, tiros parabólicos de sus chorros y cronometrando los cambios de nivel en tanques que se utilicen en las operaciones de descarga. ^[3]

Muestras simples: Permiten conocer las características del agua residual en el momento en que la muestra es tomada, este tipo de muestras son usadas cuando el caudal y la composición permanecen relativamente constantes, cuando el flujo es intermitente, o cuando ciertas condiciones específicas (como pH y temperatura) pueden ocultarse en el uso de muestras compuestas. El volumen mínimo de una muestra simple oscila entre 1 y 2 L.^[3]

Muestras compuestas: Se toma un volumen proporcional al flujo de agua al momento de la muestra, y al hacer las mezclas de varios de estos volúmenes tomados en diferentes intervalos se forma una muestra compuesta. La frecuencia del muestreo depende de la variación en carga contaminante y de la variación de caudal. Cada muestra individual debe ser de 25 a 100 mL y un volumen compuesto de 2 a 4 L.^[3] Debido a la inestabilidad de ciertas propiedades y compuestos presentes en las aguas residuales, no se recomienda cuando se requieren valores cuantitativos.^[1]

Intervalos de muestreo: El gasto de agua residual puede variar a lo largo del día e incluso de acuerdo a la temporada del año; por lo que se requiere hacer varios muestreos para considerar estos cambios de flujo. Y aun cuando no varíe mucho el caudal, puede haber cambios de composición. Para hacer lo suficientemente representativo el muestreo conviene establecer cierta frecuencia de muestreo a intervalos uniformes y así permitir la estimación de concentraciones promedio.^[4]

Equipo de muestreo: El muestreo debe llevarse a cabo con equipo apropiado que preserve y contenga la muestra, además se debe considerar el material más conveniente para el recipiente, así como su capacidad. Por último, es importante llevar un registro para identificar la muestra.^{[2] [4]}

Preservación de la muestra: Un programa de muestreo debe asegurar dentro de lo posible el que las muestras conserven la integridad de las características físicas, químicas y biológicas desde su recolección y hasta su análisis. No hay métodos o reglas infalibles contra el deterioro en todo tipo de muestras, por lo que los análisis puntuales aseguran mejores resultados. Aun así hay métodos que requieren tiempo entre la recolección y el análisis de aguas, por lo que se requiere tomar las previsiones adecuadas para preservarlas.^{[2] [4]} Para minimizar efectos indeseables se puede mantener a las muestras frías y en la oscuridad, sin congelar, a 4 °C; y usar químicos preservativos que no interfieran con el análisis del parámetro requerido.

Análisis estadístico de las muestras: Las descargas de aguas residuales pueden variar tanto en flujo como en composición, y deben ser interpretadas por análisis estadísticos para reducir en la medida de lo posible el error aleatorio asociado a cada determinación. Así al analizar de esta manera las características del agua residual se generan las bases de diseño para su tratamiento. [3]

Tabla 1: Ejemplo de algunos requerimientos de muestreo. [1]

Determinación	Material del contenedor	Tamaño mínimo de muestra [mL]	Tipo de muestra	Método de preservación de muestra	Periodo recomendado para el almacenamiento
Arsénico	Plástico/Vidrio	200	Simple	Refrigeración	14 d
DBO	Plástico/Vidrio	1000	Simple	Refrigeración	48 h
Cianuro	Plástico/Vidrio	500	Simple, compuesta	Agregar NaOH para pH>12, refrigerar en la oscuridad	24 h
Cromo	Plástico/Vidrio enjuagado con HNO ₃	300	Simple	Refrigeración	24 h
Mercurio	Plástico/Vidrio enjuagado con HNO ₃	500	Simple, compuesta	Adicionar HNO ₃ para pH<2, Refrigerar a 4°C	28 d
Nitrógeno	Plástico/Vidrio	500	Simple, compuesta	Adicionar H ₂ SO ₄ para pH<2	48 h
Grasas y aceites	Vidrio calibrado de boca ancha	1000	Simple, compuesta	Adicionar HCl para pH<2	28 d
pH	Plástico/Vidrio	50	Simple	Analizar inmediatamente	2 h
Fosfatos	Vidrio enjuagado con HNO ₃	100	Simple	Refrigeración	48 h
Sólidos	Plástico/Vidrio	200	Simple, compuesta	Refrigerar	7 d
Temperatura	Plástico/Vidrio	--	Simple	Analizar inmediatamente	Instantáneo

4. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS

Los contaminantes en el agua son una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos. No resulta práctico ni posible obtener un análisis exhaustivo de la mayor parte de las aguas residuales. Se han desarrollado una serie de métodos para evaluar mediante parámetros la concentración de ciertos contaminantes, y su aplicación no requiere un conocimiento riguroso de la composición química específica de la muestra de agua considerada. ^[3]

Estos parámetros están interrelacionados con otro tipo de contaminantes; por ejemplo, la temperatura y las propiedades físicas que afectan la actividad biológica y la cantidad de gases disueltos en el agua. ^[3]

Las Normas Oficiales Mexicanas referidas al agua residual, hacen mención de solo algunos parámetros y sus límites permisibles. ^{[6] [7] [8]} Los métodos para determinación de parámetros y contaminantes específicos pueden encontrarse en la literatura. ^[1]

El alcance de este trabajo contempla la determinación de parámetros de acuerdo a la normatividad ambiental mexicana para aguas residuales; pero para una correcta caracterización de las aguas residuales con el fin de generar las bases para el diseño de tratamientos, es deseable realizar otras determinaciones.

Tabla 2: Parámetros contemplados por la normatividad para aguas residuales. ^{[6] [7] [8]}

Contaminantes básicos	Metales pesados y cianuros	Contaminantes patógenos y parasitarios
Temperatura	Arsénico	Coliformes fecales
Grasas y aceites	Cadmio	Huevos de helminto
Materia flotante	Cianuro	
Sólidos sedimentables	Cobre	
Sólidos suspendidos totales	Cromo	
Demanda bioquímica de oxígeno	Mercurio	
Nitrógeno total	Níquel	
Fósforo total	Plomo	
pH	Zinc	

4.1 Contaminantes básicos ^{[1] [4] [6] [7] [8]}

Temperatura

Las aguas residuales pueden estar calientes debido a su uso doméstico e industrial. Esta agua puede ocasionar un impacto ecológico significativo, ya que la temperatura es importante por el efecto que tiene sobre las reacciones químicas, la vida acuática, la solubilidad del oxígeno en agua, la actividad bacteriana, etc. Las lecturas de temperatura se requieren además en operaciones de laboratorio en general.

Muestreo: se realiza en el sitio.

Aparatos: Un termómetro de bulbo de mercurio.

Procedimiento: Tomar la lectura de temperatura directamente del cuerpo o corriente de agua residual.

Grasas y aceites

Las grasas y aceites son componentes abundantes en los alimentos, en lubricantes y en aceites minerales. Son compuestos (ésteres) de alcohol o de glicerol con ácidos grasos. Los glicéridos de ácidos grasos que son líquidos a temperatura ambiente son llamados aceites, y aquellos que son sólidos se denominan grasas. Las grasas son considerablemente estables y difíciles de descomponer por bacterias; por lo que además de flotar y generar películas, interfieren con la vida biológica. El contenido de grasa se determina por la extracción de una muestra simple con triclorotrifluoroetano.

Muestreo: Las muestras deben tomarse en el punto donde haya una fuerte turbulencia y evitar que la materia flotante quede atrapada en la superficie, después llenar el tubo flotable de aceite sumergiéndolo en el agua.

Aparatos: Tubo flotable de aceite, Frasco cónico.

Procedimiento: Se coloca el tubo en posición vertical, y reposar durante 30 min. Para separar grasas y aceites por flotación, acidificar a pH menor a 2 con HCl 6N, adicionar triclorofluoroetano, agitar y realizar una extracción, posteriormente evaporar el solvente y determinar el peso del residuo.

Materia flotante

Se acumula en la superficie del agua, es muy visible y puede obstruir el flujo del agua residual.

Muestreo: Se realiza en el sitio de descarga de aguas residuales.

Aparatos: Malla específica según norma NMX-AA-001.

Procedimiento: Es un método visual, un tanto cualitativo. Puede realizarse la prueba puntual con el uso de la malla como medio filtrante.

Sólidos sedimentables

Materia que se sedimenta de una suspensión en un tiempo definido.

Muestreo: Usar recipientes resistentes y asegurar que el material en suspensión no se adhiera a las paredes, la muestra debe refrigerarse a 4 °C para evitar descomposición microbiológica, no se recomienda retener muestras por mas de 24 h.

Aparatos: Cono Imhoff, recipiente de vidrio.

Procedimiento: Prueba volumétrica que consiste en llenar un cono Imhoff a 1 L y permitir reposar por 1 h; el volumen sedimentado se lee directamente en el fondo del cono.

Sólidos suspendidos totales

Una porción de los sólidos totales retenida por un filtro de mas de 2 μm de tamaño de poro nominal, determinada bajo condiciones específicas.

Muestreo: Se realiza igual que para sólidos sedimentables.

Aparatos: Platos de aluminio, estufa, desecadora, balanza, agitador, pipeta, discos de fibra de vidrio, aparatos de filtración, membranas y frascos de succión.

Procedimiento: Una mezcla bien agitada es filtrada a través de un filtro de fibra de vidrio de peso conocido, el residuo retenido en el filtro es secado a un peso constante a una temperatura de entre 103 a 105 °C. El incremento en peso del filtro representa los sólidos suspendidos totales.

Demanda bioquímica del oxígeno

Es el parámetro más ampliamente usado de contaminación orgánica, su determinación involucra la medición del oxígeno disuelto usado por microorganismos en la oxidación bioquímica de materia orgánica, es denominada demanda bioquímica de oxígeno de 5 días (DBO_5) por tener un periodo de incubación a 20 °C durante 5 días.

Muestreo: Las muestras pueden degradarse desde el momento de la recolección, refrigerar la muestra a 4 °C y no usar algún tipo de agente preservativo. Calentar las muestras a 20 °C antes del análisis.

Aparatos: Botellas de incubación, baño de agua o incubador de aire.

Procedimiento: El método consiste en llenar con la muestra una botella de tamaño específico e incubarla a una temperatura específica durante 5 días. El oxígeno disuelto es medido al inicio y después de la incubación; y el DBO es registrado como la diferencia entre la demanda de oxígeno inicial y la final.

Nitrógeno total

El nitrógeno es un nutriente o bioestimulante para plantas y animales. Es esencial para la síntesis de proteínas. El nitrógeno total está compuesto de nitrógeno orgánico, amoniacal, nitritos y nitratos. Se determina por el método de Kjeldahl.

Muestreo: Los mejores resultados se obtienen de muestras frescas y de un análisis lo más rápido posible; de lo contrario, preservarlas acidificando a un pH entre 1.5 y 2.0 con H_2SO_4 , y almacenar a 4 °C.

Aparatos: Para la digestión, destilación y determinación de amoníaco.

Procedimiento: Con la presencia de H_2SO_4 , K_2SO_4 y $CuSO_4$ como catalizador, el nitrógeno presente en muchos materiales orgánicos y el amoníaco libre se convierten en amonio; después de la adición de una base, el amoníaco es destilado desde un medio alcalino y es absorbido en ácido sulfúrico o bórico. El amoníaco puede ser determinado por un método colorimétrico, mediante un electrodo selectivo de amoníaco, o por titulación con un ácido mineral estándar.

Fósforo total

Es esencial para el crecimiento de algas y organismos biológicos; y se debe controlar la cantidad de compuestos de fósforo antes de liberar aguas residuales a cuerpos de agua. Las formas comunes del fósforo en las aguas residuales son: Ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico.

Muestreo: Si las formas de fósforo disuelto van a ser diferenciadas, hay que filtrar la muestra después de la recolección. Preservarla congelando por debajo de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y adicionar HgCl_2 cuando se almacenen por largos periodos.

Aparatos: Autoclave, rack de digestión, frascos de micro-Kjeldahl, equipo colorimétrico, espectrofotómetro, etc.

Procedimiento: Se convierte el fósforo que se ha de determinar a ortofosfato disuelto (mediante digestión), y se determina por un método colorimétrico el ortofosfato disuelto.

pH

Es una prueba frecuentemente usada y una de las mas importantes. Prácticamente todas las fases del suministro de agua y del tratamiento de las aguas residuales son dependientes del pH; también el pH es usado en muchos equilibrios ácido-base. El principio básico de la medición electrométrica de pH es la determinación de la actividad del ion hidrógeno mediante una medición potenciométrica.

Muestreo: Tomar una muestra fresca para medir el pH.

Aparatos: pH-metro: potenciómetro, electrodo de vidrio, electrodo de referencia, dispositivo compensador de la temperatura.

Procedimiento: Establecer el equilibrio entre los electrodos agitando la muestra para asegurar homogeneidad, y leer el pH. Siempre se ha de reportar la temperatura a la cual el pH es medido.

4.2 Metales pesados y cianuros ^{[1] [4] [6]}

Metales pesados

La mayoría de las aguas contiene trazas de metales pesados. Muchos de estos metales son considerados como contaminantes prioritarios, y algunos de estos son necesarios para el crecimiento de la vida biológica, debido a que su escasez o presencia excesiva puede limitar el crecimiento o bien representar toxicidad.

Muestreo: Se deben usar contenedores de un material que no afecte la muestra, a veces se requieren algún tipo de filtrado dependiendo del tipo de digestión requerida. Las muestras se deben preservar acidificándolas y almacenándolas a 4 °C para prevenir el cambio en volumen debido a la evaporación.

Aparatos: Espectrofotómetros, equipo fotométrico en general, celdas, etc.

Procedimiento: Los métodos usados para determinar metales pueden ser por absorción atómica (incluyendo métodos por flama y electroquímicos) o por métodos colorimétricos. Es necesario eliminar interferencias (sobre todo en el método colorimétrico), y darle un pretratamiento a las muestras dependiendo del tipo de análisis.

Arsénico El arsénico presente en aguas residuales es muy venenoso, y sus compuestos son carcinogénicos. Está presente en forma de arsenitos, arsenatos y arsénico orgánicos e inorgánicos; la forma depende de la fuente.

Cadmio Es altamente tóxico y ha sido implicado en envenenamiento por ingestión, afecta los riñones y ocasiona cánceres generalizados.

Cobre Las sales de cobre se usan en los suministros de agua para controlar crecimientos biológicos, y para catalizar la oxidación de manganeso. La corrosión de los contenedores de cobre puede generar cantidades considerables de este metal en las aguas.

Cromo Las sales de cromo son usadas en la industria de proceso, y los compuestos de cromo se adicionan frecuentemente al agua de enfriamiento para evitar la corrosión en los equipos industriales.

Mercurio Las sales orgánicas e inorgánicas de mercurio son muy tóxicas; por lo que su presencia en el agua debe ser monitoreada.

Plomo Es un veneno que se acumula peligrosamente en el cuerpo, puede provenir de la industria, minería, e incluso de tuberías y soldaduras.

Zinc El zinc es esencial y benéfico para el crecimiento humano, pueden causar un gusto un poco astringente y apariencia opaca en el agua. Se agrega al agua al deteriorarse las tuberías y almacenes galvanizados; también es un producto de desecho de algunas industrias.

Cianuro

El cianuro se refiere a los compuestos del ion CN^- , unidos a un álcali o a un metal y pueden ser simples o compuestos. Es muy conocida la gran toxicidad a la vida acuática por el ácido cianhídrico (HCN), la toxicidad del CN^- es un poco menor a la de HCN.

Muestreo: Agregar NaOH para $pH > 12$, y refrigerar en la oscuridad, tomar las muestras de 500 mL. Es necesario hacer un tratamiento preliminar para eliminar sustancias que interfieran, generalmente mediante la destilación. Las sustancias que interfieren en la determinación pueden ser ácidos grasos, sulfitos y agentes oxidantes.

Aparatos: Frascos para ebullición, absorbedores de gas, calentadores; colorímetros; espectrofotómetros; electrodos selectivos del ion Cianuro; dependiendo del método elegido.

Procedimiento: Los métodos para determinar cianuro son: Cianuro total después de la destilación, cianuro para cloración, cloruro cianogénico, prueba de punto para muestra en pantalla, cianato y tiocianato.

4.3 Contaminantes patógenos y parasitarios ^{[1] [4] [6] [9]}

Coliformes fecales

Es un indicador de contaminación fecal. El grupo de bacterias de coliformes fecales fue establecido basado en la habilidad de producir gas (o colonias) a una temperatura de incubación elevada (44.5 °C por 24 h). Se emplea la técnica de fermentación en multitubo.

Muestreo: Transportar las muestras en hieleras con bolsas refrigerantes, y procesarlas lo antes posible.

Aparatos: Tubos, baño de agua.

Procedimiento: La técnica de fermentación en multitubos esta basada en el principio de dilución a la extinción. Se realizan una serie de diluciones y se transfiere 1 mL de muestra de cada una de las diluciones de la serie a cada una de los cinco tubos de fermentación que contienen un medio de cultivo lactoso y un tubo invertido colector de gas. Los tubos inoculados se incuban en un baño de agua a 35 °C por 24 h, El resultado de cada dilución se reporta como fracción. Se estima la densidad de coliformes y se reporta como el numero más probable de coliformes presentes en 100 mL.

Huevos de helminto

Organismo patogénico encontrado en las aguas residuales. Termino designado a un amplio grupo de organismos que incluye gusanos parásitos y de vida libre, en formas y tamaños variados. Se emplea un método difásico en combinación con un método de flotación.

Muestreo: Se transportan las muestras en hieleras con bolsas refrigerantes, y debe procesarse lo antes posible; si no es posible refrigerar usar una solución de formaldehído para preservar la muestra.

Reactivos: Sulfato de zinc, ácido sulfúrico, éter, etanol, agua destilada, formaldehído.

Aparatos: Centrifuga, bomba de vacío, microscopio óptico, agitadores, parrilla, hidrómetro.

Procedimiento: Desinfectar los recipientes; concentrar, centrifugar y sedimentar la muestra en varias ocasiones; distribuir el sedimento en una celda para conteo y realizar un barrido al microscopio.

5. CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS

Con la aplicación de los estudios de caracterización, podemos comprender la naturaleza del agua residual; y así diseñar y operar los procesos para su recolección, tratamiento y disposición para lograr cumplir la normatividad ambiental vigente.

Para saber si la concentración de contaminantes en cualquiera de los parámetros básicos, metales pesados, cianuros, patógenos y parásitos rebasa los límites máximos permisibles señalados en las Normas Oficiales Mexicanas para aguas residuales, es indispensable su caracterización mediante muestreos y análisis de las descargas. La Comisión Nacional del Agua es el organismo responsable de verificar el cumplimiento de esta normatividad; y de no cumplirse se somete el responsable de las descargas a las sanciones en los términos de la Ley de Aguas Nacionales, del Reglamento de Aguas Nacionales, y de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Entonces el responsable de las descargas está obligado por la ley a cumplir con un límite máximo de contaminantes, y de no ser así debe implementar y operar una infraestructura de saneamiento (planta de tratamiento de aguas residuales).

Al decidir adquirir una planta de tratamiento se debe tener la certidumbre de necesitarla, ya que puede representar una importante inversión económica. Mediante la caracterización del agua residual y la normatividad ambiental se determinan los contaminantes en exceso. Es probable que se detecte la fuente generadora de contaminación y que solo se requiera adecuar, por ejemplo, parte de los procesos operativos de una industria dada. El conocer la composición del agua residual sirve también de criterio para determinar el tipo y operación del tratamiento. Una vez efectuado el tratamiento, se ha de verificar si el valor de los parámetros cumple los requerimientos ambientales; y de no ser así, el tratamiento deberá modificarse.

Si los procedimientos para la caracterización de aguas residuales no se realizan cuidadosamente, podríamos estar violando la normatividad ambiental y creer que la estamos cumpliendo, o bien, estar aplicando un tratamiento inadecuadamente. Por lo tanto, durante la recolección y análisis de muestras deben seguirse una serie de principios operativos que produzcan datos de calidad probada, con la finalidad de que la exactitud del resultado analítico puede ser establecido con un alto nivel de confianza. Para garantizar resultados creíbles es deseable el acreditamiento de un organismo competente, como la Entidad Mexicana de Acreditamiento.

6. ENTIDAD MEXICANA DE ACREDITAMIENTO A.C. (EMA)

Para asegurar que los laboratorios son capaces y confiables, estos deben cumplir los requerimientos que demuestran la operación de un sistema de calidad, que son técnicamente competentes y capaces de generar informes técnicamente válidos, apegados a las normas, guías y directrices nacionales e internacionales y al marco legal mexicano vigentes.

La ENTIDAD MEXICANA DE ACREDITACIÓN, Es la primera entidad de gestión privada en nuestro país, que tiene como objetivo acreditar a los organismos de la evaluación de la conformidad (laboratorios de prueba, laboratorios de calibración, organismos de certificación y unidades de verificación). Los agentes de la evaluación de la conformidad acreditados que ostentan la marca EMA garantizan la confiabilidad de sus servicios, ratificando que sus procedimientos se apegan estrictamente a las normas nacionales e internacionales vigentes; que su sistema de la calidad y administración ha sido escrupulosamente evaluado y comprobado por expertos nacionales a través de una entidad de tercera parte e imparcial, que realiza su labor objetiva y transparentemente anteponiendo la capacidad técnica. Y que han sido acreditados por una entidad con presencia internacional y autorizada por la Secretaría de Economía y con el visto bueno de las dependencias federales que emiten regulaciones en el país.

A continuación se incluye la lista general de laboratorios de prueba acreditados y aprobados al 31 de agosto de 2001, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de octubre de 2001.

Tabla 3: Laboratorio de prueba acreditados y aprobados por la E.M.A. en la Rama Agua, que cumplen con la NOM-001-ECOL-1996 ⁽¹¹⁾

Datos generales	Campo de aplicación
Laboratorio Fermi, S.A. de C.V. México, D.F.	<ul style="list-style-type: none"> • Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales
Laboratorio Químico Industrial y Agrícola, S.A. de C.V. Irapuato, Guanajuato.	<ul style="list-style-type: none"> • Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales
Investigación y Desarrollo de Estudios de Calidad de Agua, S.A. de C.V. México, D.F.	<ul style="list-style-type: none"> • Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales • Huevos de helminto • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales • Análisis microbiológicos
Atlatic, S.A. de C.V. Monterrey, Nuevo León.	<ul style="list-style-type: none"> • Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales • Huevos de helminto • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales • Análisis microbiológicos • Residuos peligrosos • Pesticidas • Herbicidas • Bifenilos policlorados • TPH's • Orgánicos volátiles y semivolátiles • Mediciones de flujo
Instituto de Estudios Superiores de Tamaulipas, A.C. Laboratorio CITSA, Altamira, Tamaulipas.	<ul style="list-style-type: none"> • Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales
Protección Ambiental y Ecología, S.A. de C.V. México, D.F.	<ul style="list-style-type: none"> • Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales
Welfare Ecología Industrial, S.A. de C.V. Puebla, Puebla.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos
Centro de Investigación y Asesoría Tecnológica en Cuero y Calzado, A.C. León, Guanajuato.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales
Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales

Laboratorio Tecno Ambiental, S.A. de C.V. México, D.F.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales • Análisis microbiológicos
Ingeniería de Control Ambiental y Saneamiento, S.A. de C.V. (ICAYS), Puebla, Puebla.	<ul style="list-style-type: none"> • Emisión de fuentes fijas • Aguas residuales • Huevos de helminto • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales • Análisis microbiológicos
Comisión Nacional del Agua. Laboratorio Nacional de Referencia. México, D.F.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales
Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Químicas, Laboratorio de Servicios Profesionales. San Nicolás de los Garza, Nuevo León.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales • Análisis microbiológicos
Laboratorio Latier, S.A. de C.V. Tepeji del Rio, Hidalgo.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales • Análisis microbiológicos
Grupo Ecotec, S.A. de C.V. Zapopan, Jalisco.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Huevos de helminto • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales • Análisis microbiológicos
Complejo Procesador de Gas Ciudad Pemex. Laboratorio de Ecología de Aguas Residuales. Macuspana, Tabasco.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos
Complejo Procesador de Gas Poza Rica. Laboratorio de Aguas Residuales. Poza Rica, Veracruz.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos
Quantum, Laboratorio y Suministros Industriales, S.A. de C.V. Tampico, Tamaulipas.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales • Análisis microbiológicos
Equipos y Productos Químicos del Noreste, S.A. de C.V. Los Mochis, Sinaloa.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales • Análisis microbiológicos
Análítica del Noroeste, S.A. de C.V. Hermosillo, Sonora.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Muestreo. • Análisis fisicoquímicos. • Análisis instrumentales. • Análisis microbiológicos.
Manuel Armando Comas Bolio, Mérida, Yucatán.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales. • Muestreo • Análisis fisicoquímicos
Comisión Nacional del Agua, Laboratorio Regional Balsas. Cuernavaca, Morelos.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Huevos de helminto • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales • Análisis microbiológicos

María Elena Vázquez Vázquez, Laboratorio Ecológico Industrial (LABEC). San Luis	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales • Análisis microbiológicos
Eccavic, S.A. de C.V. Jiutepec, Morelos.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales • Análisis microbiológicos
Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, S.A. de C.V. Monterrey, Nuevo León.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales • Análisis microbiológicos • Huevos de helminto
Laboratorio de Química del Medio e Industrial, S.A. de C.V. (LAQMISA). México, D.F.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales • Análisis microbiológicos • Huevos de helminto
Evaluación y Análisis Ambiental, S.A. de C.V. Tlalnepanitla, Estado de México.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales • Análisis microbiológicos • Huevos de helminto
Sergio Arturo Cabrera Mireles. Monterrey, Nuevo León.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales • Análisis microbiológicos
Análisis del Agua, S.A. de C.V. Zapopan, Jalisco.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis microbiológicos
Labser, S.A. Toluca, Estado de México.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales • Análisis microbiológicos
Concentrados Industriales, S.A. de C.V. San Luis Potosí, San Luis Potosí.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales • Análisis microbiológicos • Huevos de helminto • Trihalometanos
Laboratorios de Análisis y Control de Calidad para la Industria de Alimentos, S.A. de C.V. Puebla, Puebla.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis microbiológicos
Martha Elena Izaguirre Villanueva. INDEX-LAB. Tampico, Tamaulipas.	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Muestreo • Análisis fisicoquímicos • Análisis instrumentales • Análisis microbiológicos

7. CONCLUSIONES

Toda comunidad produce aguas residuales. Si bien la sociedad explota las propiedades del agua, es necesario que la preserve y restituya; y para un adecuado control de la calidad del agua se requiere información sobre la naturaleza de las aguas residuales mediante su caracterización.

Del adecuado manejo de muestras depende el resultado de los análisis de laboratorio. Los laboratorios de ensayo realizan su actividad a través de la prueba de una muestra representativa y emiten un informe de resultados, mediante su acreditación, se garantiza el ejecutar las regulaciones y estándares correspondientes para que se comprueben, verifiquen y certifiquen los resultados. De esta forma queda demostrada la confiabilidad y competencia de los resultados.

Si la muestra es representativa de las aguas residuales y se han seguido los métodos de análisis validados, tendremos una caracterización correcta que nos permitirá implementar el tratamiento para cumplir el límite permisible en los parámetros que dicta la normatividad ambiental.

El agua es un recurso limitado y el manejo de las aguas residuales cobra mayor importancia en nuestra población cada vez mas demandante, se necesita entonces aplicar tecnología en su tratamiento y una sociedad bien disciplinada en su uso.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. American Public Health Association, STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 19th Ed, USA, 1995.
2. Dirección General de Salud Ambiental, NOM-014-SSA1-1993, Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en los sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados, **Diario Oficial de la Federación**; 1993.
3. Fair, Geyer, Okun, INGENIERIA SANITARIA Y AGUAS RESIDUALES, Vol. I y II, Limusa/Noriega, México, 1996.
4. Metcalf & Eddy, WASTEWATER ENGINEERING. TREATMENT, DISPOSAL AND REUSE, 3rd Ed., Mc. Graw Hill, New York, 1999.
5. R.S. Ramalho, TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, Reverté, España, 1993.
6. Secretaria del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, **Diario Oficial de la Federación**, 1996.
7. Secretaria del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, 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, **Diario Oficial de la Federación**, 1996.
8. Secretaria del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, NOM-003-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, **Diario Oficial de la Federación**, 1997.
9. Vermon L. Snoeyink, David Janking, QUÍMICA DEL AGUA, Limusa, México, 1990.
10. Entidad Mexicana de Acreditamiento A.C, (WWW.EMA.ORG.MX), 2002.
11. **Diario Oficial de la Federación**, Organo del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, 5 de octubre de 2001.

ANEXOS

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.

Límites máximos permisibles para contaminantes básicos																					
Parámetros	Ríos						Embalses naturales y artificiales				Aguas costeras						Suelo				
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales naturales (B)		
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	
[mg/L] (excepto cuando se especifique)																					
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	
Materia Flotante (3)	AU.	AU.	AU.	AU.	AU.	AU.	AU.	AU.	AU.	AU.	AU.	AU.	AU.	AU.	AU.	AU.	AU.	AU.	AU.	AU.	
Sólidos Sedimentables (m/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2	
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	100	175	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	100	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150	
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	

(1) Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado

(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.

AU. = Ausente

N.A. = No aplicable

22

Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros

Parámetros (*) [mg/L] (excepto cuando se especifique)	Ríos						Embalses naturales y artificiales				Aguas costeras						Suelo			
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales naturales (B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	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
Cianuro	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

Límites máximos permisibles para parásitos y patógenos

Riego	Coliformes fecales [NMP/100mL]	Huevos de helminto [H/L]
Restringido	1000 _m -2000 _d	< 5
No restringido	1000 _m -2000 _d	< 1

Rango permisible del pH

5 - 10

(*) Medidos de manera total.

P.D. = Promedio Diario

P.M. = Promedio Mensual

N.A. = No es aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

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.

Límites máximos permisibles			
Parámetros [mg/L] (excepto cuando se especifique)	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables [mL/L]	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

Parámetros [mg/L] (excepto cuando se especifique)	Promedio mensual	Promedio diario	Instantáneo
Temperatura (°C)	40	40	--
PH	5.5	10	--
Materia flotante	Ausente	Ausente	Ausente
SST	75	125	--
DBO	75	150	--

SST = Sólidos suspendidos totales

NMP = Numero más probable

P.D. = Promedio Diario

P.M. = Promedio Mensual

h2

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997

QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REUSEN EN SERVICIOS AL PÚBLICO.

TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales [NMP/100 mL]	Huevos de helminto [H/L]	Grasas y aceites [mg/L]	DBO ₅ [mg/L]	SST [mg/L]
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	1	15	20	20
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	5	15	30	30

Límites máximos permitidos para metales pesados y cianuros		
Parámetros [mg/L] (excepto cuando se especifique)	Embalses naturales y artificiales	
	Uso en riego agrícola	
	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4
Cadmio	0.2	0.4
Cianuro	2.0	3.0
Cobre	4.0	6.0
Cromo	1	1.5
Mercurio	0.01	0.02
Níquel	2	4
Plomo	0.5	1
Zinc	10	20

SST = Sólidos suspendidos totales

NMP = Numero más probable

P.D. = Promedio Diario

P.M. = Promedio Mensual

WATER QUALITY CRITERIA, EPA 1994

CONCENTRACIONES MÁXIMAS RECOMENDADAS DE ALGUNOS ELEMENTOS EN AGUAS DE IRRIGACIÓN

Elemento	Concentraciones máximas recomendadas
	(mg/L)
Aluminio	5.0
Arsénico	0.10
Berilio	0.10
Cadmio	0.01
Cobalto	0.05
Cromo	0.1
Cobre	0.2
Flúor	1.0
Hierro	5.0
Litio	2.5
Manganeso	0.2
Moibdeno	0.01
Níquel	0.2
Plomo	5.0
Selenio	0.02
Vanadio	0.01
Zinc	2.0

LEY DE AGUAS Y REGLAMENTO DE DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO (ESPAÑA 1991)

COEFICIENTE PARA LA DEDUCCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE

Naturaleza del vertido	Grado de tratamiento			
	El afluente no supera los valores de $k \times 10^4$			
	Tabla 1	Tabla 1	Tabla 3	
Urbano	Sin industria	1.2	0.24	0.12
	Industrialización media	1.2	0.24	0.12
	Muy industrializado	1.5	0.30	0.15
Industrial	Clase 1	2.0	0.4	0.20
	Clase 2	3.0	0.6	0.30
	Clase 3	4.0	0.8	0.40

26

LEY DE AGUAS Y REGLAMENTO DE DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO (ESPAÑA 1991)

PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS EN EL ESTIMADO DEL TRATAMIENTO DEL VERTIDO

Parámetro [Unidad]	Valores límites		
	Tabla 1	Tabla 2	Tabla 3
pH	5.5 - 9.5	5.5 - 9.5	5.5 - 9.5
Sólidos en suspensión [mg/L]	300	150	80
Materia sedimentable [mL/L]	2	1	0.5
Sólidos gruesos	Ausentes	Ausentes	Ausentes
DBO ₅ [mg/L]	300	60	40
DQO [mg/L]	500	20	160
Temperatura [°C]	3	3	3
Color	1/40	1/30	1/20
Aluminio [mg/L]	2	1	1
Arsénico [mg/L]	1.0	0.5	0.5
Bario [mg/L]	20	20	20
Boro [mg/L]	10	5	2
Cadmio [mg/L]	0.5	0.2	0.1
Cromo III [mg/L]	4	3	2
Cromo VI [mg/L]	0.5	0.2	0.2
Hierro [mg/L]	10	3	2
Manganeso [mg/L]	10	3	2
Níquel [mg/L]	10	3	2
Mercurio [mg/L]	0.1	0.05	0.05
Plomo [mg/L]	0.5	0.2	0.2
Selenio [mg/L]	0.1	0.03	0.03
Estañó [mg/L]	10	10	10
Cobre [mg/L]	10	0.5	0.2
Zinc [mg/L]	20	10	3
Cianuros [mg/L]	1	0.5	0.5
Cloruros [mg/L]	2000	2000	2000
Sulfuros [mg/L]	2	1	1
Sulfitos [mg/L]	2	1	1
Sulfatos [mg/L]	2000	2000	2000
Fluoruros [mg/L]	12	8	6
Fósforo total [mg/L]	20	20	10
Amoniaco [mg/L]	50	50	15
Nitrógeno nítrico [mg/L]	20	12	10
Aceites y grasas [mg/L]	40	25	20
Fenoles [mg/L]	1	0.5	0.5
Aldehídos [mg/L]	2	1	1
Detergentes [mg/L]	6	3	2
Pesticidas [mg/L]	0.05	0.05	0.05