

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

"ANÁLISIS Y PROPUESTA  
DE LOS CRITERIOS DE CALIDAD  
PARA FUENTES DE ABASTECIMIENTO  
DE AGUA PARA USO Y CONSUMO  
HUMANOS"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

I N G E N I E R A Q U Í M I C A

P R E S E N T A:

MARIA LAURA QUEZADA JIMENEZ





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:

Prof. Federico Galdeano Bienzobas

VOCAL:

Prof. Rodolfo Torres Barrera

SECRETARIO:

Prof. Blanca Elena Jiménez Cisneros

1er SUPLENTE:

Prof. José Sabino Sámano Castillo

2ndo SUPLENTE:

Prof. Alfonso Durán Moreno

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Instituto de Ingeniería de la UNAM

ASESOR DEL TEMA:

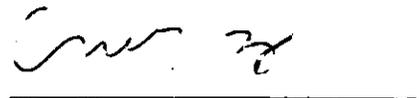
Dra. Blanca Elena Jiménez Cisneros



A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Blanca E. Jiménez', written over a horizontal line.

SUSTENTANTE:

María Laura Quezada Jiménez



A handwritten signature in black ink, appearing to be 'María Laura Quezada', written over a horizontal line.

ANÁLISIS Y PROPUESTA  
DE LOS CRITERIOS DE CALIDAD  
PARA FUENTES DE ABASTECIMIENTO  
DE AGUA PARA USO Y CONSUMO  
HUMANOS

---

## *... dedicatorias*

A mi papá

*Por toda tu vida dedicada a nosotros, por tus sacrificios, por enseñarme que el amor es infinito y que los sueños se hacen realidad...*

*... no hay muchas palabras para decirte cuanto te quiero*

A mi mamá

*Por ese gran ejemplo tuyo de nunca dejar de luchar ante las adversidades, por ese enorme esfuerzo que siempre has realizado a mi lado y por tu inmenso amor...*

*... gracias nena*

A mi abuelito

*Por tu incomparable apoyo en las buenas y en las malas...*

*... gracias papá grande*

A Miguel Ángel

*Porque enseñarme que volar no es sólo un sentimiento sino una realidad que puede ser nuestra día a día...*

*... nunca engrases los ejes de tu carreta*

---

## *... agradecimientos*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México*

*Por la riqueza de sus experiencias a lo largo de mi formación y por el inmenso orgullo de sentirme universitaria.*

*A la Dra. Blanca Jiménez*

*Por su asesoría durante la realización de este trabajo, así como por sus enseñanzas y su gran apoyo.*

*A la M. en I. Judith Ramos Hernández*

*Por tus opiniones y consejos para llevar a cabo este trabajo, pero sobretodo por tu valiosa amistad, gracias.*

*Al M. en I. José Antonio Barrios*

*Por tu apoyo y amistad, Lorenza te lo agradecerá siempre*

*A todos mis compañeros del Instituto de Ingeniería por su apoyo y empuje en la realización de esta tesis, gracias*

---

---

|                 |    |
|-----------------|----|
| lista de tablas | iv |
|-----------------|----|

|                  |    |
|------------------|----|
| lista de figuras | vi |
|------------------|----|

|            |                                      |   |
|------------|--------------------------------------|---|
| capítulo 1 | Introducción, agua, el recurso vital | 1 |
|------------|--------------------------------------|---|

|            |   |   |
|------------|---|---|
| capítulo 2 | Antecedentes, el agua, cantidad y calidad | 6 |
|------------|---|---|

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 2.1     | Definición y propiedades   | 6  |
| 2.2     | Cantidad del recurso   | 9  |
| 2.2.1   | Ciclo hidrológico  | 9  |
| 2.2.2   | Los recursos hídricos en el ámbito mundial                       | 11 |
| 2.2.3   | Los recursos hídricos en México                                  | 13 |
| 2.2.3.1 | Panorama general   | 13 |
| 2.2.3.2 | Sistema hidrológico  | 16 |
| 2.3     | Calidad  | 19 |
| 2.3.1   | Agua superficial   | 19 |
| 2.3.2   | Agua subterránea   | 20 |
| 2.3.3   | Principales diferencias entre aguas superficiales y subterráneas | 22 |
| 2.3.4   | Usos del agua  | 23 |
| 2.3.4.1 | Uso doméstico  | 24 |
| 2.3.4.2 | Uso agrícola   | 27 |
| 2.3.4.3 | Uso industrial   | 28 |
| 2.3.4.4 | Uso para recreación y turismo                                    | 28 |
| 2.3.4.5 | Uso en acuacultura y pesca                                       | 28 |
| 2.3.4.6 | Uso para la generación de energía eléctrica                      | 29 |
| 2.3.4.7 | Uso para la navegación   | 30 |
| 2.3.4.8 | Uso por el medio natural   | 30 |
| 2.3.5   | Contaminantes del agua   | 31 |
| 2.3.5.1 | Microbiológicos  | 31 |
| 2.3.5.2 | Inorgánicos  | 36 |
| 2.3.5.3 | Orgánicos  | 43 |
| 2.3.5.4 | Radiactivos  | 46 |
| 2.3.5.5 | Físicos  | 47 |

# contenido

página

---

|            |  |    |
|------------|--|----|
| 2.3.6      | Calidad del agua en México   | 48 |
| 2.3.6.1    | Red nacional de monitoreo  | 48 |
| 2.3.6.2    | Índices calidad  | 52 |
| 2.4        | Conclusiones   | 56 |
| <br>       |  |    |
| capítulo 3 | <b>Revisión de los criterios de calidad para fuentes de abastecimiento de agua para uso y consumo humanos</b>                  | 57 |
| <hr/>      |  |    |
| 3.1        | Importancia de la calidad del agua en la salud   | 57 |
| 3.1.1      | Enfermedades producidas por agentes químicos   | 57 |
| 3.1.2      | Enfermedades de origen biológico - infeccioso  | 58 |
| 3.2        | Definición de los Criterios de Calidad   | 60 |
| 3.3        | Finalidad de los criterios de calidad para fuentes de abastecimiento de agua para uso y consumo humanos                        | 62 |
| 3.4        | Revisión de los criterios desarrollados en el ámbito internacional   | 63 |
| 3.4.1      | La Organización Mundial de la Salud, OMS   | 64 |
| 3.4.2      | La Unión Europea, UE   | 65 |
| 3.4.3      | Estados Unidos de América, EUA   | 67 |
| 3.4.4      | Canadá   | 69 |
| 3.4.5      | México   | 70 |
| 3.4.5.1    | Los criterios ecológicos de calidad del agua   | 71 |
| 3.5        | Conclusiones   | 71 |
| <br>       |  |    |
| capítulo 4 | <b>Metodología, selección y análisis de las variables para definir los criterios de calidad para fuentes de abastecimiento</b> | 78 |
| <hr/>      |  |    |
| 4.1        | Metodología  | 80 |
| 4.2.1      | Tipos de componentes contaminantes   | 81 |
| 4.1.2      | Comparación de los valores de los criterios de calidad en diferentes organizaciones  | 81 |
| 4.2        | Selección de las variables consideradas en la nueva propuesta de los criterios de calidad                                      | 95 |
| 4.2.1      | Origen de los agentes contaminantes  | 95 |
| 4.2.2      | Efectos nocivos de los agentes contaminantes   | 96 |
| 4.2.2.1    | Toxicidad  | 96 |
| 4.2.2.2    | Epidemiología  | 98 |

---

# contenido

página

---

|              |   |     |
|--------------|---|-----|
| 4.3          | Selección de los parámetros   | 99  |
| 4.4          | Conclusiones  | 125 |
| capítulo 5   | Propuesta de los criterios de calidad para fuentes de abastecimiento de agua para uso y consumo humanos | 127 |
| 5.1          | Variables de apoyo  | 127 |
| 5.1.1        | Usos  | 128 |
| 5.1.2        | Clasificación Convencional  | 128 |
| 5.1.3        | Tratamientos de potabilización  | 128 |
| 5.1.4        | Técnicas analíticas   | 128 |
| 5.2          | Metas de calidad y límites permisibles  | 128 |
| 5.2.1        | Meta de calidad   | 129 |
| 5.2.2        | Indicadores de uso posible  | 130 |
| capítulo 6   | Conclusiones y recomendaciones  | 138 |
| bibliografía |   | 141 |
| anexo A      | Evaluación del riesgo de carcinogenicidad en los seres humanos  | 149 |
| anexo B      | Selección del proceso de potabilización del agua  | 152 |
| anexo C      | Criterios de calidad para fuentes de abastecimiento de agua para uso y consumo humanos                  | 160 |

---

# lista de tablas

página

---

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Tabla 2.1  | Propiedades fisicoquímicas del agua  | 7  |
| Tabla 2.2  | Repartición del agua sobre la tierra   | 11 |
| Tabla 2.3  | Características de las regiones administrativas de la República Mexicana   | 15 |
| Tabla 2.4  | Balance del agua subterránea, m <sup>3</sup> /año  | 18 |
| Tabla 2.5  | Fuentes potenciales de contaminantes del agua subterránea  | 21 |
| Tabla 2.6  | Principales diferencias entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas   | 22 |
| Tabla 2.7  | Cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado por tamaño de localidad en 1995                            | 24 |
| Tabla 2.8  | Perspectivas de los servicios de agua potable y alcantarillado a nivel nacional para el periodo 1995-2000              | 25 |
| Tabla 2.9  | Volumen de agua extraído para uso en riego por región administrativa según la CNA                                      | 27 |
| Tabla 2.10 | Extracción de agua para la generación de energía eléctrica en 1994   | 29 |
| Tabla 2.11 | Patógenos virales relacionados con enfermedades del agua   | 33 |
| Tabla 2.12 | Bacterias patógenas responsables de algunas enfermedades hídricas  | 34 |
| Tabla 2.13 | Protozoarios generadores de enfermedades hídricas  | 34 |
| Tabla 2.14 | Helmintos patógenos  | 35 |
| Tabla 2.15 | Contaminantes inorgánicos de mayor interés para el agua potable características de los principales grupos de           | 38 |
| Tabla 2.16 | Características de los principales grupos de compuestos orgánicos contaminantes encontrados en el agua                 | 44 |
| Tabla 2.17 | Radiaciones emitidas por partículas $\alpha$ , $\beta$ y rayos $\gamma$  | 46 |
| Tabla 2.18 | Contaminantes físicos de mayor interés para el agua potable  | 47 |
| Tabla 2.19 | Estaciones de monitoreo en cuerpos de agua superficiales y subterráneos  | 49 |
| Tabla 2.20 | Número máximo de parámetros determinados anualmente en cuerpos de agua superficiales y subterráneos                    | 49 |
| Tabla 2.21 | Frecuencia con la que un parámetro es problema en agua superficiales y subterráneas                                    | 54 |
| Tabla 3.1  | Enfermedades relacionadas con el agua  | 59 |
| Tabla 3.2  | Defunciones por enfermedades infecciosas intestinales  | 60 |
| Tabla 3.3  | Comparación de las calidades de los CECA para fuentes de abastecimiento y los límites permisibles para el agua potable | 74 |

# lista de tablas

página

---

|            |   |     |
|------------|---|-----|
|            | establecidos por la NOM-127-SSA1-1994   |     |
| Tabla 3.4  | Análisis entre las calidades de los CECA para agua de abastecimiento y la norma de agua potable                           | 77  |
| Tabla 4.1  | Comparación de lo valores de los criterios de calidad del agua para uso y consumo humanos. Componentes Microbiológicos    | 85  |
| Tabla 4.2  | Comparación de lo valores de los criterios de calidad del agua para uso y consumo humanos. Componentes Inorgánicos        | 83  |
| Tabla 4.3  | Comparación de lo valores de los criterios de calidad del agua para uso y consumo humanos. Componentes Orgánicos          | 86  |
| Tabla 4.4  | Comparación de lo valores de los criterios de calidad del agua para uso y consumo humanos. Componentes Físicos            | 93  |
| Tabla 4.5  | Comparación de lo valores de los criterios de calidad del agua para uso y consumo humanos. Componentes Radiológicos       | 94  |
| Tabla 4.6  | Análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable. Componentes Microbiológicos | 100 |
| Tabla 4.7  | Análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable. Componentes Inorgánicos     | 101 |
| Tabla 4.8  | Análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable. Componentes Orgánicos       | 106 |
| Tabla 4.9  | Análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable. Componentes Físicos         | 118 |
| Tabla 4.10 | Análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable. Componentes Radiológicos    | 121 |
| Tabla 4.11 | Análisis de los plaguicidas empleados en México   | 124 |
| Tabla 5.1  | Metas de calidad  | 129 |
| Tabla 5.2  | Eficiencia de los procesos de tratamiento del agua en la remoción de los principales contaminantes (1)                    | 132 |
| Tabla 5.2  | Eficiencia de los procesos de tratamiento del agua en la remoción de los principales contaminantes (2)                    | 134 |
| Tabla 5.4  | Eficiencias por tratamiento para cada parámetro   | 135 |
| Tabla 5.5  | Criterios de calidad para fuentes de abastecimiento para uso y consumo humanos  | 136 |

---

# lista de figuras

página

---

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Figura 2.1  | Configuración de la molécula del agua   | 7  |
| Figura 2.2  | Ciclo hidrológico   | 9  |
| Figura 2.3  | Crecimiento de la población y disponibilidad <i>per cápita</i> del agua   | 12 |
| Figura 2.4  | Promedio anual de disponibilidad <i>per cápita</i> de agua en algunos países  | 13 |
| Figura 2.5  | Disponibilidad relativa del agua superficial  | 17 |
| Figura 2.6  | Disponibilidad relativa del agua subterránea  | 18 |
| Figura 2.7  | Acuíferos confinados y no confinados  | 20 |
| Figura 2.8  | México: extracción y usos del agua  | 23 |
| Figura 2.9  | Parámetros que con mayor frecuencia son excedidos para suministro de agua para consumo humano en cuerpos de agua superficiales y subterráneos | 26 |
| Figura 2.10 | Transmisión de los organismos patógenos al hombre por medio del agua  | 32 |
| Figura 2.11 | Distribución de las helmintiasis en México  | 36 |
| Figura 2.12 | Potencial de uso de las fuentes de abastecimiento de agua para uso y consumo humanos  | 53 |
| Figura 3.1  | Instrumentos regulatorios del uso y descargas del agua en el control de la contaminación  | 72 |

# CAPÍTULO 1

## Introducción

### agua, el recurso vital

---

De acuerdo con las teorías actuales de la evolución de la vida en la Tierra, ésta pudo tener su origen en el **agua** (Olea Franco, 1988), misma que siguió siendo el componente principal de los primeros microorganismos que se trasladaron al medio terrestre en busca de nuevos nichos. Aún hoy, el agua es el elemento constitutivo más importante de los distintos organismos que coexisten en la naturaleza, por ejemplo: los anfibios presentan 90% de este líquido; los reptiles, 50%; las plantas, 75%; los hongos, 80% y el cuerpo humano se conforma con un 70% de dicho compuesto (Ondarza, 1988).

El agua es la base de la vida en cualquier ecosistema, ya que participa directamente como el medio de subsistencia de los primeros eslabones en la cadena alimenticia. En ésta, los microorganismos fotosintéticos habitantes del agua son consumidos por invertebrados más grandes, los que a su vez nutren a los peces, de los cuales se alimentan animales superiores como los mamíferos, entre los que se encuentra el hombre. Así, se puede afirmar que, **en la tierra, el agua es vida.**

Desde el principio de su historia, el hombre buscó y seleccionó los sitios para abastecerse de alimento con facilidad y éstos se ubicaron cerca de los cuerpos de agua. De tal modo, la cuna de las grandes civilizaciones antiguas se situó en las márgenes de los ríos Tigris y Éufrates, en Mesopotamia, y del río Nilo en Egipto. Lo anterior dio lugar a prósperos pueblos, cuyos cursos de agua proveían de un suministro seguro del vital líquido para llevar a cabo las actividades primordiales (beber, preparar sus alimentos o efectuar labores de higiene) y más adelante la pesca, la irrigación y la navegación (CMIC *et al.*, 1998). De manera análoga, durante la Revolución Industrial, el hombre inició la construcción de sus fábricas en lugares próximos a corrientes de agua por ser ésta una sustancia esencial en la manufactura de diversos productos. Posteriormente, se impulsó el desarrollo de

actividades de servicios, generación de electricidad y recreación, entre otras, en las que los recursos hídricos también representan un factor fundamental.

Según se observa, la capacidad del agua como disolvente universal y medio de transporte le ha permitido cumplir innumerables funciones en los seres vivos y en los sistemas ecológicos; así, este líquido se ha convertido en un elemento clave para el progreso de la humanidad, pues hasta nuestros días no hay ninguna sustancia que se le asemeje y pueda sustituirla en la amplia gama de actividades en las que interviene.

Sin embargo, como consecuencia de esas mismas labores, el agua es actualmente uno de los recursos más degradados y limitados del planeta. La acción del hombre ha ocasionado, y mantiene, un efecto profundo sobre dicho líquido, ya que actividades como la urbanización, la deforestación, la construcción de presas y los desarrollos agrícola e industrial, influyen en la calidad del agua y pueden convertirla en fuente y difusora de enfermedades epidémicas, lo que obstaculiza la prosperidad y conservación de la vida.

En particular, México enfrenta severas dificultades para la correcta evaluación, uso y aprovechamiento del agua. La falta de disponibilidad del líquido en las zonas norte y centro del país (67 por ciento del territorio nacional; Garduño, 1992) y la deficiente calidad de dicho elemento han obligado a las autoridades y pobladores a emplear los cuerpos de agua accesibles a ellos como fuente de suministro, sin considerar muchas veces si la calidad es la adecuada para ese uso. Por ello, resulta importante determinar una lista de parámetros de calidad del agua que definan los requisitos de las fuentes de abastecimiento para uso y consumo humanos, y que atiendan los principales problemas de contaminación del agua de consumo.

Por tradición, los países en vías de desarrollo, como es el caso de nuestro país, han copiado las regulaciones de países desarrollados, donde la sociedad es cada vez más exigente respecto de la calidad del agua que consume y cuentan con avanzadas técnicas analíticas y gran cantidad de estudios toxicológicos y epidemiológicos, que les permite conformar criterios de calidad del agua que incluyen un gran número de compuestos en concentraciones cada vez menores. En México, esta situación resulta desfavorable, pues la gran cantidad de parámetros por vigilar y lo costoso de los métodos analíticos, propicia que se soslaye la observancia de la ley misma.

En México, en el año de 1989 fueron publicados los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (DOF, 1989) que se encuentran vigentes a la fecha. En estos criterios se establecen las condiciones adecuadas de la calidad del agua para las Fuentes de Abastecimiento de Agua Potable, Riego Agrícola, Uso Recreativo (Contacto Primario), Uso Pecuario y Protección de la Vida Acuática. Cabe mencionar que estos criterios se refieren a la calidad del agua en el medio, es decir dentro del cuerpo de agua. Desde su publicación, los criterios habían sido útiles para iniciar el proceso de control de la calidad del agua en el país. Sin embargo, tal y como era de esperarse, no todos los parámetros, ni las concentraciones establecidas, respondían a nuestra realidad.

Por lo anterior, y en atención a las demandas actuales del recurso hídrico en el país, la Comisión Nacional del Agua (CNA) inició un procedimiento de revisión, y en su caso de modificación, de dichos criterios de calidad. Dentro de este contexto, la presente Tesis abarcará el análisis de los Criterios Ecológicos de las Fuentes de Abastecimiento de Agua Potable.

Como punto de partida, y con el objeto de redefinir la idea de los criterios y enmarcarla en una acepción más adecuada, se propone eliminar el calificativo de "Ecológicos" y denominarlos únicamente como **Criterios de Calidad del Agua**. Asimismo, se propone incluir dentro del listado correspondiente los aspectos microbiológicos, responsables de la mayoría de las enfermedades gastrointestinales infecciosas de origen hídrico del país (AIC *et al.*, 1995), seguidos por los contaminantes inorgánicos (metales y nitratos) y los compuestos orgánicos (en especial los plaguicidas). A estos dos últimos grupos se les da una menor prioridad, ya que no se asocian con efectos agudos inmediatos sobre la salud humana y en muchas ocasiones resultan irrelevantes en zonas donde las enfermedades relacionadas con el agua y los microorganismos patógenos muestran elevados índices de prevalencia (Vargas *et al.*, 1999).

Para definir los parámetros que deben formar parte de los criterios, se seleccionará una lista, corta y finita, que sea suficiente para caracterizar la calidad del cuerpo de agua y que, por tanto, asegure el uso del agua y garantice, al mismo tiempo, la salud de los usuarios, los consumidores y al ambiente. Para la selección de cada criterio se tomará en cuenta que:

- ◆ Su presencia ponga en peligro los usos del agua
- ◆ Sean medibles en las concentraciones establecidas partiendo del desarrollo analítico actual del país
- ◆ Se definan niveles compatibles con las eficiencias de los métodos de remoción disponibles en el mercado nacional, a costos asequibles
- ◆ Se establezcan varios niveles en los parámetros que permitan avanzar en forma paulatina para recuperar la calidad de los cuerpos de agua sin impedir el uso productivo del recurso.

Para complementar la selección, se definirán los efectos negativos de cada criterio por lo que se realizará un análisis de riesgo para la salud humana o la flora y fauna, según sea el caso, considerando factores como: la dosis, exposición, el medio y el estado físico del organismo.

A fin de lograr los objetivos de esta tesis, se inicia el capítulo 2 con la definición y propiedades del agua, donde se resaltan las características que la hacen un elemento fundamental para la vida de los organismos. Luego, se plantea un panorama acerca de la cantidad y calidad del líquido. Con respecto a la cantidad se alude al ciclo del agua y la

disponibilidad mundial, y se detalla el sistema hidrológico nacional (precipitación pluvial, aguas superficiales y subterráneas). La calidad se define en función de dos factores; el tipo de cuerpo de agua que se trate (superficial o subterráneo), o el uso al que se destine. Después, se realiza una breve explicación de los contaminantes del agua más representativos. Finalmente, se expone *grosso modo* la situación de la calidad del agua en México a partir de los resultados reportados por la Red Nacional de Monitoreo durante un periodo de diez años (1987-1997).

En el capítulo 3, se describen los criterios de calidad y se destaca su importancia con respecto a la salud del hombre y el medio que lo rodea, así como por las enfermedades transmitidas por medio del agua (producidas por agentes químicos y biológico-infecciosos). En la segunda parte del capítulo se presentan los criterios de calidad desarrollados por cuatro organismos internacionales, donde se plantean los objetivos que persiguen cada uno de ellos, siendo los principales, la protección de la salud humana y la preservación del ambiente. Al finalizar el capítulo se expone la situación normativa nacional, y se fundamentan los derechos sobre los recursos hídricos (administración, distribución, etc.) en el artículo 27 de la Constitución Mexicana. Asimismo, se presentan los organismos y leyes que emanan de la constitución para la administración y protección de los recursos. Finalmente, se describen los CECA y se ubican dentro del instrumento regulatorio del agua. En este aspecto se ahonda en los criterios para fuentes de abastecimiento y se plantea la problemática existente por las incongruencias entre éstos y la norma de agua potable vigente, actualmente en revisión. Este apartado pone de manifiesto la necesidad de una revisión de los criterios así como una nueva propuesta apegada a la situación actual nacional y que al mismo tiempo facilite a los usuarios el lograr la normatividad vigente.

Con base en lo anterior, en el capítulo 4 se formula una metodología para analizar todas las sustancias que son susceptibles de formar parte de los criterios de calidad. Esta metodología comienza con la integración de una lista de las sustancias y parámetros considerados en legislaciones nacionales (Red Nacional de Monitoreo y Criterios Ecológicos de Calidad del Agua) e internacionales (Estados Unidos, Canadá, Organización Mundial de la Salud y la Unión Europea), considerando los valores guía o meta que establece cada organismo. Posteriormente, se realiza una caracterización de esos parámetros y sustancias tomando en cuenta aspectos tales como: el origen, los efectos nocivos y la posibilidad de encontrarlos en cuerpos de agua superficiales y subterráneos. De este análisis, se desprende un pequeño listado que contiene a los elementos de mayor importancia para la salud humana y que al mismo tiempo son causa de contaminación en los cuerpos de agua nacionales.

A partir del análisis presentado en el capítulo 4, se presenta en el capítulo 5, la propuesta de los criterios de calidad. Aquí, se analizan nuevas variables como el uso de cada elemento, su clasificación convencional, las técnicas analíticas de determinación y los tratamientos de remoción, todo ello para sustentar su inclusión dentro de la nueva propuesta. Asimismo, se propone establecer dos tipos de concentraciones para cada componente de la lista: la Meta de Calidad y los Indicadores de Uso Posible. La primera, constituirá la calidad óptima del agua y que permitirá utilizarla tal y como se encuentra en

el ambiente. La segunda, considera cuatro niveles de calidad del agua, inferiores a la meta de calidad, que por medio de un tratamiento convencional pueden alcanzar la calidad requerida para servir como fuente de abastecimiento de agua para uso y consumo humanos.

Finalmente, en el capítulo 7 se presentan las conclusiones y recomendaciones que se consideraron pertinentes una vez desarrollado este trabajo.

# CAPÍTULO 2

## el agua, cantidad y calidad

---

### 2.1 DEFINICIÓN Y PROPIEDADES

Son muchas y muy diversas las definiciones que se le han dado al agua, baste mencionar que en el Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española se presentan en gran cantidad y de entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

*(Del latín aqua) 1. Sustancia formada por la combinación de un volumen de oxígeno y dos de hidrógeno, líquida, inodora, insípida, en pequeña cantidad incolora y verdosa o azulada en grandes masas. Es el componente más abundante de la superficie terrestre y más o menos puro, forma la lluvia, las fuentes, los ríos y los mares; es parte constituyente de todos los organismos vivos y aparece en compuestos naturales; y, como agua de cristalización, en muchos cristales.*

*2. Uno de los cuatro elementos que forman el mundo según ciertos filósofos de la antigüedad.*

Como las anteriores, existe una larga lista de definiciones que generalmente se enfocan a describir las características de los diferentes elementos de los que forma parte, o bien, al uso y/o aprovechamiento al que se le destine.

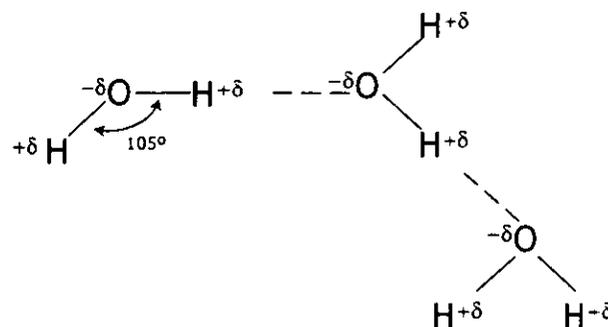
Químicamente, el agua puede definirse en función de su estructura atómica como la combinación de dos átomos de hidrógeno por uno de oxígeno. Entre sus propiedades se encuentran que al nivel del mar, el agua se vuelve sólida a 0°C y se convierte en vapor a 100°C. Su densidad máxima es de 1 g/cm<sup>3</sup> a 4°C y es un excelente solvente. Otras de las propiedades se listan en la tabla 2.1.

**tabla 2.1 propiedades fisicoquímicas del agua**

| propiedad                     | valor        | unidades   |
|-------------------------------|--------------|------------|
| Peso molecular                | 18           | uma        |
| Punto de fusión (1 atm)       | 0            | °C         |
| Punto de ebullición (1 atm)   | 100          | °C         |
| Temperatura crítica           | 374.2        | °C         |
| Presión crítica               | 218.5        | atm        |
| Densidad crítica              | 0.324        | g/mL       |
| Viscosidad (20°C)             | 1.002        | centipoise |
| Densidad a 0°C del hielo      | 0.9168       | g/mL       |
| Densidad a 0°C del líquido    | 1.000        | g/mL       |
| Calor específico (15°C)       | 1.000        | cal/g      |
| Calor de fusión (0°C)         | 79.67        | cal/g      |
| Calor de vaporización (100°C) | 539.55       | cal/g      |
| Carácter magnético            | Diamagnético |            |
| Constante crioscópica         | -1.86        | °C.kg/mol  |
| Constante ebulloscópica       | 0.512        | °C.kg/mol  |

fuente: Keenan y Wood, 1981

Lo que sí es un hecho, es que en la concepción actual de la química, el agua es una molécula única con propiedades únicas. Ha sido llamada el **solvente universal** debido a que por su configuración (figura 2.1) disuelve la mayoría de los compuestos, entre ellos, los nutrientes necesarios para la vida de manera que pueden ser absorbidos y llevados a través del cuerpo humano.



**figura 2.1 configuración de la molécula del agua**

fuente: Snoeyink y Jenkins, 1987

En la figura 2.1 se observa que los átomos de hidrógeno se encuentran del mismo lado del átomo de oxígeno separados por un ángulo de 105°. Los átomos de hidrógeno tienen una carga positiva mientras que el átomo de oxígeno tiene carga negativa, debido a esta

distribución de carga, el  $H_2O$  es una molécula fuertemente dipolar. Estos dipolos se atraen entre sí y forman agregados a través de enlaces que se conocen como puentes de hidrógeno. Estos enlaces son los responsables de muchas de las propiedades que presenta el agua; entre las que destacan:

- ◆ A presión atmosférica es un líquido, mientras que los demás dihidruros de la misma familia ( $H_2S$ ,  $H_2Se$ ,  $H_2Te$ ) son gases;
- ◆ Es más densa que las especies relacionadas con ella a cualquier temperatura dada. Su densidad máxima se presenta a los  $4^{\circ}C$ .
- ◆ Su punto de congelación es inferior a lo que se podría esperar y se congela formando el hielo, cuya estructura abierta es menos densa que el agua líquida a partir de la cual se forma. Esto permite que en los cuerpos de agua cuya superficie se congela, exista vida acuática en el fondo aún en temporadas frías.
- ◆ Cuando disuelve alguna sustancia, su punto de congelación baja, por esto en invierno se pone sal en las calles para prevenir su congelación.

Como se puede concluir, la polaridad del agua es un factor de gran importancia en su capacidad como disolvente, ya que por su carácter dipolar tiene el poder de rodear a un ion de carga positiva con la parte negativa de su molécula (o a la inversa) aislándolo y neutralizando las fuerza de atracción que mantienen la integridad de la estructura cristalina. El ion rodeado (o hidratado) con moléculas de agua puede entonces desplazarse hacia la solución convirtiéndose en uno disuelto. Debido a esta propiedad, el agua contiene de forma natural diversos compuestos en disolución, como por ejemplo sales de Na, K, Mg, Ca y Fe, entre otros; además diluye la materia orgánica proveniente de la descomposición de plantas y animales, y acarrea materia suspendida, como las arcillas finas y microorganismos.

Otros hechos que reafirman la importancia del agua como base de la vida del planeta son (Catalán, 1981):

- Debido a sus temperaturas de solidificación y de evaporación, es la única sustancia que se encuentra naturalmente sobre la tierra, en los tres estados de la materia.
- Es el vehículo utilizado por la naturaleza como portador de nutrientes.
- Es el medio universal y único en el que se llevan a cabo las reacciones organobiológicas.
- Su calidad condiciona la calidad de los alimentos.
- En su seno se realizan muchos procesos geoquímicos.
- Ejerce una gran influencia en el desarrollo de la agricultura, de la industria, de las fuentes de energía, etc.

Es importante mencionar que es su capacidad de dilución, la propiedad que también la hace fácilmente contaminable al arrastrar en su seno diversas sustancias tóxicas para la

vida, provocando su desaprovechamiento al no ser apta para los diversos usos a los que se le destina. Sin embargo, existe un proceso natural llamado **ciclo hidrológico** (que se describirá más adelante) a través del cual el agua es objeto de un proceso de purificación que se da al estar en continuo movimiento y en contacto con la energía del sol, el oxígeno del aire y los diversos organismos que habitan en los cuerpos de agua. Esta combinación cumple la función de degradar la materia disuelta hasta llegar a sus niveles naturales transformando el agua en un recurso nuevamente aprovechable por los seres vivos.

## 2.2 CANTIDAD DEL RECURSO

### 2.2.1 CICLO HIDROLÓGICO

Como ya se mencionó, el **ciclo hidrológico** (figura 2.2) es la vía natural por la que el agua se depura, que si bien es un hecho de gran importancia, no es la única función que desempeña en la naturaleza. El ciclo hidrológico es al mismo tiempo, el proceso por el que el agua se reparte en toda la Tierra a través de un movimiento continuo entre los océanos; el vapor de agua en la atmósfera (nubes); el hielo y la nieve; el agua subterránea (acuíferos) y el agua superficial en lagos y corrientes.

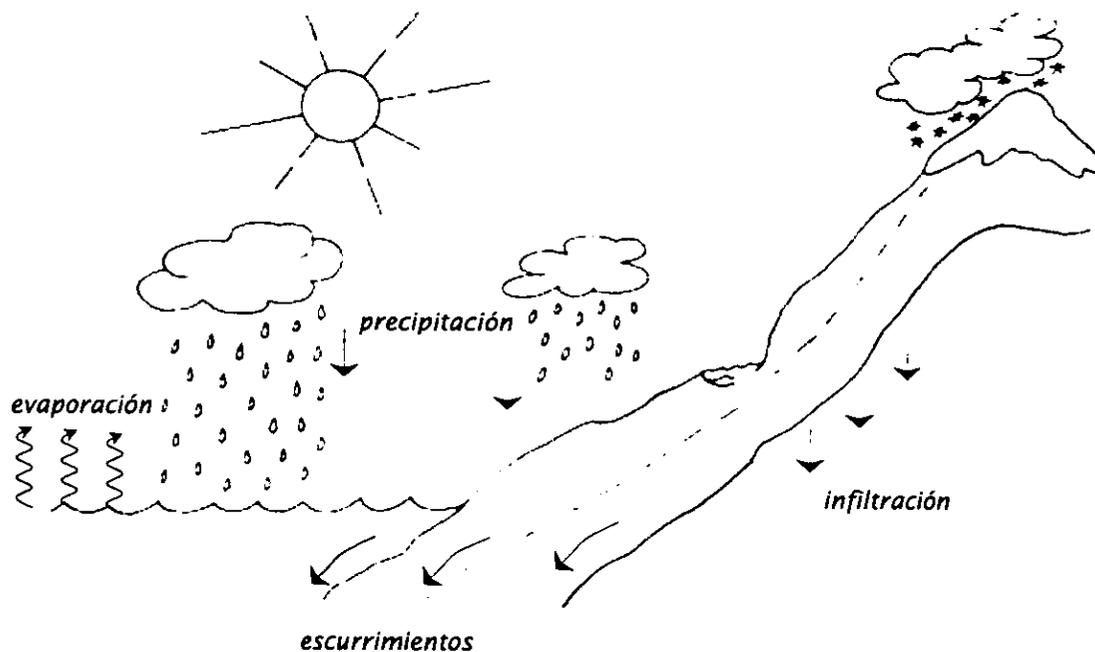


figura 2.2 ciclo hidrológico

Como se observa en la figura 2.2, el ciclo hidrológico se lleva a cabo por medio de distintos procesos que se explican a continuación:

**EVAPORACIÓN** A ser calentada el agua por el sol, las moléculas de la superficie se encuentran suficientemente energizadas para romper los enlaces que las unen entre ellas mismas, entonces se evaporan convirtiéndose en moléculas invisibles de vapor en la atmósfera.

**CONDENSACIÓN/  
PRECIPITACIÓN** Una vez en la atmósfera, las moléculas tienden agruparse hasta formar pequeñas gotas (0.04 mm de diámetro). En este momento el agua ha formado nubes que pueden trasladarse grandes distancias distribuyendo así el agua en todo el planeta. La precipitación es el agua proveniente de las nubes que se mueven alrededor de la tierra debido a las corrientes de aire. Cuando las nubes chocan contra las montañas, se enfrían y se saturan con agua que se condensa y cae como lluvia, nieve o granizo, dependiendo de la temperatura del medio.

**INFILTRACIÓN/  
PERCOLACIÓN** Parte de la precipitación y la nieve fundida, se mueve hacia abajo y se percola o infiltra a través del suelo y lecho de roca hasta alcanzar el nivel freático y convertirse en agua subterránea.

**ESCURRIMIENTOS** El exceso de lluvia o nieve fundida puede producir corrientes sobre la tierra hacia riachuelos o zanjas. Las corrientes son flujos de agua como los ríos, o bien, es agua estancada como los lagos y cuencas.

**TRANSPIRACIÓN** Es el proceso por el que la vegetación, terrestre y acuática, liberan vapor a la atmósfera. Durante la fotosíntesis, las plantas toman el agua líquida y el  $\text{CO}_2$ , y por medio de una serie de reacciones convierten estos materiales en carbohidratos, oxígeno y vapor de agua que será liberado a la atmósfera.

Es el movimiento del agua en la atmósfera, en la superficie terrestre y debajo de ella, el que determina la precipitación y repone el agua evaporada del océano y las fuentes de agua dulce a través del planeta.

Es importante mencionar que no toda el agua completa el ciclo hidrológico en un mismo tiempo, p. ej. el agua almacenada en los casquetes polares y en los acuíferos puede llevarse cientos de años, mientras que el agua que se encuentra en los cuerpos y corrientes terrestres, así como la de los mares y océanos, puede llevarse tan sólo unos días (Cheremisinoff, 1993).

Por otra parte, cabe señalar que la cantidad de agua comprendida en el ciclo hidrológico permanece esencialmente constante, aunque a escala regional cambia mucho. El

comportamiento de ciclo hidrológico lo dicta el clima, y éste varía de un lugar a otro al igual que en el tiempo. Más aún, existen factores locales, como el cambio de vegetación o la ocurrencia de fenómenos naturales (como la actividad de un volcán o los huracanes), que pueden afectar de forma importante al ciclo hidrológico. La actividad humana, por su parte, tiene una gran influencia: el crecimiento de las ciudades y la interrupción de ríos por presas o sistemas de riego afectan también el movimiento natural del agua.

Asimismo, al ser el ciclo hidrológico un proceso natural de tratamiento del agua, éste se ve afectado cuando por las actividades del hombre se sobrepasa la capacidad natural del agua para autodepurarse. Todo lo anterior ocasiona un desequilibrio y tiene como consecuencias efectos negativos en el ciclo hidrológico, las cuales se resienten en todos los ecosistemas que habitan la tierra.

### 2.2.2 LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL ÁMBITO MUNDIAL

Tres cuartas partes de la superficie de la Tierra están cubiertas por los mares y océanos, y en los continentes, una décima parte está formada por los glaciares y la nieve. En general, el agua forma parte de todo el paisaje en la tierra, en ríos, lagos, mares, hielos y nieves, en la humedad superficial y en el subsuelo hasta 5 km de profundidad (Guerrero, 1991).

El agua en nuestro planeta se calcula en 1 385 millones de km<sup>3</sup>, de ellos, el 97.3% se encuentra en los océanos, y del resto, menos del 1% es agua dulce fácilmente aprovechable (tabla 2.2). Este porcentaje de agua se obtiene principalmente de los ríos, los lagos (las mayores reservas se encuentran en los Grandes Lagos de Estados Unidos y Canadá y en el Lago Baikal en Siberia) y de los depósitos subterráneos (Garduño, 1992).

tabla 2.2 reparto del agua sobre la tierra

| tipo de agua                                      | porcentaje de la cantidad total | porcentaje de la cantidad de agua dulce | porcentaje de la cantidad de agua dulce líquida |
|---|---------------------------------|---|---|
| salada (mares, océanos, agua subterránea y lagos) | 97.30                           |   |   |
| dulce   | 2.70                            | 100.00                                  |   |
| - hielo (glaciares)                               | 2.08                            | 77.20                                   |   |
| - líquida   | 0.62                            | 22.80                                   | 100.00  |
| - agua subterránea y humedad del suelo            |                                 |   | 22.40 98.25                                     |
| - lagos y pantanos                                |                                 | 0.35                                    | 1.54  |
| - ríos y corrientes                               |                                 | 0.01                                    | 0.04  |
| - atmósfera                                       |                                 | 0.04                                    | 0.17  |

fuelle: Hernández Muñoz, 1996

Del agua que precipita anualmente sobre los continentes, y que se calcula en 106 mil km<sup>3</sup>, el 68% se evapora, el 31% regresa a los océanos por escurrimiento superficial y el 1% restante se infiltra en el suelo.

Como se puede observar en la tabla 2.2, el agua dulce disponible sólo es una pequeña parte del total, y aunque dentro del ciclo hidrológico este volumen es constante, no es así con su distribución, uso y desperdicio, ya mientras 3 400 millones de personas cuentan con una dotación de apenas 50 L de agua por día (se considera que de 20 a 50 litros es un volumen adecuado de agua sólo para beber, cocinar y asearse), en algunos países desarrollados el consumo puede alcanzar hasta los 400 litros diarios por habitante (Garduño, 1992). Adicionalmente, conforme la población mundial crece también se incrementan las necesidades en cuanto a servicios, alimentos, productos y, sobre todo, agua (figura 2.3).

A medida que la población crece y se desarrolla su economía y tecnología, la demanda de agua aumenta mientras que los recursos del medio natural permanecen invariables, por lo que el manejo del recurso se ha hecho complejo y conflictivo, agravándose por fenómenos extraordinarios, como sequías e inundaciones, que demandan mayor regulación e infraestructura para su atención.

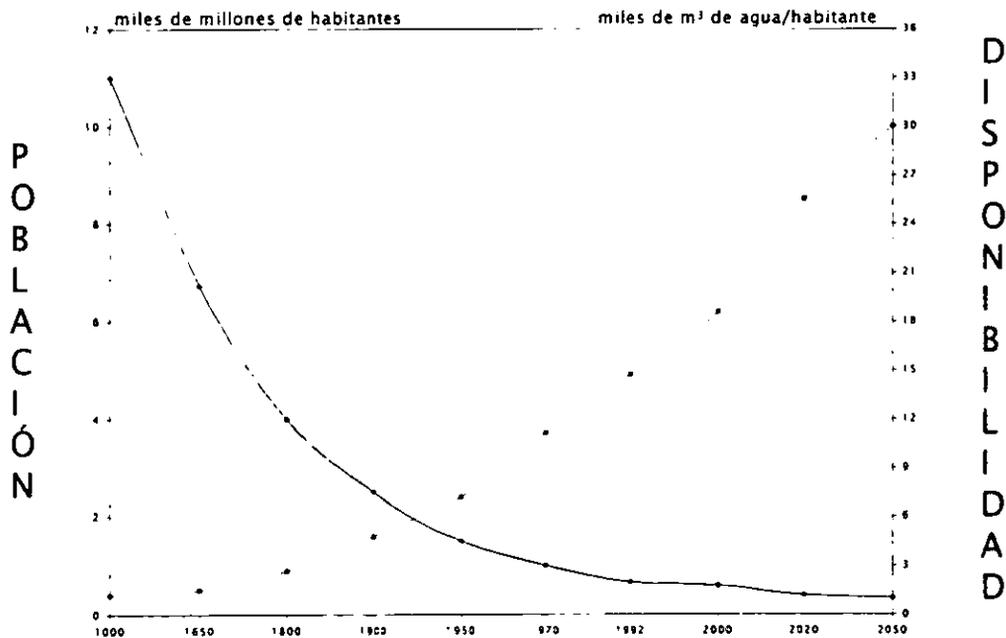
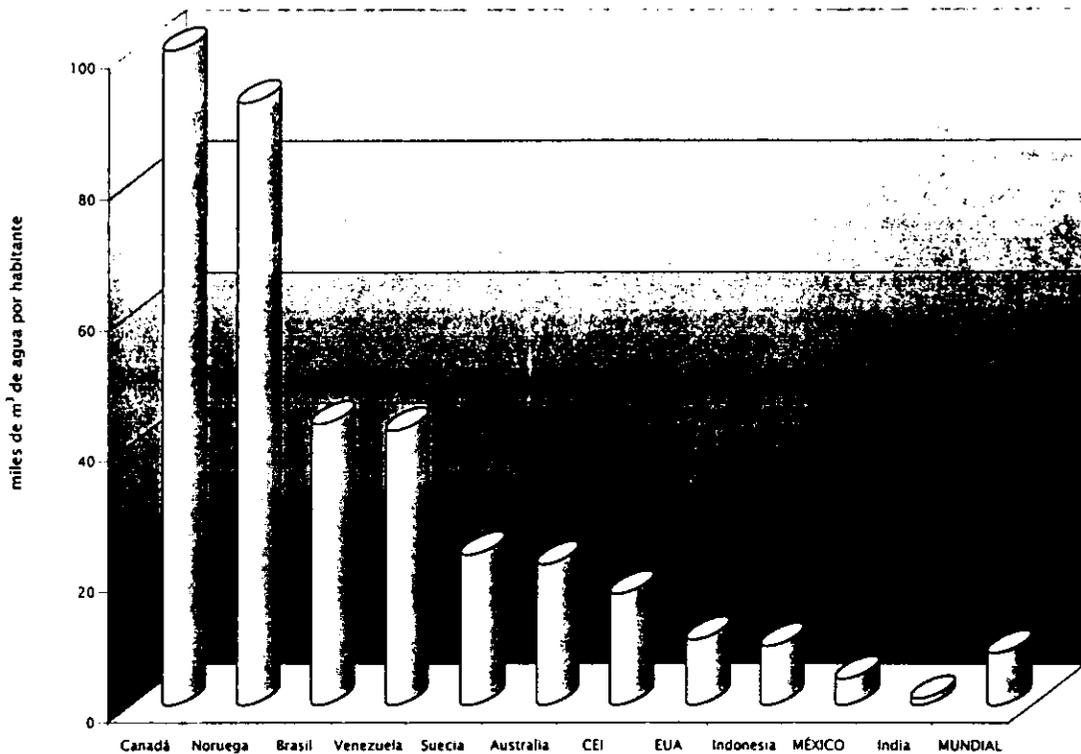


figura 2.3 crecimiento de la población y disponibilidad *per cápita* de agua  
fuente: Garduño, 1992

En cuanto a la distribución espacial del recurso, es desigual y es más notorio cuando se relaciona con la población mundial. Mientras que en ocho países (Canadá, Noruega, Brasil, Venezuela, Suecia, Australia, Estados Unidos y los países miembros de la Comunidad de Europea) se concentra prácticamente el 90% de toda el agua dulce del mundo, otras naciones equilibran sus niveles de abastecimiento gracias a los excedentes de agua de sus países vecinos; tal es el caso de Egipto, Sudáfrica y Suazilandia (Garduño, 1992; figura 2.4).



**figura 2.4 promedio anual de disponibilidad *per cápita* del agua en algunos países**

fuelle: Garduño, 1992

### 2.2.3 LOS RECURSOS HÍDRICOS EN MÉXICO

En los siguientes apartados se muestra, de manera resumida, el panorama general del sistema hidrológico mexicano presentado en el Plan Hidráulico 1995-2000.

#### 2.2.3.1 Panorama General

La disponibilidad de agua en México está compuesta por el escurrimiento superficial y el agua del subsuelo. Esta última se integra principalmente por la recarga natural renovable y la inducida por la infiltración en zonas de riego.

Por lo anterior, los principales problemas de abastecimiento en el país se ven ligados a:

- La variación de la lluvia y los escurrimientos a lo largo del año así como su distribución en el territorio.
- La desigual distribución de la demanda del agua en las diferentes zonas poblacionales, agrícolas e industriales del país.
- La presencia de fenómenos naturales como las sequías y los huracanes, que cada vez son más extremosos.
- La infraestructura hidráulica con que cuenta el país es en ocasiones mal aprovechada ya que no opera con eficiencia, o bien se encuentra inconclusa.
- Por otra parte, la calidad de los cuerpos de agua no es en ocasiones la indicada para los usos que se le requiere, lo que induce a su desperdicio.

A lo anterior, hay que añadir que la demanda en el territorio nacional es muy desigual, ya que está en función de la distribución de la población y las actividades económicas que ahí se realicen.

Por esto, el conocimiento de las regiones hidrológicas con las que cuenta México es de vital importancia para así poder satisfacer las demandas de la población que en cuanto al agua se refieren. Con el fin de tener un mejor manejo de las características y demandas de los cuerpos de agua en el país, se le ha dividido en regiones hidrológicas en función de las 314 cuencas hidrológicas existentes (Plan Hidráulico 1995-2000) lo que contribuye a reunir regiones con características y problemas de agua similares.

Un mayor detalle de las características de las regiones administrativas se presenta en la tabla 2.3.

**tabla 2.3 características de las regiones administrativas de la República Mexicana**

| regiones administrativas | estados  | Superficie (km <sup>2</sup> ) | regiones hidrologicas | cuencas hidrologicas | población (habitantes) | clima  | cobertura    |                | actividad económica relacionada con el uso del agua   |
|--------------------------|--|-------------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|--|--------------|----------------|---|
|                          |  |                               |                       |                      |                        |  | agua potable | alcantarillado |   |
| Noroeste                 | Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Nayarit               | 416 mil (21%)                 | 11                    | 92                   | 7.6 millones (8%)      | El clima es desértico en el norte, donde se presentan precipitaciones importantes en mayo y septiembre. Los deshielos ocasionan grandes avenidas afectando las partes bajas de las cuencas, sin embargo se presentan problemas de sobreexplotación de acuíferos.<br>En el sur el clima es cálido sub-húmedo y las lluvias son de origen ciclónico, y por el relieve accidentado existe un mayor escurrimiento  | 87.4 %       | 67.0%          | La agricultura es la actividad más importante y destacan como demandantes de agua las moliendadoras, el proceso de productos agropecuarios y del mar y la minería. La acuicultura tiene amplias perspectivas en la región, interactuando con la agricultura y la pesca. El turismo y la navegación tienen un desarrollo incipiente en la región |
| Norte                    | Coahuila, Chihuahua, Durango, Nuevo León y la mayor parte de Tamaulipas      | 662 mil (34%)                 | 4                     | 63                   | 11.6 millones (13%)    | La precipitación en general es escasa e irregular concentrándose en la periferia de la región. La precipitación de la zona central ocurre en verano, época en la que se presentan los ciclones tropicales. Las sequías son fenómenos recurrentes que se presentan en promedio cada diez años con duración de 1 a 3 años consecutivos   | 83.2%        | 72.6%          |   |
| Noreste                  | Aguaascalientes, Zacatecas, San Luis Potosí, Veracruz y el sur de Tamaulipas | 222 mil (11%)                 | 4                     | 30                   | 11.8 millones (13%)    | Por su ubicación, la región enfrenta los efectos de los fenómenos meteorológicos extremos como huracanes en el Golfo de México y Océano Pacífico, así como heladas y sequías en el Altiplano   | 73.3%        | 59.9%          | Industria alimenticia, papelería, textil, química, refrigeración, metalmeccánica y petroquímica   |
| Lerma-Balsas             | Colima, Guanajuato, Guerrero, Jalisco, Michoacán y Querétaro                 | 262 mil (13%)                 | 9                     | 78                   | 19 millones (22%)      | El clima predominante es el templado subhúmedo con temperatura media entre 17 y 27°C   | 83.8%        | 67.0%          |   |
| Valle de México          | Hidalgo, Morelos, Puebla, Tlaxcala, Estado de México y el Distrito Federal   | 66 mil (4%)                   | 1                     | 14                   | 29.8 millones (32%)    |  | 88.5%        | 76%            |   |
| Sureste                  | Tabasco, Oaxaca, Chiapas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo                   | 335 mil (17%)                 | 10                    | 47                   | 10.8 millones (12%)    | El clima varía de cálido seco a cálido húmedo. La región es afectada por huracanes y lluvias abundantes, que ocasionan graves daños a centros de irrigación y áreas productivas. Existen grandes escurrimientos debido a las fuertes pendientes de la costa de los estados de Oaxaca y Chiapas; las grandes avenidas de los ríos Grijalva y Usumacinta, Palizada y Comalera que provocan inundaciones en los estados de Tabasco, y Campeche y debido a la infiltración de los suelos calizos de Yucatán y Quintana Roo | 88.9%        | 46.3%          | La demanda de agua para la actividad industrial es incipiente, básicamente se encuentra representada por las explotadoras de PMM X la industria azucarera, embotelladores y servicios turísticos  |
| <b>Total</b>             |  | <b>1 972 000 mil</b>          | <b>39</b>             | <b>314</b>           |                        |  |              |                |   |

adaptado de: Programa Hidráulico 1995-2000

### 2.2.3.2 Sistema hidrológico

#### *Precipitación pluvial*

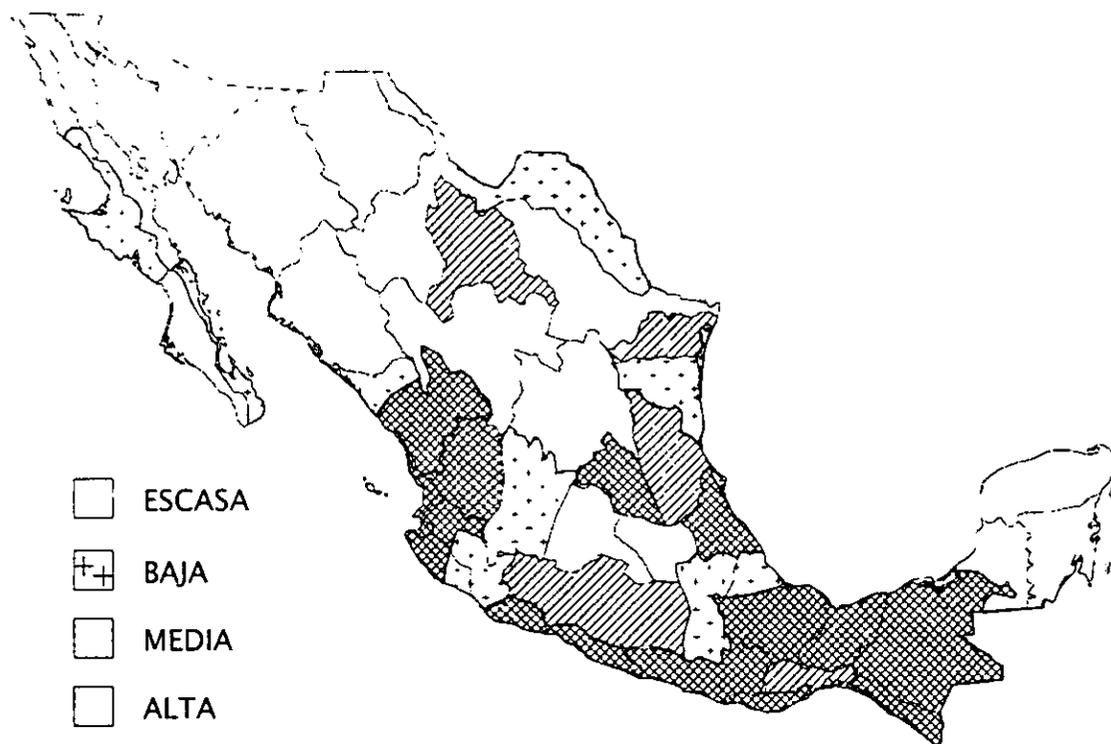
De la superficie total del país, el 52% es árido y semiárido, el 13% es trópico seco, el 20% es templado y el 15% trópico húmedo. La precipitación pluvial anual promedio en el territorio nacional es de 777 mm lo que equivale a un volumen de 1 522 km<sup>3</sup> (48 262 m<sup>3</sup>/s) (Plan Hidráulico 1995-2000). En general, la precipitación en el norte del país es escasa, mientras que la densidad de población es alta, al igual que sus demandas de agua, en contraste, en el sureste y en las vertientes del Golfo de México y del Pacífico, al sur del Trópico de Cáncer hay abundancia del recurso y la población es menor igual que sus demandas de agua.

Básicamente, los fenómenos meteorológicos son el principal factor del cual depende la variabilidad de recurso, ya que además de las variaciones mensuales existen variaciones anuales con periodos extraordinarios de sequía que duran de uno a tres años. También se presentan fenómenos meteorológicos extremos como los ciclones tropicales que afectan principalmente las costas del Golfo de México, el Pacífico y del Caribe, por otro lado hay granizadas y nevadas extraordinarias que afectan la meseta central y del norte del país y a la Sierra de Chihuahua, respectivamente. Estos fenómenos meteorológicos causan grandes daños a lo largo de todo el territorio ya que destruyen tanto zonas habitacionales como grandes áreas de cultivos.

#### *Aguas superficiales*

En cuanto al escurrimiento superficial promedio anual, éste es de 410 km<sup>3</sup> (13 001 m<sup>3</sup>/s), sin embargo la infraestructura hidráulica actual sólo es capaz de regular 82 km<sup>3</sup> (2 600.2 m<sup>3</sup>/s). De esta capacidad de regulación, 26 km<sup>3</sup> (824.5 m<sup>3</sup>/s) son exclusivamente para generación de energía eléctrica, 49 km<sup>3</sup> (1 553.8 m<sup>3</sup>/s) se utilizan para la satisfacción de diversas demandas de agua potable, la industria y el riego, el resto se evapora.

El 50% del volumen escurrido se genera en tan sólo el 20% de la superficie del país localizada en el sureste, mientras que el 4% del escurrimiento se genera en la parte norte del país en una superficie del orden del 30% del territorio nacional. La disponibilidad relativa de agua superficial se presenta en la figura 2.5.

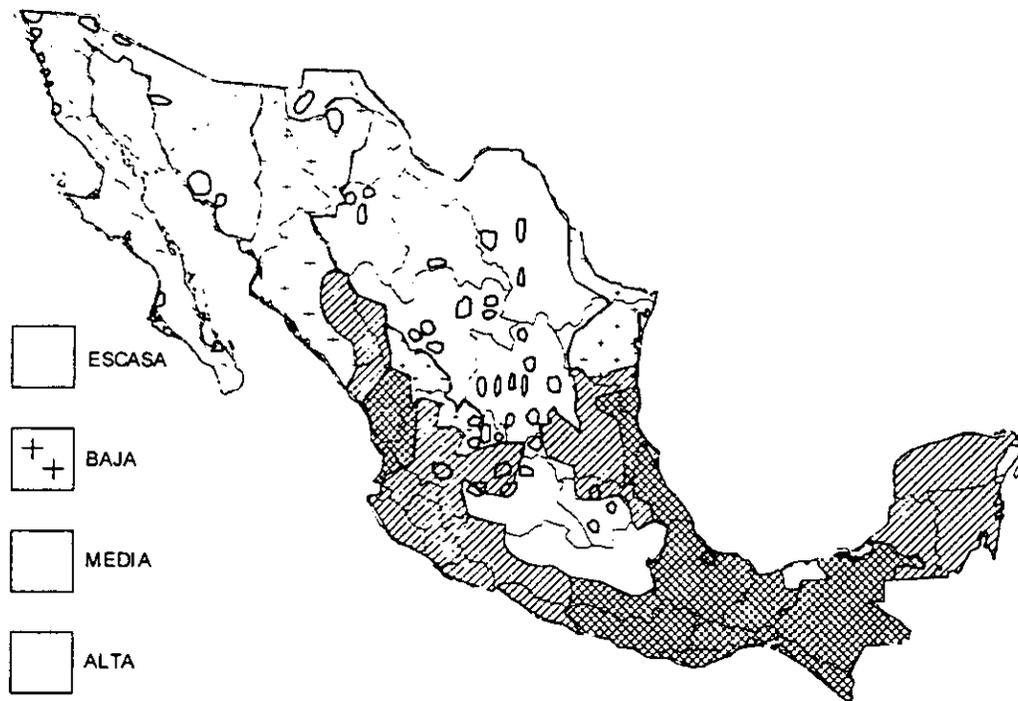


**figura 2.5 disponibilidad relativa del agua superficial**  
fuente: Programa Hidráulico 1995-2000

En la figura 2.5 se observa la parte del sureste es la que cuenta con mayor abundancia del agua superficial, en contraste con el norte del país donde es clara la baja disponibilidad del agua. Hay que recordar que esto se debe a la variabilidad temporal y espacial de los escurrimientos. En la mayor parte del país, las principales lluvias ocurren durante el verano, entre los meses de junio a septiembre. La excepción es la Región Noroeste, donde se presentan dos ciclos lluviosos en el año, uno en verano y otro en invierno. En la península de Baja California, norte de Sonora y la mesa del Norte existen zonas áridas en donde prácticamente no hay escurrimientos superficiales. En contraste, en la vertiente del Golfo y en el resto de la vertiente del Pacífico existen zonas donde el escurrimiento es alto y el drenaje natural es insuficiente, por lo que se presentan inundaciones con frecuencia.

### ***Aguas subterráneas***

De acuerdo con el Plan Hidráulico 1995-2000, se han identificado en el país 459 acuíferos, para los que se estima una extracción total de 24 km<sup>3</sup> (761 m<sup>3</sup>/s) anuales a través de casi 140 mil aprovechamientos subterráneos. Sin embargo, se han detectado problemas de sobreexplotación en 80, ubicados principalmente en las regiones noroeste, norte y Lerma-Balsas. La distribución de agua subterránea y de los acuíferos sobreexplotados se muestra en el ámbito nacional en la figura 2.6.



**figura 2.6 disponibilidad relativa de aguas subterráneas**

fuelle: Programa Hidráulico 1995-2000

La recarga natural promedio de los acuíferos es de 48 km<sup>3</sup> (1 522.1 m<sup>3</sup>/s) anuales, que sumada a la recarga inducida en zonas de riego, que se estima del orden de 15 km<sup>3</sup>/a (475.6 m<sup>3</sup>/s), resulta en una recarga total igual a 63 km<sup>3</sup> (1 997.7 m<sup>3</sup>/s).

Los resultados de los balances geohidrológicos por región administrativa se presentan en la tabla 2.4.

**tabla 2.4 balance de agua subterránea, m<sup>3</sup>/año**

| región          | no. de acuíferos | recarga | extracción | disponibilidad | acuíferos con más del 20% de sobreexplotación |
|-----------------|------------------|---------|------------|----------------|---|
| Noroeste        | 149              | 161.7   | 158.9      | 2.9            | 20  |
| Norte           | 86               | 154.4   | 158.5      | -4.1           | 20  |
| Noreste         | 61               | 52.3    | 46.0       | 6.3            | 17  |
| Jerma-Balsas    | 92               | 258.8   | 234.7      | 23.8           | 19  |
| Valle de México | 26               | 62.2    | 97.7       | -35.8          | 3   |
| Sureste         | 45               | 1 293.8 | 63.1       | 1 231.0        | 1   |
| Nacional        | 459              | 1 978.4 | 758.8      | 1 224.0        | 80  |

fuelle: Programa Hidráulico 1995-2000

La sobreexplotación existente en algunos acuíferos del país, ha inducido problemas de intrusión marina, (en los estados de Baja California Norte y Sur, Sonora y Veracruz) y concentración de sales (estados de Durango, Aguascalientes y la región Lagunera). Por otra parte, las descargas de aguas residuales han contaminado los acuíferos localizados en los valles de Aguascalientes; San Luis Potosí; Mezquital en Hidalgo; León, Celaya y Salamanca, en Guanajuato; y Mérida, Yucatán, entre otros.

## 2.3 CALIDAD

La calidad del agua se encuentra íntimamente ligada con el uso al cual se le destina, ya que no se requiere el mismo tipo de agua para consumo humano que para el agrícola o el industrial. Un claro ejemplo es que un agua con un contenido de hasta 2 mg/L de cobre es apta para consumo humano, mientras que esa misma agua para la generación de energía en una termoeléctrica, provocaría incrustaciones en las calderas. De esta manera, se puede decir que la calidad del agua se define en términos de un listado de características fisicoquímicas y microbiológicas, junto con sus valores, que permiten caracterizar un cuerpo de agua para definir cuál es el uso más adecuado al que se le puede destinar.

En los siguientes apartados, se exponen, *grosso modo*, las características del agua superficial y subterránea, así como una comparación entre ellas.

### 2.3.1 AGUA SUPERFICIAL

El agua superficial puede ser corriente, como en ríos o arroyos, o bien, agua en reposo, como en lagos, embalses, presas y estanques. Las fuentes de abastecimiento superficiales se establecen a partir de corrientes, ríos, lagos o embalses, o por la combinación de diversas fuentes (Gray, 1994):

- ◆ *Corrientes superficiales*, de la lluvia que cae sobre la superficie y fluye directamente a un cuerpo de agua
- ◆ *Precipitación directa*, lluvia que cae directamente sobre un cuerpo de agua
- ◆ *Escurremientos*, exceso de humedad del suelo que constantemente drena a un cuerpo de agua
- ◆ *Descarga del manto freático*, cuando se encuentra un acuífero bajo un cuerpo de agua y el manto freático está suficientemente alto, el agua descargará sobre el cuerpo de agua

En general, se puede definir al agua superficial como toda el agua abierta a la atmósfera susceptible de correr por la superficie terrestre (AWWA, 1990).

La calidad de las corrientes (ríos y arroyos) varía con el flujo y puede cambiar también debido a la precipitación y a derrames accidentales, además, son susceptibles de introducir y transportar contaminantes hacia la red de suministro del agua potable. Por otro lado, los lagos, embalses y estanques, generalmente contienen menos sedimentos que los ríos, pero están sujetos a mayores impactos por la actividad microbiológica y el florecimiento de plantas acuáticas, que en exceso, deterioran la calidad del agua afectando su pH, color, turbiedad, olor y sabor.

Las aguas superficiales son por lo general menos duras, tienen mayor concentración de oxígeno y no contienen ácido sulfhídrico. En contrapartida, son fácilmente contaminables, tienen alta actividad biológica, color, turbiedad, sólidos en suspensión, materia orgánica y material flotante por lo que el tratamiento principal que se les aplica es la remoción de partículas (Jiménez, 1999, en edición).

### 2.3.2 AGUA SUBTERRÁNEA

Las aguas subterráneas constituyen un importante recurso de abastecimiento. Del agua que cae sobre la tierra en forma de lluvia, una parte percola al suelo y pasa a zonas inferiores por acción de la gravedad hasta alcanzar un estrato impermeable y constituir un acuífero.

Existen dos tipos de acuíferos, los confinados y los no confinados (figura 2.1). En un *acuífero no confinado*, el agua drena de la superficie de la tierra y recarga el cuerpo de agua que existe por encima de una capa impermeable de roca. El techo de este acuífero es el nivel freático que se encuentra a la presión atmosférica, su recarga depende de manera directa de la precipitación que ocurra localmente. Mientras que un *acuífero confinado* o *artésiano* es aquel que se encuentra confinado entre dos capas de roca impermeables al agua. En éste, el agua se encuentra bajo una mayor presión que en un acuífero no confinado ya que el nivel freático está a una presión mayor a la atmosférica (Stewart, 1990).

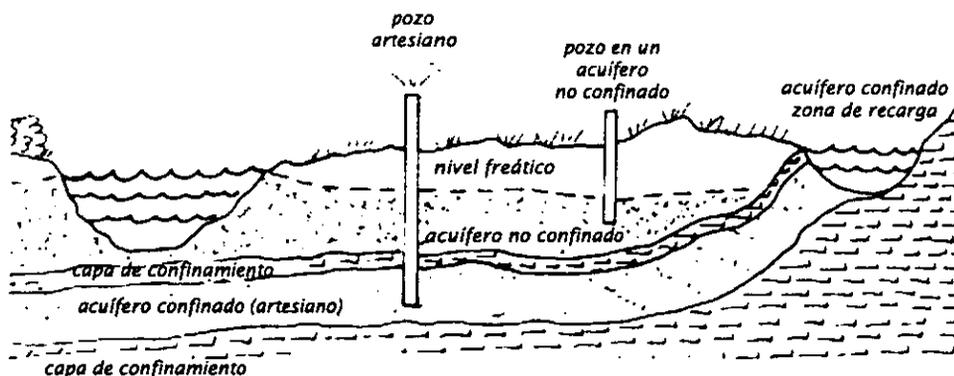


figura 2.7 acuíferos confinados y no confinados

fuelle: Stewart, 1990

La calidad de las aguas subterráneas generalmente se considera superior a las aguas superficiales, tomando en consideración el bajo o nulo contenido bacteriológico, de turbiedad y de concentraciones orgánicas totales; aunque puede variar de un sitio a otro debido a los cambios en las condiciones hidrológicas y geológicas de cada lugar, los factores naturales de los que depende su calidad son (Gray, 1994):

- (1) El agua de lluvia que percola hacia el acuífero, que varía en términos de los contaminantes arrastrados durante la precipitación,
- (2) El agua subterránea existente, que puede tener cientos de años almacenada,
- (3) El suelo a través del que percola la lluvia y que puede ser fuente de diversos contaminantes según el uso que se le dé al terreno, y
- (4) La geohidrología del confinamiento del acuífero

En ocasiones, el acuífero puede contener altos contenidos de metales (por lo común hierro y manganeso) por disolución de componentes del suelo en el cual se encuentra contenida.

Por otro lado, es importante mencionar que los acuíferos se encuentran expuestos a la contaminación, principalmente por el arrastre de contaminantes a través del subsuelo y los escurrimientos que son resultado de las actividades humanas (tabla 2.1). Los acuíferos localizados cerca de asentamientos humanos se encuentran también expuestos a rellenos sanitarios, por lo que contienen altas concentraciones de compuestos químicos debido a la lixiviación.

**tabla 2.5 fuentes potenciales de contaminantes del agua subterránea**

| fuentes   | posible contaminante   |
|---|--|
| - Derrames accidentales   | Químicos orgánicos e inorgánicos   |
| - Lluvia ácida  | SO <sub>2</sub> y NO <sub>x</sub>  |
| - Actividades agrícolas   | Fertilizantes, pesticidas, herbicidas y fumigantes   |
| - Abrevaderos para animales   | Material orgánico, N y P   |
| - Descongelamiento de caminos   | Cl <sup>-</sup> , Na y Ca  |
| - Inyección en pozo profundo de residuos                                  | Compuestos orgánicos e inorgánicos, material radiactivo y radionúclidos                        |
| - Sitios de disposición de residuos                                       | Compuestos orgánicos (pesticidas y contaminantes prioritarios) e inorgánicos (metales pesados) |
| - Almacenamiento de residuos líquidos industriales en lagunas y estanques | Metales pesados, solventes y desengrasantes  |
| - Relleno sanitario industrial  | Compuestos orgánicos e inorgánicos   |
| - Relleno sanitario municipal   | Metales pesados, gases y compuestos orgánicos e inorgánicos                                    |
| - Disposición en suelo de líquidos y residuos semisólidos industriales    | Compuestos orgánicos, metales pesados, solventes y desengrasantes                              |
| - Disposición en suelo de aguas residuales municipales y lodos residuales | Compuestos orgánicos e inorgánicos, metales pesados, y contaminantes microbiológicos           |
| - Minería   | Minerales y drenados ácidos  |
| - Lluvia  | Cl <sup>-</sup> , (SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> , compuestos orgánicos                      |
| - Intrusión salina  | Sales inorgánicas  |
| - Tanques sépticos,   | Materia orgánica, N, P y bacterias   |
| - Tanques de almacenamiento subterráneos                                  | Compuestos orgánicos para limpiar y desengrasar, productos del petróleo y residuos peligrosos  |

fuentes: Tchobanoglous y Schroeder, 1985

### 2.3.3 PRINCIPALES DIFERENCIAS ENTRE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

A manera de resumen, en la tabla 2.2 se presentan las principales diferencias existentes entre las aguas superficiales y las subterráneas. Se puede observar que en las aguas superficiales hay una mayor variabilidad, tanto de las sustancias y parámetros presentes, como de sus concentraciones, debido principalmente a la exposición del agua a la atmósfera, lo que provoca que el agua cambie su composición de acuerdo a las características del ambiente.

**tabla 2.6 principales diferencias entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas**

| características examinadas                       | aguas superficiales  | aguas subterráneas  |
|--|--|---|
| Temperatura                                      | Variable según la época del año.   | Relativamente constante.  |
| Turbiedad (materia en suspensión)                | Variabes, a veces elevadas.  | Bajas o nulas.  |
| Mineralización                                   | Variable en función de los terrenos, precipitación, vertidos, etc.                     | Sensiblemente constante, generalmente mayor que en las superficie de la misma región. |
| Fierro y manganeso divalentes en estado disuelto | Generalmente ausentes, salvo en el fondo de cauces de agua en estado de eutroficación. | Generalmente presentes.   |
| Dióxido de carbono                               | Generalmente ausente.  | Normalmente presente en gran cantidad.  |
| Oxígeno disuelto                                 | Normalmente próximo a saturación.  | Ausencia total en la mayoría de los casos.  |
| Amonio   | Presente sólo en aguas contaminadas.   | Presencia frecuente, sin ser un índice sistemático de contaminación.                  |
| Ácido sulfhídrico                                | Ausente.   | Normalmente presente.   |
| Sílice   | Contenido moderado.  | Contenido normalmente elevado.  |
| Nitratos   | Poco abundante en general.   | Contenido a veces elevado, riesgo de metahemoglobinemia.                              |
| Microorganismos                                  | Bacterias (algunas patógenas), virus, plancton.  | Frecuentes ferrobacterias.  |

fuelle: Degrémont, 1979

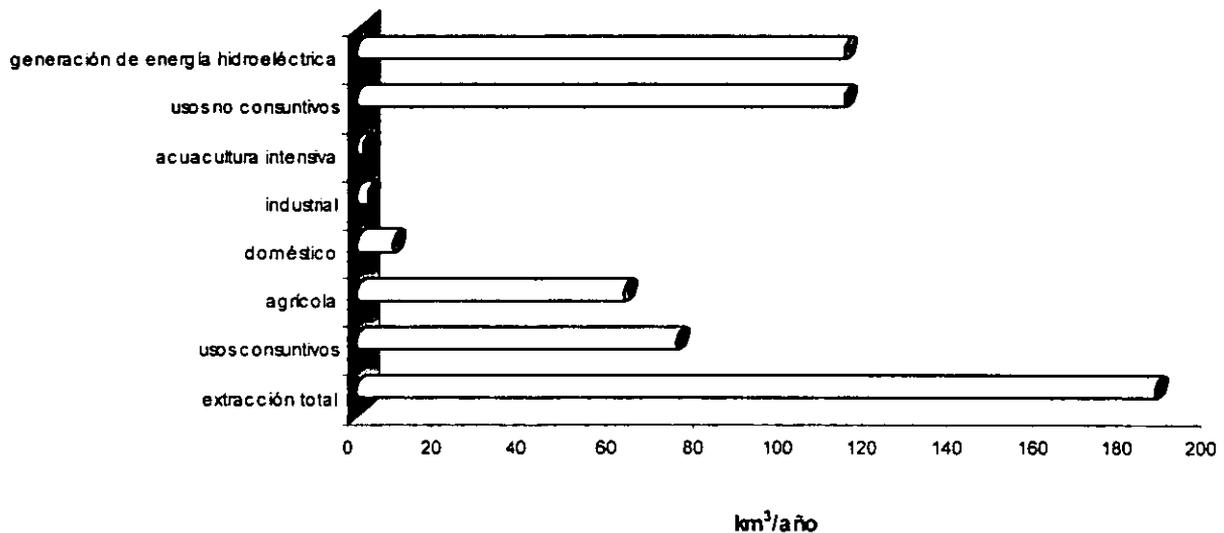
Como es claro, las aguas subterráneas tienen una composición más constante en comparación con las superficiales, ya que éstas últimas reciben del medio que las rodea grandes cantidades de materiales, en contrapartida, la concentración de minerales y gases de las aguas subterráneas es mayor debido al lavado del material que contiene las aguas.

En general, se considera que es más económico suministrar agua subterránea que agua superficial debido a su bajo costo de tratamiento, siempre y cuando no se encuentre en zonas muy profundas o de difícil perforación y su calidad sea la adecuada. Esta

aseveración no toma en cuenta la disponibilidad del recurso, que es no renovable y sí se explota a una tasa mayor a la de la recarga puede llegar a agotarse (Jiménez, 1999, en edición).

### 2.3.4 USOS DEL AGUA

De acuerdo con el Plan Hidráulico 1995-2000, los diversos usos en los que se aprovecha el agua se diferencian por ser consuntivos y no consuntivos. Los primeros impactan en la disponibilidad porque aprovechan el agua y sólo retornan una parte de ésta (p. ej. el agua utilizada para riego); mientras que los no consuntivos, como el uso en la generación hidroeléctrica, retornan la totalidad del agua aprovechada. Asimismo se estima que en 1995, la extracción total para los principales usos fue de 186.7 km<sup>3</sup> (5 920.2 m<sup>3</sup>/s), de los cuales 73.5 km<sup>3</sup> (2 330.7 m<sup>3</sup>/s) se destinaron para los usos consuntivos distribuidos de la siguiente manera: agrícola 61.2 (1 940.6 m<sup>3</sup>/s), doméstico 8.5 (269.5 m<sup>3</sup>/s), industrial 2.5 (79.3 m<sup>3</sup>/s), acuacultura intensiva 1.3 (41.2 m<sup>3</sup>/s); y los restantes 113.2 km<sup>3</sup> (3 589.5 m<sup>3</sup>/s) se destinaron para la generación de energía hidroeléctrica (Plan Hidráulico 1995-2000). La figura 2.8 presenta la distribución del agua de acuerdo con los volúmenes de extracción y usos.



**figura 2.8 México: extracción y usos del agua, 1995**  
fuente: INEGI-SEMARNAP, 1997

A continuación, se definen los usos marcados en el Programa Hidráulico 1995-2000.

### 2.3.4.1 Uso doméstico

En este uso, el Programa Hidráulico 1995-2000 incluye el agua distribuida por medio de las redes municipales a los hogares, los comercios, las industrias y a los servicios propios del municipio. Según la información de la CNA<sup>1</sup> y la CONAPO<sup>2</sup> se estima que a escala nacional, en 1995, de una población total de 91.6 millones de habitantes, 15.1 millones carecen de servicio de agua potable y 30.2 millones de alcantarillado (tabla 2.7). Los mayores rezagos se localizan en el medio rural con 47.5% sin servicio de agua potable y 79.1% sin servicio de alcantarillado.

**tabla 2.7 cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado por tamaño de localidad en 1995**

| tamaño de localidad | número de localidades | población (%) | cobertura agua potable (%) | cobertura alcantarillado (mill. hab.) | población con agua potable (mill. hab.) | población con alcantarillado |
|---------------------|-----------------------|---------------|----------------------------|---------------------------------------|---|------------------------------|
| <b>urbano</b>       |                       |               |                            |                                       |   |                              |
| 80,000 o más        | 103                   | 42.1          | 97.8                       | 92.1                                  | 41.2                                    | 38.8                         |
| 50,000-79,999       | 43                    | 2.9           | 96.3                       | 92.6                                  | 2.8                                     | 2.7                          |
| 5,000-49,999        | 1,135                 | 15.1          | 95.1                       | 79.2                                  | 14.4                                    | 12.0                         |
| 2,500-4,999         | 1,509                 | 5.3           | 84.3                       | 47.1                                  | 4.4                                     | 2.4                          |
| <b>Subtotal</b>     | <b>2,790</b>          | <b>65.4</b>   | <b>96.0</b>                | <b>85.5</b>                           | <b>62.8</b>                             | <b>55.9</b>                  |
| <b>rural</b>        |                       |               |                            |                                       |   |                              |
| 1,000-2,499         | 4,661                 | 8.3           | 67.6                       | 31.0                                  | 5.6                                     | 2.6                          |
| 1-999               | 149,152               | 17.9          | 45.4                       | 16.2                                  | 8.1                                     | 2.9                          |
| <b>Subtotal</b>     | <b>153,813</b>        | <b>26.2</b>   | <b>52.5</b>                | <b>20.9</b>                           | <b>13.7</b>                             | <b>5.5</b>                   |
| <b>total</b>        | <b>156,603</b>        | <b>91.6</b>   | <b>83.5</b>                | <b>67.0</b>                           | <b>76.5</b>                             | <b>61.4</b>                  |

fuentes: Programa Hidráulico, 1995-2000

Asimismo se estima que la extracción total de agua para este uso es de 270 m<sup>3</sup>/s y existe capacidad instalada para desinfectar el 95% del agua que se suministra a la población, mientras que aproximadamente, sólo 70 m<sup>3</sup>/s reciben un proceso de potabilización.

En el país, se generan 231 m<sup>3</sup>/s (100 %) de aguas residuales y sólo se recolectan en el alcantarillado 174 m<sup>3</sup>/s (75 %). Se cuenta con la infraestructura para tratar 43 m<sup>3</sup>/s (19 %); sin embargo, sólo se tratan adecuadamente 17 m<sup>3</sup>/s (7 %) por lo que se descargan al medio ambiente sin tratar 214 m<sup>3</sup>/s (93 %). La falta de alcantarillado o de letrinas para disposición de excretas ha ocasionado el incremento en los riesgos de brotes de cólera, que han ido en aumento a partir de 1994. Hay que resaltar que la responsabilidad del servicio de agua potable y saneamiento recae directamente en los municipios; mientras

<sup>1</sup> CNA: Comisión Nacional de Agua

<sup>2</sup> CONAPO: Comisión Nacional de Población

que el control de la contaminación lo ejerce el Gobierno Federal (Plan Hidráulico 1995-2000).

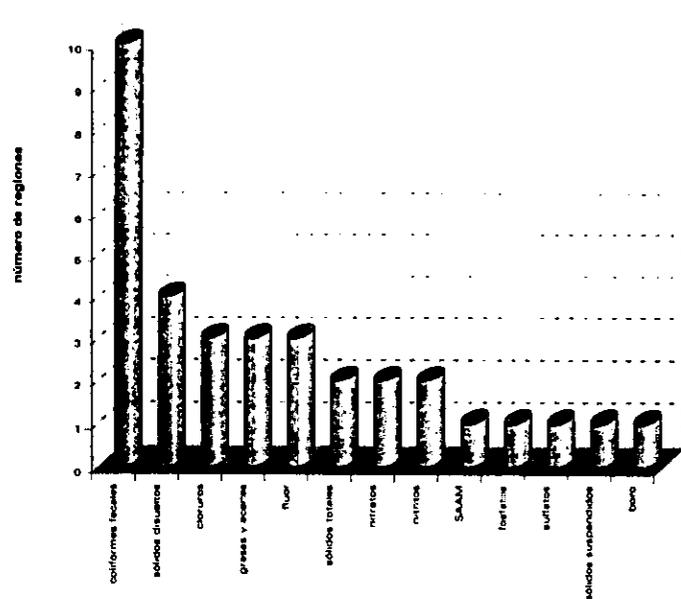
En un estimativo del Plan Hidráulico 1995-2000, se calcula que para el año 2000, el país tendrá 99.2 millones de habitantes, de los cuales 70.8 millones estarán concentrados en el medio urbano y 28.4 millones en el medio rural. Para que en ese año cuente con agua potable el 87.5% de la población, se debe dotar del servicio a otros 10.3 millones de habitantes, para alcanzar un total de 86.8 millones. Para que cuente con alcantarillado el 76.3% de la población, se debe proporcionar el servicio a otros 14.3 millones de habitantes, con el fin de alcanzar un total de 75.7 millones (tabla 2.8).

**tabla 2.8 perspectivas de los servicios de agua potable y alcantarillado en el ámbito nacional para el periodo 1995-2000**

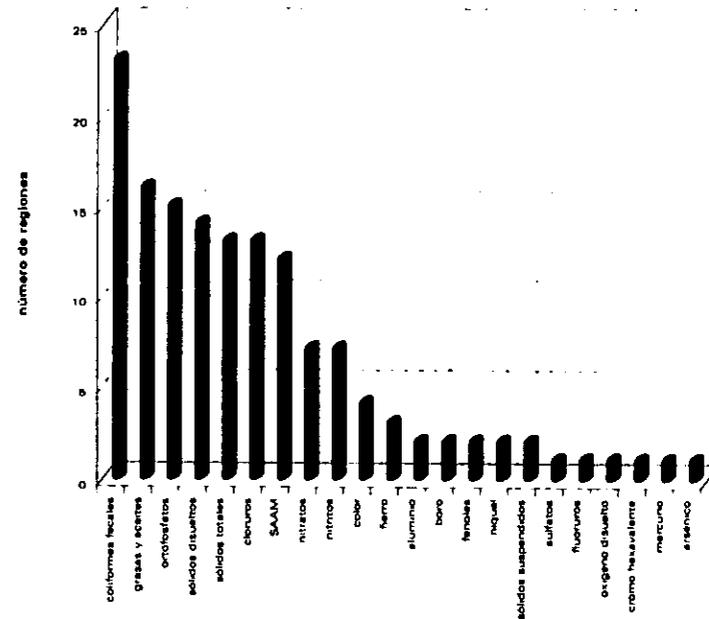
| tamaño de localidad | población (año 2000) | cobertura agua potable | cobertura alcantarillado | población servida con agua potable (mill. hab.) | población beneficiada con agua potable (mill. hab.) | población servida con alcantarillado (mill. hab.) | población beneficiada con alcantarillado (mill. hab.) 1995-2000 |
|---------------------|----------------------|------------------------|--------------------------|---|---|---|---|
| <b>urbano</b>       |                      |                        |                          |   |   |   |   |
| 80,000 o más        | 43.6                 | 97.8                   | 92.1                     | 44.6  | 3.4   | 42.0  | 3.2   |
| 50,000-79,999       | 3.2                  | 96.3                   | 92.6                     | 3.0   | 0.2   | 2.9   | 0.2   |
| 5,000-49,999        | 16.3                 | 95.1                   | 79.2                     | 15.6  | 1.2   | 13.0  | 1.0   |
| 2,500-4,999         | 5.7                  | 84.3                   | 47.1                     | 4.8   | 0.4   | 2.7   | 0.2   |
| Subtotal            | 70.8                 | 96.0                   | 85.5                     | 68.0  | 5.2   | 60.6  | 4.6   |
| <b>rural</b>        |                      |                        |                          |   |   |   |   |
| 1,000-2,499         | 9.0                  | 80.0                   | 60.0                     | 7.2   | 1.6   | 5.4   | 2.9   |
| 1-999               | 19.4                 | 60.0                   | 50.0                     | 11.6  | 3.5   | 9.7   | 6.8   |
| Subtotal            | 28.4                 | 66.3                   | 53.2                     | 18.8  | 5.1   | 15.5  | 9.7   |
| <b>total</b>        | <b>99.2</b>          | <b>87.5</b>            | <b>76.2</b>              | <b>86.8</b>                                     | <b>10.3</b>   | <b>75.7</b>                                       | <b>14.3</b>   |

fuentes: Programa Hidráulico 1995-2000

En un estudio realizado por Jiménez y Ramos (1995), a partir de los datos proporcionados por la Red Nacional de Monitoreo, se indica que el principal contaminante de los cuerpos de agua para abastecimiento humano son los coliformes fecales que se presentan, en 23 regiones superficiales y en 10 subterráneas. Los parámetros que con mayor frecuencia se presentan como contaminantes del agua se presentan en la figura 2.9. Mayor información se presentara en el último apartado de este capítulo.



cuerpos de agua subterráneos



cuerpos de agua superficiales

**figura 2.9 Parámetros que con mayor frecuencia son excedidos para suministro de agua para consumo humano en cuerpos de agua subterráneos y superficiales**

fuentes: Jiménez y Ramos, 1995

### 2.3.4.2 Uso agrícola

El Programa Hidráulico 1995-2000 reporta que la agricultura en México, se practica en una superficie de aproximadamente 20 millones de hectáreas, de las cuales 6.2 son de riego y el resto de temporal y temporal tecnificado. El volumen de agua que se extrae anualmente para este uso es de 61.2 km<sup>3</sup> (1 940.6 m<sup>3</sup>/s); las mayores proporciones se extraen de las regiones Lerma-Balsas y Noroeste (tabla 2.9), siendo en todos los casos la extracción superficial superior al 50%.

**tabla 2.9 volumen nacional de agua extraída para riego por región administrativa según la CNA**

| región          | total<br>(m <sup>3</sup> /s) | agua superficial<br>(m <sup>3</sup> /s) | agua subterránea<br>(m <sup>3</sup> /s) |
|-----------------|------------------------------|---|---|
| total nacional  | 1 940.6                      | 1 303.3                                 | 637.4                                   |
| Noroeste        | 564.4                        | 393.2                                   | 171.2                                   |
| Norte           | 342.5                        | 202.9                                   | 139.5                                   |
| Noreste         | 114.2                        | 98.3                                    | 15.9                                    |
| Lerma-Balsas    | 621.5                        | 409.1                                   | 212.5                                   |
| Valle de México | 136.4                        | 92.0                                    | 44.4                                    |
| Sureste         | 161.7                        | 107.8                                   | 53.9                                    |

fuentes: Programa Hidráulico 1995-2000

De los principales problemas que se presentan en la producción agrícola, que se derivan del uso inadecuado del agua destacan la pérdida del 35% (21.2 km<sup>3</sup>/s, 672.2 m<sup>3</sup>/s) del volumen extraído por la evaporación o fallas en la conducción; del 65% (40 km<sup>3</sup>/s, 1 268.4 m<sup>3</sup>/s) aprovechado 12 km<sup>3</sup>/s (380.5 m<sup>3</sup>/s) regresan al ciclo hidrológico por infiltración, arrastrando consigo residuos de pesticidas y fertilizantes que favorecen la proliferación de maleza acuática y demeritan la calidad del agua que vuelve a ser extraída.

Ya que el 92% de la superficie de riego utiliza el método de gravedad, y en muchos casos se emplea el riego por inundación sin control, se ocasionan desperdicios y baja eficiencia en el aprovechamiento (eficiencia global del 45%).

Se estima que para el año 2000 se incorporen al riego 104 000 ha para los que se requerirían 2 km<sup>3</sup> (63.4 m<sup>3</sup>/s) anuales del recurso.

### **2.3.4.3 Uso industrial**

Este uso se refiere al agua empleada por las industrias que se abastecen directamente de los cuerpos de agua y descargan a cuerpos receptores. No incluye termoeléctricas ni industrias que se abastecen de las redes de agua potable y vierten sus desechos en las redes de alcantarillado municipales.

Se estima que en 1994 el volumen suministrado a la industria fuera de zonas urbanas fue de 2.5 km<sup>3</sup>/s (78.7 m<sup>3</sup>/s). Este volumen corresponde a 1 387 empresas consideradas como las más importantes por el uso y descarga de agua (no considera 5.0 km<sup>3</sup>/año, 158.5 m<sup>3</sup>/s, de termoeléctricas que usan agua salobre). El 75% del suministro para este uso proviene del agua subterránea, y el 25% restante de fuentes superficiales. El 35% del volumen total de agua se utiliza como materia prima o como medio de producción en distintos procesos, por lo que su calidad es un factor importante para este uso.

Al evaluar la información de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua, se observó que en las condiciones actuales es difícil el aprovechamiento del agua superficial por la industria, ya que el 58% se clasifica como contaminada, el 21% como fuertemente contaminada.

Para el año 2000 se estima una demanda de agua de 82 m<sup>3</sup>/s, en tanto que la descarga de aguas residuales será de 66 m<sup>3</sup>/s.

### **2.3.4.4 Uso para recreación y turismo**

El Plan Hidráulico 1995-2000 se refiere este uso a las actividades de contacto directo con el agua como son el baño recreativo, la natación, el buceo; asimismo la pesca, la navegación y demás actividades recreativas y deportivas; además de las actividades de esparcimiento como el descanso y la contemplación del paisaje. No comprende suministro de agua a hoteles ni a actividades comerciales, los cuáles están considerados en los usos consuntivos.

La República Mexicana cuenta para este uso con 137 lagunas costeras que suman 1,250,000 hectáreas, con cuerpos de agua dulce (lagos, lagunas y embalses) que suman 2,900,000 hectáreas; y con numerosos ríos, arroyos y cascadas que constituyen un gran potencial de recursos para fines recreativos y turísticos.

### **2.3.4.5 Acuicultura y pesca**

En México existe una superficie en cuerpos de aguas nacionales de 3.8 millones de hectáreas, de las cuales 2.9 corresponden a agua salada en litorales y 0.9 a agua dulce. En agua salada/salobre el área potencial para acuicultura se estima en poco más de 2 millones de hectáreas; de éstas, hay 450 mil propicias para el cultivo del camarón y 1.6 millones para otras especies. Actualmente sólo se aprovechan 16 mil hectáreas en

camarón y 30 mil hectáreas en otras especies. En agua dulce el potencial es de 900 mil hectáreas y se utilizan 754 mil hectáreas con alcances muy limitados.

El potencial acuícola se ha reducido por la contaminación en diferentes cuerpos de agua dulce y salada, ocasionada por la contaminación que producen la industria, la agricultura y las actividades urbanas. Algunos de los cuerpos de agua con problemas de contaminación son los lagos de Chapala, Pátzcuaro y Cuitzeo (agua dulce). De los cuerpos de agua salada son las lagunas de Tamiahua, Alvarado y Términos, así como los ríos Pánuco, Coatzacoalcos, Fuerte y Mayo.

#### 2.3.4.6 Uso para generación de energía eléctrica

En 1994 se extrajeron 113.5 km<sup>3</sup> (3 599.1 m<sup>3</sup>/s) de agua para la generación de energía eléctrica, aproximadamente el 99% de este volumen fue utilizado por centrales hidroeléctricas y el resto por las centrales termoeléctricas. Por región las hidroeléctricas que utilizan un mayor volumen de agua se localizan en el sureste y noreste del país. Entre las plantas hidroeléctricas más importantes destacan las siguientes: La Angostura, Chicoasén, Malpaso y Peñitas, en el río Grijalva; El Infiernillo, La Villita y Caracol, en el río Balsas; y Temascal, en el Papaloapan. Recientemente se incorporaron Agua Prieta, Aguamilpa, Zimapán y Huites (tabla 2.10).

**tabla 2.10 extracción de agua para generación de energía eléctrica en 1994**

| región          | centrales<br>termoeléctricas<br>m <sup>3</sup> /s | centrales hidroeléctricas<br>m <sup>3</sup> /s | total<br>m <sup>3</sup> /s |
|-----------------|---|--|----------------------------|
| Noroeste        | 0.0   | 469.3  | 469.3                      |
| Norte           | 2.2   | 120.5  | 122.7                      |
| Noreste         | 3.6   | 88.8   | 92.4                       |
| Lerma - Balsas  | 0.7   | 1 081.3  | 1 082.0                    |
| Valle de México | 1.3   | 12.7   | 14.0                       |
| Sureste         | 0.2   | 1 820.1  | 1 820.3                    |
| <b>totales</b>  | <b>4.8</b>  | <b>3 589.5</b>                                 | <b>3 595.9</b>             |

fuelle: Programa Hidráulico 1995-2000

En las termoeléctricas se consume agua debido a la evaporación que se genera en el enfriamiento. En algunas centrales se utilizan sistemas cerrados para recircular el agua y disminuir el consumo del recurso. Aunque en estos sistemas se generan concentraciones de sales, lo que representa un riesgo de contaminación cuando se efectúan las purgas de los equipos. El incremento de la temperatura del agua utilizada en estas centrales es otro problema que afecta los ecosistemas acuáticos.

Se estima que para el año 2000 la demanda de agua será de 142 km<sup>3</sup>/año (4 502.8 m<sup>3</sup>/s) para hidroelectricidad, y de 2.89 km<sup>3</sup>/año (91.6 m<sup>3</sup>/s) para el enfriamiento en termoeléctricas.

#### **2.3.4.7 Uso para la navegación**

El uso del agua con fines de navegación en nuestro país ha sido limitado; sin embargo, es importante considerarlo debido a que puede afectar la calidad del agua y por ende a otros usos como la recreación, el turismo y la pesca. Es prioritario conciliar dos aspectos: por una parte impulsar el uso de la navegación por su contribución al transporte, al comercio y a la recreación, y por otra parte, cuidar que esta actividad no limite a los demás usos.

Los cuerpos de agua interiores como son algunos ríos y estuarios para navíos de pequeño calado son aprovechados para transporte de productos comerciales y para recreación o turismo, aunque en menor escala.

La navegación afecta la calidad del agua de los ríos y estuarios por las descargas de residuos líquidos y sólidos, originados por fugas y por accidentes en la navegación y embarcaderos. Aún en la operación normal, las pequeñas embarcaciones y motocicletas acuáticas que usan motores de dos tiempos, arrojan grasas y aceites.

Hay que señalar que la falta de vigilancia en los puertos para controlar las descargas de contaminantes al agua y para evitar la navegación intensiva en zonas que requieren protección ecológica. Se estima que el crecimiento de esta actividad en los diversos embalses se mantendrá al ritmo actual y sólo tendrá un ligero crecimiento en los puertos y estuarios.

#### **2.3.4.8 Uso por el medio natural**

En el Programa Hidráulico 1995-2000 se considera al medio natural como usuario del agua reconociendo el papel que desempeñan los cuerpos de agua y humedales como sostén de los ecosistemas, ya que la protección del medio natural implica considerar no sólo la calidad intrínseca del agua, sino también la morfología y los intercambios de agua entre los cuerpos de agua superficiales, los humedales y el agua del subsuelo. Sólo un enfoque integral que considere todos los aspectos mencionados podrá permitir un adecuado uso del recurso.

Aunque a la fecha no se han definido criterios para cuantificar las demandas de agua por el medio natural, existen normas para que no se contaminen los cuerpos de agua, más no aseguran los volúmenes mínimos que se deben mantener en éstos. Para esto se requiere conocer la relación que existe entre la disponibilidad del agua y la naturaleza para determinar los caudales y volúmenes que deban existir en los cuerpos de agua de manera que no se afecte la sustentabilidad de los ecosistemas.

### 2.3.5 CONTAMINANTES DEL AGUA

Cuando a un cuerpo de agua (superficial o subterráneo) se le considera contaminado, se quiere decir que dentro de él hay sustancias ajenas a ese sistema, o bien, existen algunas que se encuentran en exceso. Los efectos que pueden ocasionar estos factores son diversos modificando tanto la flora como la fauna del medio y, por tanto, alterando el equilibrio del ecosistema.

Las vías de exposición del agua ante los contaminantes se clasifican típicamente en dos tipos: las naturales y las antropogénicas. La vía natural es resultado del arrastre de contaminantes que realiza la lluvia al caer, o bien, por la disolución de minerales en las aguas subterráneas. Mientras que la exposición antropogénica incluye cualquier desecho que provenga de las actividades del hombre como descargas de los centros de población e industriales, escurrimientos agrícolas que traen consigo residuos de pesticidas, entre otros. Es importante destacar que las descargas de aguas residuales son una fuente importante de enfermedades.

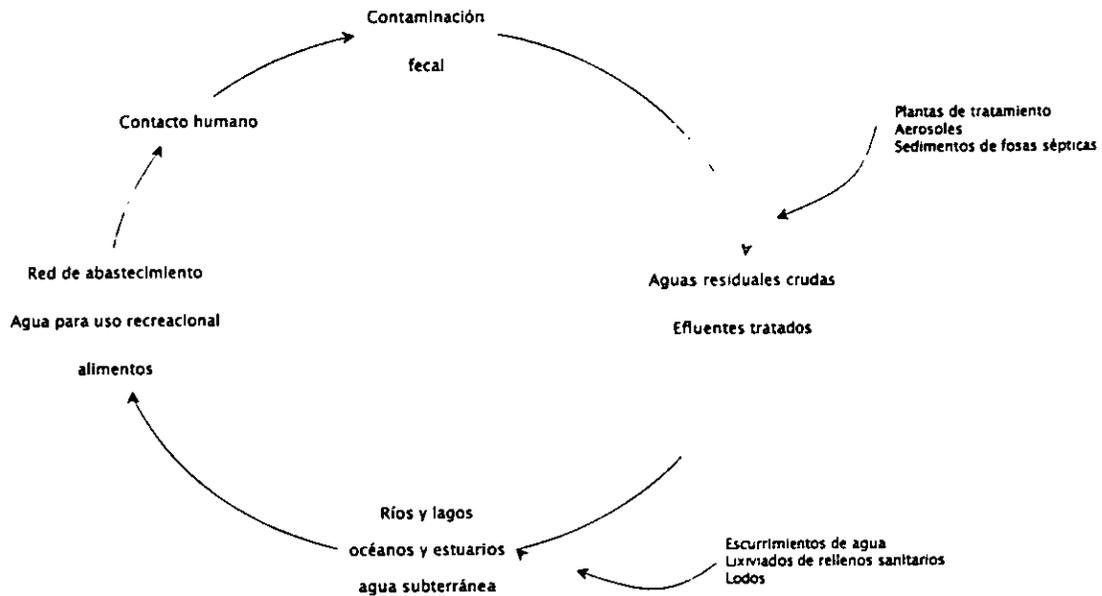
Para dar a conocer las características de los contaminantes del agua, éstos se agrupan dentro de los siguientes grupos:

- ⇒ Microbiológicos
- ⇒ Inorgánicos
- ⇒ Orgánicos
- ⇒ Radiactivos
- ⇒ Físicos

#### 2.3.5.1 Microbiológicos

La contaminación microbiológica del agua se origina por la presencia de microorganismos parásitos patógenos capaces de provocar enfermedades infecciosas que entran al agua por el acarreo de las excreciones humanas y animales de sangre caliente. Entre éstos se encuentran algunas especies de virus, bacterias, protozoarios y helmintos.

En la figura 2.10, el contacto entre el hombre y los microorganismos parásitos patógenos se da principalmente cuando el agua, de suministro o para usos recreativos, ha recibido escurrimientos contaminados, o bien, cuando las aguas residuales no se han tratado correctamente y quedan residuos de éstos patógenos. Otra fuente muy importante son los alimentos, que al ser regados con agua contaminada (p. ej. por lixiviados de las aguas utilizadas para el ganado) quedan infectados.



**figura 2.10 transmisión de los organismos patógenos al hombre por medio del agua**

adaptado de: WEF, 1995

A continuación se presenta una descripción de los principales grupos causantes de enfermedades que pueden presentarse en el agua para suministro humano.

### ***agentes virales***

Un virus es un elemento genético que no posee membranas propias, ribosomas productores de proteínas, citoplasma o fuentes de energía. No puede moverse ni crecer y requiere de una célula hospedero para llevar a cabo su replicación. Una partícula de virus es muy pequeña, entre 0.05 y 0.2  $\mu\text{m}$  de diámetro, por lo que sólo puede observarse con un microscopio electrónico. Los virus constan de dos partes principales: una molécula de material hereditario, ya sea ADN o ARN, y una capa de proteína que rodea la molécula, en estas condiciones el virus se caracteriza por tener un estado extracelular donde es metabólicamente inerte y no realiza funciones de respiración o biosíntesis. Una vez que el virus se ha introducido en una célula, se inicia el estado intracelular en el que se origina la reproducción. El procedimiento mediante el cual el genoma se introduce en la célula se conoce como infección. Cuando una célula ha sido infectada sintetiza la información genética del virus, de manera que al reproducirse generará células infectadas provocando su muerte. En la tabla 2.11 se presenta una lista de los virus que se encuentran relacionados con enfermedades del agua.

**tabla 2.11 patógenos virales relacionados con enfermedades del agua**

| agente            | enfermedad  | huésped |
|-------------------|---|---------|
| Adenovirus        | Enfermedades respiratorias, infecciones en los ojos.          | Humanos |
| Virus coxsackie A | Herpangina, meningitis, fiebre.                               | Humanos |
| Virus coxsackie B | Miocarditis, enfermedades respiratorias, pleurodynia, fiebre. |         |
| Ecovirus          | Meningitis, diarrea, fiebre.                                  | Humanos |
| Hepatitis A       | Hepatitis infecciosa.   | Humanos |
| Polivirus         | Poliomielitis, meningitis y fiebre.                           | Humanos |
| Reovirus          | No establecido claramente.                                    | ?       |
| Rotavirus         | Gastroenteritis.  | ?       |

adaptado de: Droste, 1997 y Caceres, 1990

La identificación de los virus se efectúa mediante la observación de la destrucción de células en tejidos, por enfermedades en animales, por cambios en fluidos y membranas y en circunstancias especiales por su acción en el hombre (Caceres, 1990).

### ***bacterias***

Las bacterias son miembros del reino Monera, unicelulares, procarióticos<sup>3</sup>, generalmente son muy pequeñas, con rangos entre 0.2 y 10  $\mu\text{m}$  de diámetro. Las bacterias obtienen su energía de varias formas. Algunas, comprendidas las cianobacterias, dependen de la fotosíntesis. Otras son quimiosintetizantes, rompen moléculas inorgánicas para obtener energía. Las formas heterotróficas son capaces de consumir una amplia variedad de compuestos orgánicos. La mayor parte no daña a los seres humanos y son importantes en los ecosistemas naturales. Sin embargo, algunas bacterias son patógenas y causan trastornos como la neumonía, el tétanos, el botulismo y las enfermedades venéreas.

La transmisión de las bacterias patógenas, puede producirse a través del agua y los alimentos contaminados, por el contacto con personas y animales infectados y la exposición a aerosoles (p. ej. la descarga de desagües a orillas del mar que provoca la brisa marina). La identificación de bacterias se realiza por las formas de su comportamiento en ciertos medios como en reacciones colorimétricas, producción de gas y formación de colonias (Caceres, 1990). La tabla 2.12 presenta las bacterias más comunes responsables de diversas enfermedades hídricas como la diarrea o la disentería (gastroenteritis).

<sup>3</sup> No tienen organelos como son el núcleo, cloroplastos, ni mitocondrias.

**tabla 2.12 bacterias patógenas responsables de algunas enfermedades hídricas**

| agente                       | enfermedad                                  | huesped            |
|------------------------------|---|--------------------|
| <i>Campylobacter</i> spp.    | diarrea                                     | animales           |
| <i>Legionella</i> spp.       | neumonía                                    | hábitats acuáticos |
| <i>Leptospira</i> spp.       | leptospirosis                               | humanos y animales |
| <i>Mycobacterium</i> spp.    | tuberculosis                                | humanos y ganado   |
| <i>Pasturella tularensis</i> | tularemia                                   | humanos y animales |
| <i>Salmonella</i> spp.       | envenenamiento por la comida, salmonelosis. | humanos y animales |
| <i>Salmonella paratyphi</i>  | fiebre paratifoidea                         | humanos            |
| <i>Salmonella typhi</i>      | fiebre tifoidea                             | humanos            |
| <i>Shigella</i> spp          | disentería bacilaria                        | humanos            |
| <i>Vibrio cholerae</i>       | cólera                                      | humanos            |
| <i>Yersinia</i> spp.         | yersinosis (enfermedad entérica aguda).     | humanos y animales |

fuelle: Droste, 1997

De las bacterias más significativas en el control de la calidad del agua se encuentran las bacterias coliformes que fungen como indicadores de la calidad de la contaminación bacteriológica del agua. De este tipo de microorganismos, son los coliformes fecales los que permiten detectar, de forma confiable una contaminación fecal reciente y peligrosa del agua (Jiménez *et al.*, 1999).

### **protozoarios**

Los protozoarios, (literalmente **primeros animales**) se describen semejantes a los animales porque pueden moverse y obtener su alimento de otros organismos, sin embargo, pertenecen al reino Protista. Son organismos microscópicos unicelulares, eucarióticos<sup>4</sup>, usualmente miden entre 5 y 1 000  $\mu\text{m}$ . Se alimentan de bacterias y otros microorganismos microscópicos. La tabla 2.13 muestra los protozoarios más comunes generadores de enfermedades hídricas.

**tabla 2.13 protozoarios generadores de enfermedades hídricas**

| agente                       | enfermedad                            | depósito           |
|------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| <i>Entamoeba histolytica</i> | Ulceración del cólon, disentería      | Humanos            |
| <i>Giardia lamblia</i>       | Diarrea                               | Humanos            |
| <i>Balantidium coli</i>      | Diarrea ligera, ulceración del cólon. | Humanos y animales |
| <i>Cryptosporidium</i>       | Diarrea                               | Humanos            |

fuelle: Droste, 1997

<sup>4</sup> Contienen organelos rodeados de membranas.

### helminfos

Los helmintos son animales pluricelulares heterótrofos, muchos de los cuales requieren uno o más intermediarios en su ciclo de vida. Tienen células organizadas en tejidos y órganos especializados para distintas funciones vitales. Las dimensiones varían de cerca de un milímetro a varios metros de longitud, poseen órganos diferenciados y sus ciclos vitales comprenden la producción de huevos o larvas infecciosas y la alternancia compleja de generaciones que incluye hasta tres huéspedes diferentes (Jiménez *et al.*, 1999). Algunos helmintos pueden causar serias enfermedades con síntomas muy ligeros. En cualquier caso, van debilitando a su hospedador y pueden causar daños a los órganos.

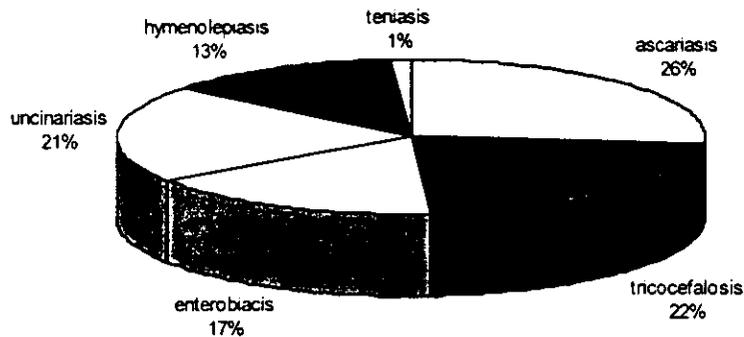
La tabla 2.14 muestra los helmintos patógenos más comunes y su vía de transmisión al hombre.

**tabla 2.14 helmintos patógenos**

| patógeno                       | agente            | vía de transmisión                                |
|--------------------------------|-------------------|---|
| <i>Acaris lumbricoides</i>     | Ascariasis        | Humano-suelo-humano                               |
| <i>Enterobius vermicularis</i> | Enterobiasis      | Humano-humano                                     |
| <i>Gastrodiscoides hominis</i> | Gastrodiscodiasis | Cerdo-caracol acuático-vegetación acuático-humano |
| <i>Schistosoma haematobium</i> | Esquistosomiasis  | Humano-caracol acuático-caracol                   |
| <i>Taenia saginata</i>         | Taeniasis         | Humano-vaca-humano                                |
| <i>Taenia solium</i>           | Cisticercosis     | Humano-cerdo-humano, o humano-humano              |
| <i>Trichuris trichiura</i>     | Trichuriasis      | Humano-suelo-humano                               |

En México, con una población de 97 millones de habitantes, existen aproximadamente 15 menores a 5 años, que constituyen el grupo de mayor riesgo a los helmintos. La tasa de mortalidad por diarreas corresponde a 26.5 muertes/100 000 habitantes, que representa el 5.2% de las defunciones registradas en el país anualmente. el riesgo de morir por diarreas es de 13.6 veces mayor en niños de 1 año, 1.9 veces mayor en preescolares y 5.3 veces mayor en la población de más de 5 años (INDRE, 1999).

Adicionalmente, y debido a las malas condiciones del sistema de drenaje, en México existe un alto índice de infecciones gastrointestinales por helmintos como se muestra en la figura 2.11.



**figura 2.11** distribución de las helmintiasis en México

adaptado de: Jiménez *et al.*, 1999

### 2.3.5.2 Inorgánicos

De manera natural, los constituyentes inorgánicos se encuentran presentes en las aguas, superficiales o subterráneas, que comúnmente se utilizan para el consumo humano, inclusive, algunos de ellos son elementos esenciales en la nutrición de hombre (como es el caso del arsénico, selenio, cromo, cobre, molibdeno, níquel, zinc y el sodio, Ondarza, 1988). Asimismo, existen diferentes compuestos que forman parte de los ciclos naturales, como los nitratos y nitritos dentro del ciclo del nitrógeno. Sin embargo, cuando se altera el equilibrio de estos elementos debido a su exceso o carencia, también se modifica la calidad del cuerpo de agua, lo que a su vez tiene consecuencias mayores, ya que se tiene que recurrir a diversos tratamientos para poder acondicionar el agua para algún uso determinado, o bien, será necesario traer agua de otros sitios, lo que también implica grandes gastos para su transporte, etc.

#### *metales pesados*

Los metales son un caso particular de los componentes inorgánicos, ya que son elementos que se presentan naturalmente en menas en la corteza terrestre, y es el hombre quien los remueve de su lugar de origen durante la excavación de minas para utilizarlos en diversos procesos industriales, resultando así una gran cantidad de escorias y lodos con alto contenido metálico de los efluentes de las aguas residuales de fábricas o triturados.

Los metales que han sido removidos de su estado natural se encuentran más concentrados, presentan mayor resistencia a la degradación y no son fácilmente aceptados en los ciclos químicos naturales. El tiempo de residencia como contaminantes antes de ser aceptado nuevamente en un ciclo natural, puede ser de décadas o cientos de

años. Debido a su peso generan depósitos en los sedimentos del agua superficial, sin embargo, debido a las corrientes y drenados son removidos provocando una mayor concentración de metales en el agua. Adicionalmente, la deforestación, la disrupción mecánica de la superficie del suelo y la lluvia ácida, provocan que los metales sean lixiviados del suelo hacia las aguas subterráneas.

Aún cuando algunos metales son necesarios para los seres vivos, pueden llegar a ser tóxicos si rebasan ciertas concentraciones, a éstos últimos se les llama con frecuencia "**metales pesados**". Químicamente se entiende por metal pesado aquel cuya densidad es mayor a 5 g/cm<sup>3</sup>, pero la costumbre ha hecho que la connotación se emplee para aquéllos que son tóxicos y que en realidad abarcan los grupos de transición y postransición (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn), al igual que el de los metaloides (As y Se) (Jiménez, 1999, en edición). Los niveles de toxicidad de los metales pesados varían ampliamente entre ellos y algunos metales exhiben más efectos tóxicos que otros, por lo que son de mayor interés.

### ***nutrientes***

Los nutrientes son requeridos para el crecimiento y reproducción de la flora y fauna acuática. Los principales nutrientes en el agua son: fósforo y nitrógeno. Su abundancia o escasez conducen a favorecer o limitar el crecimiento de plantas acuáticas, por lo que ambos son clave para acelerar el proceso natural de eutroficación aunque por lo general es el fósforo quien resulta el factor limitante. Normalmente, estos compuestos no son removidos en forma eficiente durante los procesos biológicos.

A continuación se hace una breve reseña de los contaminantes inorgánicos de mayor interés para el agua potable (tabla 2.15).

**tabla 2.15 contaminantes inorgánicos de mayor interés para el agua potable**

| contaminante    | reseña   |
|-----------------|--|
| <u>Aluminio</u> | <p>El Al no se encuentra naturalmente en forma elemental, sin embargo, es uno de los metales más abundantes en la superficie terrestre (≈ 8%). Está presente en los suelos, las plantas y los tejidos animales.</p> <p>Los compuestos del Al son comúnmente utilizados en el tratamiento del agua y su presencia en el agua de bebida se debe generalmente a deficiencias en el control del proceso. El Al en presencia de hierro puede causar decoloración.</p> <p>Su metabolismo en el cuerpo humano es poco conocido, al parecer el Al inorgánico se absorbe mal y se excreta casi completamente en la orina. Aunque su ingesta no parece ser dañina, sus compuestos han sido asociados con desórdenes neurológicos. Existe una asociación entre el Al y la enfermedad de Alzheimer, pero aún no está confirmada.</p> |
| <u>Arsénico</u> | <p>Las fuentes de As son formaciones rocosas naturales, residuos industriales, pesticidas, fertilizantes y detergentes. También se le encuentra en algunos alimentos como el pescado y el tabaco, y en el aire de algunas localidades. Se presenta en el agua procedente de la disolución de minerales y menas, efluentes industriales y el lavado de la atmósfera.</p> <p>Parece haber una relación entre el cáncer de la piel y los altos niveles de As en el agua potable. En su forma elemental no se le considera particularmente tóxico, aunque ingestas continuas incrementan la incidencia de cáncer en la piel. Las formas orgánicas del As son menos tóxicas que las inorgánicas y los arsenitos son más tóxicos que los arsenatos.</p>  |
| <u>Bario</u>    | <p>El Ba está presente en diversos compuestos que forman parte de la corteza terrestre, por lo que su presencia en el agua es natural. En el agua subterránea su concentración es a nivel de trazas, y su presencia en agua superficial se debe principalmente a que recibe residuos industriales con Ba, ya que tiene diversas aplicaciones industriales.</p> <p>Es un estimulante muscular y con altas concentraciones puede ser dañino al sistema nervioso y al corazón.</p>  |
| <u>Berilio</u>  | <p>El Be no es común en el agua (concentraciones menores de 1 µg/L) ya que es poco soluble. Es resistente al calor y se emplea en aleaciones con Cu en aparatos eléctricos, materiales de guerra, reactores atómicos y como aditivo en combustibles especiales, en cerámica y refractarios especiales.</p> <p>Es extremadamente tóxico, sin embargo tiene una mala absorción en el organismo.</p>  |
| <u>Cadmio</u>   | <p>Las fuentes principales de Cd son cañerías del agua y tuberías de hierro galvanizado, los residuos industriales del electroplatinado, pesticidas, soldaduras, filamentos incandescentes, residuos de fotografía, pinturas, utensilios y plásticos hechos a partir de cadmio, entre otros. El cadmio vaporiza cuando se quema y sus sales se disuelven en el agua por lo que puede encontrarse en las aguas residuales y sus lodos, en fertilizantes, corrientes de agua y en el agua de bebida.</p> <p>Su absorción en el cuerpo depende de la solubilidad de sus compuestos, se acumula principalmente en los riñones y altas concentraciones de cadmio se relacionan con hipertensión, bronquitis crónica y enfisema.</p>   |

tabla 2.15 contaminantes inorgánicos de mayor interés para el agua potable

| contaminante    | reseña   |
|-----------------|--|
| <u>Cianuro</u>  | <p>Es un contaminante industrial y no se encuentra comúnmente en agua potable en niveles importantes.</p> <p>Es química y biológicamente degradable y se absorbe en los pulmones, el tracto gastrointestinal y la piel. En algunas poblaciones expuestas a CN, se observaron efectos en la tiroides y en el sistema nervioso.</p>  |
| <u>Cloruros</u> | <p>El ión Cl<sup>-</sup> entra a la superficie del agua por la deposición de aerosoles oceánicos, por la erosión de algunas rocas sedimentarias, principalmente de depósitos de sales y de los efluentes de desechos industriales. Altas concentraciones de cloruros pueden provocar que el agua no sea apta para el consumo humano o para el ganado.</p>  |
| <u>Cobre</u>    | <p>Se le encuentra comúnmente en el agua de bebida en concentraciones menores a 20 µg/L. La fuente principal de Cu en las fuentes de abastecimiento es la corrosión de las tuberías del sistema de distribución y la adición de sales de Cu en el tratamiento del agua para el control del crecimiento de las algas.</p> <p>Es Cu es un buen conductor, por lo que es ampliamente utilizado en la industria eléctrica y en aleaciones con otros metales. Los compuestos orgánicos del cobre se utilizan como fungicidas, insecticidas, catalizadores y en la formación de pigmentos entre otros usos.</p> <p>Es un nutriente esencial, pero que en concentraciones excesivas es tóxico para los peces. Su deficiencia está asociada con la anemia.</p>   |
| <u>Cromo</u>    | <p>El cromo se presenta en el agua en sus dos estados de oxidación (III y VI), siendo el más común el III. La valencia del cromo se ve afectada debido a los niveles de desinfección y a la presencia de compuestos orgánicos susceptibles de ser reducidos. Las fuentes primarias de cromo en el agua son las operaciones del minado, residuos del platinado y la combustión de residuos fósiles.</p> <p>El Cr<sup>3+</sup> es un nutriente esencial, no es tóxico y se absorbe pobremente, su deficiencia resulta en intolerancia a la glucosa y la inhabilidad para utilizarla entre otros desordenes metabólicos.</p> <p>El Cr<sup>6+</sup> es tóxico, se absorbe fácilmente y puede atravesar las membranas celulares, produce daños en el hígado y los riñones, hemorragia interna y desordenes respiratorios.</p> |
| <u>Dureza</u>   | <p>La dureza de las aguas naturales depende principalmente de la presencia de las sales de Ca y Mg disueltas aunque los iones metálicos polivalentes como el Al, Fe, Mn, Sr y Zn pueden contribuir en una fracción importante.</p> <p>La dureza se expresa como la cantidad equivalente de CaCO<sub>3</sub>. Un agua con menos de 75 mg/L de CaCO<sub>3</sub> se considera blanda, entre 75 y 150 mg/L es considerada moderadamente dura, de 150 a 300 mg/L es un agua dura y concentraciones mayores a 300 mg/L es un agua extremadamente dura.</p>   |
| <u>Fluoruro</u> | <p>Se presentan en la mayoría de los suelos y en diversos cuerpos de agua (de trazas a 5 o más mg/L), también se le encuentra en algunos alimentos. Sus compuestos orgánicos se utilizan en la producción de aluminio y la fabricación de fertilizantes fosfatados.</p> <p>Tras su ingestión por el agua, se absorbe fácilmente por el tracto gastrointestinal, el uso de pasta de dientes fluorada incrementa la ingesta. Las dosis mayores a 1.5 mg/L provocan fluorosis dental y dosis aún mayores ocasionan fluorosis esquelética.</p>   |

**tabla 2.15 contaminantes inorgánicos de mayor interés para el agua potable**

| contaminante  | reseña   |
|---|--|
| <u>Hierro</u>   | <p>Es un elemento muy abundante en la corteza terrestre, se encuentra naturalmente en aguas subterráneas y en algunas superficiales. También entra al agua debido a los depósitos y a las actividades del minado de Fe. Puede estar presente en el agua de bebida debido a la utilización de coagulantes de Fe, o bien debido a la corrosión de las tuberías.</p> <p>Es un elemento esencial para la salud y sus requerimientos están en función de la edad, sexo y estado fisiológico.</p>  |
| <u>Manganeso</u>  | <p>Es un metal muy abundante en la corteza terrestre, y en general se presenta junto con el Fe. Su presencia en agua pobre en oxígeno puede alcanzar concentraciones de varios mg/L, mientras que en presencia de oxígeno forma óxidos insolubles que provocan la aparición de depósitos no deseables en los sistemas de distribución.</p> <p>El Mn es un oligoelemento indispensable y no se ha confirmado que sea tóxico para los seres humanos en el agua de bebida.</p>  |
| <u>Mercurio</u>   | <p>Se encuentra en la naturaleza en su forma elemental y en compuestos orgánicos. Las concentraciones en agua contaminada son normalmente menores a 1 µg/L. Es muy utilizado en los sectores industrial, médico y agrícola.</p> <p>El Hg inorgánico no cumple ninguna función fisiológica en el cuerpo humano, es pobremente absorbido en el tracto gastrointestinal, no penetra las células y es menos tóxico que el metil mercurio. Los principales órganos afectados son los riñones, también afecta el sistema nervioso central causando la muerte y/o disfunciones motoras y mentales.</p>  |
| <u>Molibdano</u>  | <p>La concentración de Mo en el agua de bebida es generalmente inferior a 10 µg/L. No obstante en las cercanías a minas llega a haber concentraciones de hasta 200 µg/L.</p> <p>Es un metal traza esencial en la dieta. Los efectos de una sobreexposición pueden incluir daño al hígado y a los riñones. La exposición crónica resulta en la pérdida de peso, anomalías en los huesos e infertilidad en las mujeres.</p>  |
| <u>Níquel</u>   | <p>Es común en el agua potable en concentraciones menores a 0.02 mg/L, en casos especiales de liberación de depósitos naturales o industriales la concentración puede ser mayor. Se le emplea en el electroplatinado, instrumentos dentales, elaboración de cerámica y vidrio de color, en la hidrogenación catalítica de aceites y grasas, como intermediario en reacciones orgánicas, en amalgamas y aleaciones.</p> <p>La mayor parte del Ni ingerido es excretado, sin embargo, la absorción ocurre en el tracto gastrointestinal. Los efectos agudos por una sobreexposición incluyen pérdida del peso corporal, cambios en la sangre y las enzimas. No hay pruebas que demuestren que el Ni sea carcinogénico por la ingesta oral.</p> |
| <u>Nutrientes</u><br>(compuestos inorgánicos del N y del P) | <p>El N es esencial para los organismos vivos ya que es un constituyente básico de las proteínas, incluyendo el material genético. Las plantas y los microorganismos convierten el N inorgánico a formas orgánicas. Los NO<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub>, el NH<sub>4</sub> y el N<sub>2</sub> son las formas inorgánicas presentes en la naturaleza que forman parte del ciclo del N. En la naturaleza, las concentraciones de NO<sub>3</sub> en aguas superficiales y subterráneas son del orden de pocos mg/L. El NH<sub>4</sub> se presenta en el agua debido a la descomposición de la materia orgánica, a la reducción del gas N en el agua por medio de microorganismos y por intercambio con la atmósfera.</p>                        |

**tabla 2.15 contaminantes inorgánicos de mayor interés para el agua potable**

| contaminante                    | reseña   |
|---------------------------------|--|
| <u>pH, acidez y alcalinidad</u> | <p>El P también es un elemento esencial para los seres vivos y se presenta en el agua como materia disuelta y particulada. Es generalmente el limitante para el crecimiento de las algas y por lo tanto controla la productividad primaria de un cuerpo de agua. El incremento artificial del fósforo en el agua, debido a las actividades del hombre, son la causa principal de la eutroficación. En las aguas naturales y residuales, el P se presenta principalmente como ortofosfatos y polifosfatos y, en forma orgánica, en cadenas de hidrocarburos fosfatados.</p> <p>El pH es una variable importante en el manejo de la calidad del agua que influye en varios procesos químicos y biológicos dentro de un cuerpo de agua y en todos los procesos asociados con el suplemento y tratamiento del agua. El pH es una medida del balance de acidez de una solución y se define como el logaritmo negativo base 10 de la concentración del ion <math>H_3O^+</math>. La escala va del 0 al 14 (muy ácido o alcalino), el valor de 7 representa la neutralidad. A una Temperatura determinada el pH indica la intensidad del carácter ácido o básico de una solución y se controla con la disolución de compuestos químicos y procesos bioquímicos en ella. En una agua no contaminada el pH es el controlador principal del balance entre el <math>CO_2</math>, <math>CO_3</math> y el <math>HCO_3</math>, así como de otros compuestos naturales como los ácidos fulvicos y húmicos.</p> |
| <u>Plata</u>                    | <p>Se le puede hallar en concentraciones traza en el agua natural y en el agua de suministro debido a las fuente naturales o a los desechos industriales. Sobre todo se le encuentra en forma de sulfuros y óxidos insolubles y estables. Puede ser utilizada como desinfectante del agua en pequeñas cantidades. En aleaciones con Cu, Al, Cd, Pb y Sb para joyerías, ornamentos e instrumentos científicos. Se usa en fotografía, en la elaboración de porcelana y espejos. Sus compuestos se utilizan como antisépticos o astringentes.</p> <p>La plata coloidal puede causar decoloración permanente de la piel, los ojos y las membranas mucosas (argiria), sin embargo, no se conocen casos de argiria por la ingesta de plata en el agua potable. No hay evidencia de que sea carcinogénica o mutagénica</p>  |
| <u>Plomo</u>                    | <p>El Pb se utiliza principalmente para la producción de acumuladores de plomo-ácido, soldaduras y aleaciones, se le encuentra en el agua debido a la corrosión de las tuberías y la soldadura.</p> <p>Los niños lo absorben con más rapidez que los adultos. La exposición al plomo de la sangre se asocia con efectos fisiológicos como la anemia, daño a los riñones, interferencia con el metabolismo de la vitamina D, elevación de la presión arterial, etc. Es tóxico para el sistema nervioso central y periférico y tiene efectos neurológicos subencefalopáticos y del comportamiento.</p>   |

**tabla 2.15 contaminantes inorgánicos de mayor interés para el agua potable**

| contaminante    | reseña   |
|-----------------|--|
| <u>Selenio</u>  | <p>Su concentración agua potable es tradicionalmente baja, sin embargo su abundante presencia en algunos suelos provoca altas concentraciones en los pozos cercanos. La principal fuente de selenio para la población en general son alimentos como cereales, la carne y el pescado. Se le usa en la elaboración de pigmentos, vidrio y pinturas, como agente vulcanizador de caucho, insecticida, en la manufactura de electrodos, fotoceldas y celdas de selenio. Forma parte de las aleaciones con acero, Cu, Au, Ni y Ag.</p> <p>Es esencial en la dieta y se le obtiene principalmente de los alimentos. Su carencia provoca serias alteraciones, pero sobrepasando el requerimiento es sumamente tóxico.</p> |
| <u>Sodio</u>    | <p>Es un constituyente principal del agua ya que sus sales son extremadamente solubles.</p> <p>Se asocia con la alta presión en la sangre y enfermedades del corazón. Ciertas enfermedades se ven agravadas por altas ingestas de NaCl, como la cirrosis y enfermedades renales y del corazón.</p>   |
| <u>Sulfatos</u> | <p>Proviene principalmente de la deposición atmosférica de aerosoles oceánicos, los lixiviados de compuestos de S, de minerales sulfatados como el yeso de rocas sedimentarias. Los <math>\text{SO}_4^-</math> son altamente solubles en agua. EL sulfato puede ser utilizado como una fuente de oxígeno por medio de bacterias que lo convierten en ácido sulfhídrico. Sus concentraciones en aguas naturales se encuentra entre 2 y 80 mg/L.</p>   |
| <u>Zinc</u>     | <p>Se le encuentra comúnmente en fuentes de agua y en el agua de suministro debido a la corrosión del sistema de la red.</p> <p>Concentraciones mayores a 5 mg/L causan un sabor metálico provocando náusea y vómito, concentraciones más altas le dan coloración al agua. Los efectos nocivos provienen principalmente por la baja ingesta, ocasionando la pérdida del sabor, hipogonadonismo y fallas en el crecimiento. El exceso de Zn causa debilidad muscular y dolor, irritabilidad y náuseas.</p>  |

fuelle: AWWA (1990), OMS (1995), Salvato (1992)

### 2.3.4.3 Orgánicos

Existen cientos de sustancias orgánicas que se encuentran presentes en los cuerpos de agua, su presencia puede deberse básicamente a que se encuentran de manera natural en el agua o sean producto de las actividades humanas. Sin importar la fuente de la cual provengan, muchas de las sustancias orgánicas tienen efectos negativos para la salud. A continuación, se presenta una lista de los principales grupos de compuestos que se pueden encontrar en el agua de uso y consumo humanos.

- |   |  |
|---|--|
| ⇒ Sustancias húmicas                          | ⇒ Aceites de petróleo                  |
| ⇒ Alcanos y alquenos clorados                 | ⇒ Benceno y alquil aromáticos          |
| ⇒ Nitrosaminas                                | ⇒ Trihalometanos                       |
| ⇒ Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) | ⇒ Plaguicidas, herbicidas y acaricidas |
| ⇒ Hidrocarburos aromáticos halogenados        | ⇒ Fertilizantes                        |
| ⇒ Fenoles                                     | ⇒ Bifenilos policlorados               |
| ⇒ Detergentes sintéticos                      |  |
| ⇒ Ésteres de ftalatos                         |  |

En la tabla 2.16 se presentan, de manera general, las características de los grupos de compuestos orgánicos que con mayor frecuencia se mencionan al establecer criterios para el agua potable.

**tabla 2.16 características de los principales grupos de compuestos orgánicos contaminantes encontrados en el agua**

| grupo                            | comentario  |
|----------------------------------|---|
| <u>Ácidos fúlvicos y húmicos</u> | <p>La materia orgánica que proviene de los organismos vivientes realizan una contribución importante a la calidad natural de las aguas superficiales. La composición de este tipo de materia es muy diverso y los compuestos naturales no son usualmente tóxicos, pero ejercen un mayor control sobre los procesos hidroquímicos y bioquímicos del agua. Algunos compuestos naturales afectan en forma significativa la calidad para ciertos usos, especialmente aquellos que dependen de las propiedades organolépticas (sabor y olor). Durante la cloración del agua de bebida, los ácidos fúlvicos y húmicos actúan como precursores de trihalometanos (como el cloroformo). Además, ciertas sustancias del <i>humus</i> acuático determinan la especiación de ciertos metales pesados y otros contaminantes debido a su alta capacidad complejante.</p> |
| <u>Fenoles</u>                   | <p>Los fenoles son un grupo de compuestos orgánicos subproducto de la manufactura del acero, la destilación del coque, refinación del petróleo y de operaciones químicas. Deben ser removidos antes de descargarse a las fuentes de agua. Los fenoles también son asociados con el decaimiento de los productos de la madera, biocidas y las descargas de aguas municipales. La presencia de los fenoles en procesos de la industria alimenticia, donde se utiliza en grandes cantidades el agua, puede contaminar los alimentos y las bebidas.</p>   |
| <u>Bifenilos policlorados</u>    | <p>Los bifenilos policlorados (PCB's) son indicadores de la presencia de residuos industriales que contienen mezclas de compuestos bifenilos clorados. Los PCB's causan desórdenes en la piel de los humanos y cáncer en las ratas. Son compuestos estables, resistentes al fuego y tienen una buena capacidad de aislamiento eléctrica. Son utilizados en transformadores, capacitores, plastificantes, bombas, fluidos hidráulicos, fluidos para intercambio de calor y otros productos. Los PCB's no son solubles en agua pero si en grasas, se acumulan en los sedimentos del fondo de los cuerpos de agua y en los peces, aves y otros animales que los consumen a partir de comida contaminada.</p> <p>La mezcla de PCB's que se utiliza como pesticida es conocida como Alacloro.</p>  |

**tabla 2.16 características de los principales grupos de compuestos orgánicos contaminantes encontrados en el agua**

| grupo   | comentario   |
|---|--|
| <u>Aceites minerales y productos del petróleo</u> | <p>Estos son los principales contaminantes responsables de los daños ecológicos, generalmente en cuerpos de agua superficiales. A la fecha, más de 800 compuestos han sido identificados como aceites minerales, entre ellos hay compuestos alifáticos de bajo y alto peso molecular, hidrocarburos aromáticos y nafténicos (o productos del petróleo), compuestos heterocíclicos no saturados de alto peso molecular (resinas y asfaltenos) y un numeroso grupo de compuestos del O, N y S.</p> <p>La distribución de los aceites en los cuerpos de agua es diversa, ya que pueden estar disueltos, como películas finas, emulsionados, entre otras. Las interacciones entre estas fracciones son complicadas y diversas, dependen de diversas características fisicoquímicas como la gravedad específica, la tensión superficial, la viscosidad, los puntos de ebullición, etc., además la transformación de los compuestos del petróleo por procesos bioquímicos, microbiológicos, químicos y fotoquímicos ocurre simultáneamente. Debido al alto riesgo ecológico asociado con las actividades de la explotación del petróleo, así como con su uso, se les considera como contaminantes prioritarios.</p>  |
| <u>Hidrocarburos aromáticos policíclicos</u>      | <p>Se componen de dos o más anillos de benceno con anillos adyacentes que comparten dos átomos de carbono. Se encuentran con frecuencia en el medio ambiente y se ha detectado su presencia ocasional en agua potable. Entre estos compuestos se encuentran el fluoranteno; 3,4-benzfluoranteno; 11,12-benzfluoranteno; 3,4-benzopireno, que se sabe que son carcinogénicos y potencialmente dañinos al hombre.</p>  |
| <u>Pesticidas</u>                                 | <p>Los pesticidas son compuestos tóxicos a ciertos organismos, desde las bacterias y los hongos hasta las plantas más grandes e inclusive los mamíferos. La mayoría de los pesticidas son compuestos que no se presentan naturalmente en el ambiente y por lo tanto la concentración mínima detectable es indicador de contaminación. Existen alrededor de 10 000 diferentes pesticidas que son utilizados actualmente. Los que son más ampliamente usados son los insecticidas (para exterminar insectos), herbicidas (para la exterminación de mala hierba y otras plantas indeseables) y los fungicidas (para prevenir enfermedades por los hongos).</p> <p>El modo de acción de los pesticidas está determinado por su estructura química. Estas estructuras son similares para los compuestos relacionados que comprenden clases separadas de pesticidas, como los pesticidas organoclorados, los organofosforados, los carbamatos, los herbicidas de triazina y los ácidos clorofenólicos.</p> <p>El monitoreo de los pesticidas presenta ciertas dificultades, particularmente en el agua subterránea, ya que un amplio rango de pesticidas es utilizado comunmente en las actividades agrícolas, además muchos de ellos se descomponen en productos tóxicos.</p> |

fuelle: Droste (1997), AWWA (1991) y Salvato (1992)

### 2.3.5.4 Radiactivos

En la naturaleza existen 98 elementos y su interacción es la base de los procesos tanto naturales como artificiales. Cada elemento está compuesto por un número determinado de electrones ( $e^-$ ) que rodean a un núcleo que contiene el mismo número de protones ( $p^+$ ); dentro del núcleo también se encuentran los neutrones ( $n^0$ ) que son partículas que estabilizan al átomo.

Los átomos del mismo elemento con diferente número de  $n^0$  se llaman isótopos, algunos de ellos son inestables debido al desequilibrio dentro del núcleo, éstos isótopos son radiactivos. Los elementos radiactivos o radionúclidos, emiten partículas para lograr la estabilidad dentro del núcleo del átomo. La radiación emitida por los radionúclidos consiste básicamente en 3 tipos de radiaciones:  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  (tabla 2.17).

**tabla 2.17 radiaciones emitidas por partículas  $\alpha$ ,  $\beta$  y rayos  $\gamma$**

| tipo de radiación  | partícula emitida          |
|--------------------|----------------------------|
| Partícula $\alpha$ | 2 $p^+$ y 2 $n^0$          |
| Partícula $\beta$  | 1 $e^-$                    |
| Rayos $\gamma$     | Radiación electromagnética |

fuelle: Stewart, 1990

Los niveles de la mayoría de los contaminantes en el agua potable, se expresan en términos del peso de un contaminante por litro de agua, sin embargo la actividad de un isótopo se mide en Curies (Ci), 1 trillón de Ci es igual a 1 picocurie (pCi), que es la unidad más común de medida. En agua potable las pruebas para radionúclidos se reportan en picocuries/L (pCi/L).

Las radiaciones ambientales proceden de diversas fuentes, tanto naturales como artificiales, sin embargo, se ha estimado que más del 95% de la radiación recibida por la población (no incluida la exposición médica) procede de fuentes naturales (OMS, 1995). La contribución de la producción de energía nuclear y de los ensayos con armas nucleares es muy reducida.

Los principales efectos de la radiación, son el incremento en la ocurrencia de cáncer y de los defectos genéticos. La radiación induce cambios en las células que provocan el cáncer. Algunos elementos radiactivos como el uranio pueden tener efectos tóxicos sobre los órganos y altas dosis de radiación pueden provocar la muerte en un corto periodo de tiempo.

### 2.3.5.5 Físicos

Las características físicas (tabla 2.18) son en general mediciones indirectas de componentes químicos que muestran un panorama de la calidad general del agua. Dentro de este tipo de parámetros se encuentran aquellos relacionados con la calidad estética del agua, su importancia reside en que un abastecimiento de agua potable no sólo debe ser inocua, sino también de apariencia, sabor, color y olor agradables, el agua insatisfactoria en este sentido provocará la desconfianza de los consumidores dando lugar a quejas.

**tabla 2.18 contaminantes físicos de mayor interés para el agua potable**

| contaminante  | reseña  |
|---|---|
| <u>Color y turbiedad</u>  | <p>La apariencia del agua es un factor decisivo para los consumidores del agua debido, principalmente, a que tanto el color como la turbiedad son fácilmente perceptibles. Las fuentes de color en el agua pueden ser iones metálicos naturales (Fe y Mn), ácidos fúlvicos y húmicos del humus, plancton, materia vegetal disuelta y residuos industriales. La turbiedad incrementa el color aparente del agua, se debe principalmente por la presencia de materia suspendida como la arcilla, sedimentos, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, plancton y otros organismos microscópicos.</p> <p>Estas características del agua determinan la profundidad en la cual la luz penetra en el cuerpo de agua, que a su vez regula la cantidad de productividad primaria al controlar la tasa de la fotosíntesis de las algas presentes.</p> |
| <u>Conductividad</u>  | <p>La conductividad o conductancia específica, es una medida de la habilidad del agua para conducir la corriente eléctrica. Es sensible a las variaciones de los SD, principalmente a las sales minerales, el grado de disolución de las sales en iones, la carga eléctrica de cada ion, la movilidad del ion y la temperatura de la solución, todos los aspectos anteriores influyen sobre la conductividad. Se expresa en <math>\mu\text{S}/\text{cm}</math> y para un cuerpo de agua determinado se relacionan con las concentraciones de SDT y los iones principales.</p>   |
| <u>Materia suspendida, turbiedad y transparencia</u>              | <p>El tipo y concentración de materia suspendida controla la turbiedad y transparencia del agua. La materia suspendida consiste en arcillas, sedimentos y partículas finas de material orgánico e inorgánico, plancton y otros organismos microscópicos. Ya que las partículas varían entre 10 nm de diámetro hasta 0.1 mm, se acepta que la materia suspendida es la fracción que no pasa a través de un filtro con un poro de 0.45 <math>\mu\text{m}</math>.</p> <p>La turbiedad resulta de la dispersión y absorción de la luz incidente por las partículas y la transparencia es el límite de visibilidad en el agua. Ambas varían estacionalmente de acuerdo a la actividad biológica en una columna de agua y las corrientes superficiales que acarreen partículas del suelo.</p>   |
| <u>Olor</u>   | <p>El olor es producido por compuestos orgánicos volátiles y lábiles así como fitoplancton y plantas acuáticas, o bien, por materia orgánica en descomposición. Los residuos humanos e industriales, también pueden provocar olores como resultado de la actividad biológica. Los compuestos orgánicos químicos inorgánicos, aceites y gases pueden impartir olor al agua, aunque el olor no es un indicador directo de la presencia de sustancias dañinas.</p> <p>Usualmente la presencia de un olor sugiere una actividad biológica mayor a la normal, asimismo es una prueba de la accesibilidad del agua potable.</p>   |
| <u>Sólidos totales, suspendidos, disueltos, fijos y volátiles</u> | <p>El término sólidos se aplica a la materia remanente suspendida o disuelta en el agua después de la evaporación de una muestra y su subsecuente secado.</p> <p>Los sólidos totales, ST, son aproximadamente equivalentes a la materia suspendida y disuelta en el agua.</p> <p>Los S suspendidos y S disueltos corresponden a los residuos retenidos y a los no filtrables respectivamente.</p> <p>Los sólidos fijos y los sólidos volátiles corresponden al remanente después de un sobre secado y a la pérdida de sólidos después del sobresecado a una temperatura determinada respectivamente.</p>  |

fuelle: AWWA (1990), OMS (1995), Salvato (1992)

## 2.3.6 CALIDAD DEL AGUA EN MÉXICO

Como mencionan Jiménez y Ramos (1995), los principales problemas de calidad del agua deben ser el rector fundamental para establecer los criterios de calidad, para lo que es necesario dar a conocer el panorama de la calidad y usos del agua que prevalecen en el país. Un ejemplo es que actualmente se generan 231 m<sup>3</sup>/año de aguas residuales de las que sólo se colectan en el alcantarillado 174 m<sup>3</sup>/año, se cuenta con la infraestructura para tratar 43 m<sup>3</sup>/año pero únicamente se tratan adecuadamente 17 m<sup>3</sup>/año, por lo que se descargan al medio ambiente sin tratar 214 m<sup>3</sup>/año (Programa Hidráulico, 1995-2000).

Lo anterior, ha provocado graves problemas de contaminación en la mayoría de las 37 cuencas hidrológicas en las que se divide el país, lo que aunado a las grandes diferencias de disponibilidad del agua a lo largo del territorio limita los usos y disminuye aún más la eficiencia del uso del agua, ya que en ocasiones existirá el recurso pero no podrá emplearse por su mala calidad.

Para conocer la calidad del agua en las cuencas hidrológicas existe un sistema de muestreo llamado Red Nacional de Monitoreo (RNM) que se describe a continuación.

### 2.3.6.1 Red Nacional de Monitoreo (RNM)

Las funciones de la RNM, consisten en evaluar permanentemente la calidad de las aguas subterráneas y superficiales (ríos, arroyos, lagos lagunas y embalses), lo que permite conocer cuales son los cuerpos de agua más contaminados. Asimismo, ha servido para establecer las prioridades en la planeación de las acciones de saneamiento de dichos cuerpos de agua (INEGI-SEMARNAP, 1997). La RNM monitorea un total de 96 parámetros de calidad considerando aspectos fisicoquímicos y biológicos, además considera indicadores de la calidad del agua tales como la DBO y la DQO. Estos 96 parámetros, se han dividido en tres categorías:

- ◆ Generales, como la turbiedad, sólidos, temperatura, pH, conductividad, etc.
- ◆ Metales, como As, Fe, Mn, Hg, Pb, Zn, etc.
- ◆ Otros, como plaguicidas, radiactivos, etc.

El número de estaciones de monitoreo con que cuenta la RNM se han incrementado notablemente durante el periodo 1987-1997. En la tabla 2.19 se muestra la variación, a lo largo de los últimos 11 años, en el número de estaciones de monitoreo que muestrean cada tipo de parámetros tanto en cuerpos de agua superficiales como en los y subterráneos.

**tabla 2.19 estaciones de monitoreo en cuerpos de agua superficiales y subterráneas**

| año                                  | número de estaciones de monitoreo de los parámetros: |         |       |       |
|--------------------------------------|--|---------|-------|-------|
|                                      | generales  | metales | otros | total |
| <b>cuerpos de agua superficiales</b> |  |         |       |       |
| 1987                                 | 89   | 127     | 18    | 234   |
| 1997                                 | 515  | 200     | 233   | 948   |
| <b>cuerpos de agua subterráneos</b>  |  |         |       |       |
| 1987                                 | 148  | 85      |       | 233   |
| 1997                                 | 216  | 149     | 180   | 545   |

Al igual que en las estaciones de monitoreo, el número de parámetros medidos se ha modificado durante el periodo de 1987-1997. La tabla 2.20 se presenta la variación del número de parámetros muestreados anualmente para los cuerpos de agua superficiales a lo largo del periodo 1987-1997.

**tabla 2.20 número máximo de parámetros determinados anualmente en cuerpos de agua superficiales y subterráneos**

| año                                  | número máximo de parámetros monitoreados |         |       |       |
|--------------------------------------|--|---------|-------|-------|
|                                      | generales                                | metales | otros | total |
| <b>cuerpos de agua superficiales</b> |  |         |       |       |
| 1987                                 | 36                                       | 7       | 1     | 44    |
| 1997                                 | 65                                       | 16      | 5     | 86    |
| <b>cuerpos de agua subterráneos</b>  |  |         |       |       |
| 1987                                 | 27                                       | 2       |       | 29    |
| 1997                                 | 59                                       | 12      | 13    | 84    |

De los parámetros monitoreados, el grupo más numeroso es el de los generales, ya que de 36 parámetros que se monitoreaban en 1987 aumentó en 55% en 1997, en cuanto a los metales, estos se incrementaron durante este periodo de 7 a 16 parámetros, finalmente los parámetros clasificados como otros aumentaron de 1 parámetro monitoreado a 5. En los cuerpos de agua subterráneos la variación de los parámetros ha sido ligeramente menor en comparación con los parámetros superficiales, por ejemplo, los parámetros generales se han mantenido prácticamente constantes con un intervalo de 26 a 30 parámetros muestreados en el periodo de 1987 a 1992, por otro lado de 1993 a 1997 las variaciones en el número de parámetros muestreados es mucho de mayor, ya que van de 35 a 59 parámetros.

Es obvio que la diferencia de parámetros analizados entre aguas subterráneas y superficiales se debe a que los cuerpos de agua superficiales son más fácilmente contaminables ya que no sólo tienen contacto directo con la atmósfera, sino que reciben directamente las aguas

residuales sin un tratamiento previo lo que implica que contengan una amplia gama de sustancias ajenas a los cuerpos de agua.

A continuación se presentan los resultados de los parámetros indicativos de la calidad del agua a partir de los datos generados por la Red Nacional de Monitoreo durante el periodo de 1987 - 1997.

### ***Demanda Biológica de Oxígeno, DBO***

En México, no se establece como criterio de empleo del agua ni la DBO ni la DQO, a pesar de ser los parámetros que con mayor frecuencia se emplean para medir el grado de contaminación. En general, aguas no contaminadas tienen un valor de DBO de 2 mg/L, 5 mg/L es normal en agua potable y 10 mg/L en cuerpos que captan aguas residuales. La DBO de un agua residual doméstica está entre 200 y 300 mg/L y la del efluente de una depuradora entre 20 y 100 mg/L (Jiménez y Ramos, 1995).

En términos de la DBO, las regiones más contaminadas hasta 1992 fueron Sonora Sur y Ameca con concentraciones superiores a 100 mg/L y las de Bajo Pánuco, Alto Lerma Santiago y Papaloapan con DBO entre 50 y 100 mg/L (Jiménez y Ramos, 1995).

Para 1997 la mayor concentración de DBO se presenta en la región del Bajo Pánuco con un valor superior a los 200 mg/L, le siguen las regiones del Bajo Lerma-Santiago y el Bajo Balsas con una DBO menor a 200 y mayor a 100 y mg/L. Finalmente las zonas que presentan DBO entre 50 y 100 mg/L son las de Sinaloa, el Alto Lerma-Santiago, Ameca, Armería-Coahuayana y la Región de Papaloapan.

De manera general, las concentraciones de DBO han ido en aumento al igual que las zonas contaminadas. Sin embargo no es posible calificar así a todas las regiones, ya que hay zonas como la de Ameca, que hasta hace unos años presentaba valores superiores a 100 mg/L y que ahora su concentración ha disminuido. En este caso es la poca cantidad de sitios de monitoreo y aunado a su ubicación, muy cerca de descargas, lo que califica a toda la región como muy contaminada. Por otra parte había zonas que no presentaban este problema como el Bajo Lerma-Santiago, Sinaloa y Armería-Coahuayana y actualmente lo tienen.

### ***Demanda Química de Oxígeno, DQO***

Tanto la DBO como la DQO miden el grado de contaminación, pero el primero se restringe a aquella que es del tipo biodegradable en tanto que la segunda expresa la químicamente degradable (la DBO más la no biodegradable) y que, por tanto, es más difícil de remover. Casi siempre el valor de la DBO de un agua es menor que el de la DQO y la relación entre sus valores permite determinar si hay descargas industriales ( $DQO/DBO > 3$ ). La DQO de un agua potable, según literatura, no excede 20 mg/L que es igual al que se considera para aguas superficiales no contaminadas. Para cuerpos de agua contaminados puede llegar a 200

mg/L. Un agua residual doméstica varía entre 250 y 500 mg/L, y en algunas industrias (mataderos) puede llegar a 100,000 mg/L (Jiménez y Ramos, 1995).

Por DQO las regiones más contaminadas en el periodo de 1987 a 1992 fueron: Parte de la Lerma Santiago y Ameca, con concentraciones en sus aguas superficiales entre 250 y 500 mg/L y Sonora Sur, el sur de la de Pánuco, Tuxpan-Nautla, Papaloapan, Coatzacoícos, Grijalva-Usumacinta y parte de Yucatán Oeste con concentraciones entre 100 y 250 mg/L (Jiménez y Ramos, 1995).

Durante 1997 las regiones que presentan valores altos de DQO entre 100 y 250 mg/L son: Sinaloa, El Alto Lerma-Santiago, Ameca, Armería-Coahuayana, la parte central del Balsas, Costa Chica-Río Verde, Costa de Oaxaca, Tehuantepec, El Bajo Bravo Conchos, Tuxpan Nautla, Coatzacoalcos, Grijalva-Usumacinta, Yucatán Oeste (Campeche) y Yucatán Este (Campeche). Por otra parte las regiones que presentan una mayor contaminación (concentraciones entre 250 y 500 mg/L de DQO) son las regiones de Sonora Sur, El Bajo Lerma-Santiago, El Bajo Balsas, El Bajo Pánuco y el Papaloapan.

El problema ocasionado por las altas concentraciones de DQO en las regiones hidrológicas se ha visto agudizado, ya que las zonas que tienen concentraciones superiores a los 250 mg/L de DQO han aumentado durante los últimos 5 años, de 1 a 5 y las que tenían concentraciones entre 100 y 250 mg/L se han incrementado de 7 a 14 regiones. Al igual que la DBO hay que tener precauciones a la hora de determinar que tan alta es la contaminación, ya que muchas zonas calificadas como altamente contaminadas son de descarga industrial.

### ***Oxígeno Disuelto, OD***

El oxígeno disuelto es un indicador muy importante de protección de la vida acuática en cuerpos de aguas superficiales ya que de él depende prácticamente el tener una ecología sana. Si bien el nivel de tolerancia a la ausencia de oxígeno varía en función de las especies y su edad, en general se considera que con menos de 2 mg/L no es posible la vida de peces (Jiménez y Ramos, 1995).

Hasta 1992 las regiones hidrológicas que tienen bajos valores de OD son: Baja California Noreste (laguna Salada), con menos de 2 mg/L y con calidad intermedia (OD entre 2 y 4) están Baja California Centro y Baja California Noroeste, Sinaloa, Bravo-Conchos, San Fernando Soto La Marina, Alto Pánuco, Presidio-San Pedro, Alto Lerma, Huicila, Costa de Jalisco, Armería-Coahuayana, Balsas, Costa Chica, Costa de Oaxaca y Tehuantepec (Jiménez y Ramos, 1995).

Según los datos reportados por la RNM, actualmente no hay zonas que presenten una concentración inferior a los 2 mg/L de OD, por lo que todas las regiones hidrológicas tienen un nivel aceptable de oxígeno disuelto.

En contraste con la DBO y la DQO, el oxígeno disuelto no ha presentado problemas lo indica que probablemente los datos de OD no son muy congruentes.

### **Conductividad**

La conductividad fue seleccionada como parámetro indicador de una probable mala calidad en cuerpos de agua ya que mide la habilidad de un agua para transportar corriente eléctrica por la presencia de sólidos disueltos, principalmente los de tipo mineral. En cuerpos de agua naturales varía de 10 a 1 000  $\mu\text{mhos/cm}$ , valor que fácilmente puede ser excedido en aguas contaminadas o por la presencia de lixiviados o una excesiva salinización del agua.

En 1992 los valores para cuerpos superficiales destacan las regiones de Huicila, Costa de Jalisco, Costa Grande Costa de Oaxaca cuya salinidad en cuerpos superficiales es de más de 10 000  $\mu\text{mhos/cm}$  de los cuerpos de agua y Campeche con valores entre 5000 y 10 000. En el caso de las aguas subterráneas los valores son menores que los de las superficiales y de ellas las regiones con valores altos (entre 1000 y 5000  $\mu\text{mhos/cm}$ ) son: Baja California Sureste (La Paz), Nazas-Agua Naval, Bajo Lerma y toda la península de Yucatán.

Actualmente la conductividad de los cuerpos de agua superficiales presenta las más altas concentraciones ( $>$  a 10 000  $\mu\text{mhos/cm}$ ) en las regiones de Huicila, Costa Grande, Costa de Oaxaca, Tehuentepec y Yucatán Oeste (Campeche). Las zonas con concentraciones entre 5 000 y 10 000  $\mu\text{mhos/cm}$  son Sonora Sur, Tuxpan Nautla, Coatzacoalcos y Yucatán Este (Quintana Roo).

Con referencia a las zonas subterráneas, valores superiores a 1 000  $\mu\text{mhos/cm}$  se considera que son concentraciones altas, las zonas que muestran este problema son: Baja California Noroeste (Ensenada), Baja California Sur Este (La Paz), El Bajo Lerma-Santiago, Costa Chica-Río Verde, Yucatán Norte (Yucatán), Yucatán Este (Quintana Roo) y El Salado.

Finalmente, el problema de las altas concentraciones de la conductividad tanto en los cuerpos de agua superficiales como en los subterráneos, prácticamente se ha duplicado ya que de los primeros resultados se han incrementado las zonas de 5 regiones con concentraciones mayores a los 5 000  $\mu\text{mhos/cm}$  a 9, mientras que de los cuerpos de agua subterráneos se ha llegado hasta 7 zonas con más de 1 000  $\mu\text{mhos/cm}$ .

#### **2.3.6.2 Índices de calidad**

Para evaluar la cantidad disponible de agua tomando en cuenta su calidad, se emplean los índices de calidad, Jiménez y Ramos (1995) desarrollaron el cálculo del índice de Potencial de Uso (PU) que toma en cuenta la calidad a partir de la información disponible. Este método es sencillo y permite el inicio de un planteamiento racional para el manejo del recurso así como para un replanteamiento de la red de monitoreo de manera que en un futuro se puedan emplear modelos matemáticos más completos y de mayor precisión. El método desarrollado puede ser fácilmente adaptado a las condiciones de otro país con sencillas modificaciones.

Para evaluar la disponibilidad del recurso se requiere conocer la caracterización<sup>5</sup> (actual y futura) de los cuerpos de agua, el empleo que se les va a dar y la cantidad disponible (idealmente "ecológicamente disponible"). Esta información permite establecer las necesidades de infraestructura de tratamiento (potabilización, depuración o acondicionamiento<sup>6</sup>), prever las necesidades de importaciones de agua cuando en la zona no hay suficiente o es de mala calidad, establecer el impacto de los programas de saneamiento del país y evaluar la eficacia de la normatividad.

Para calcular el Índice de Potencial de Uso para cada región hidrológica se emplean los datos de la Red Nacional de Monitoreo y los Criterios Ecológicos de Uso del Agua que, sin tener carácter obligatorio, se emplean en México para clasificar el uso del agua según su calidad.

En el cálculo del PU<sup>7</sup> se toma como base el promedio de los datos correspondientes a los parámetros que en cada región se miden, que si bien no son los mismos para todas las regiones del país y tampoco abarcan todos los parámetros que los Criterios establecen, tienen la lógica de que en cada caso se ha ido efectuando una selección natural para medir aquéllos de interés por los problemas observados. La figura 2.12 presenta el potencial de uso calculado para el abastecimiento humano en los cuerpos de agua de México.



**figura 2.12 potencial de uso de las fuentes de abastecimiento de agua para uso y consumo humanos**

fuelle: Jiménez y Ramos, 1995

<sup>5</sup> Por caracterización del agua se entiende medir los valores de diversos parámetros físicos, químicos y biológicos, Ej. la DQO (demanda química de oxígeno), los SST (sólidos suspendidos totales) y el contenido de coliformes fecales.

<sup>6</sup> Los términos potabilización, depuración y acondicionamiento se emplean para diferenciar el tratamiento de agua para fines de abastecimiento humano, control de la contaminación y alimentación a la industria.

<sup>7</sup> Para detalle del cálculo del Pu ver Jiménez y Ramos, 1995.

Con respecto al agua para abastecimiento humano, el análisis del PU detectó que para los cuerpos de agua en el 79% de las regiones con información el problema principal es la presencia de Coliformes Fecales, siendo suficiente una simple desinfección para cumplir el valor que establece la norma de agua potable. De igual forma en los cuerpos de agua subterránea, el 63 % tienen el mismo tipo de contaminación aunque en un nivel marcadamente inferior (el promedio nacional es de 350 contra 700,000,000 para las aguas superficiales). También como problema en las aguas superficiales (16 regiones de 29) se encuentran las grasas y aceites, los ortofosfatos, los sólidos disueltos, los sólidos totales, los cloruros y las sustancias activas al azul de metileno (SAAM), compuestos que no están directamente relacionados con problemas de salud. A pesar de ello, se debiera tener la precaución de revisar los niveles de grasas y aceites así como de SAAM en las regiones donde los cuerpos superficiales afectados sean fuente para consumo humano y, eventualmente, proponer una técnica de potabilización acorde. También en los cuerpos superficiales de algunas cuencas (3 a 7 regiones) destaca, por sus implicaciones en la salud, el nitrógeno oxidado (nitritos más nitratos) que para algunas regiones alcanza valores que exceden en casi 300 veces el criterio. El problema debe ser valorado para proponer soluciones que incluyan la localización de fuentes alternas de abastecimiento ya que el proceso de eliminación de nitrógeno en aguas superficiales es complejo. De los problemas de acuíferos se encontró que en cuatro regiones hay problemas con nitratos y nitritos, así como de boro.

Del último grupo de frecuencia (menos de 3 regiones), son relevantes el Boro, los Fenoles, el Níquel, el Cromo, el Mercurio y el Arsénico por su toxicidad en agua potable. Estos contaminantes ameritan también un análisis particular para localizar el problema dentro de la región hidrológica. La tabla 2.21 presenta la frecuencia con que un parámetro representa problemas en las cuencas hidrológicas en México.

**tabla 2.21 frecuencia con la que un parámetro es problema en aguas superficiales y subterráneas**

| parámetro                                 | superficiales      |   | subterráneas       |  | efectos  |
|---|--------------------|---|--------------------|--|--|
|   | número de regiones | promedio nacional en que se excede la norma | número de regiones | promedio nacional en que se excede el CECA <sup>1</sup> para fuentes de abastecimiento |  |
| Coliformes fecales                        | 23                 | 700 000 000                                 | 10                 | 350  | Indicador de contaminación microbiológica  |
| Grasas y aceites                          | 16                 | (34) <sup>2</sup>                           | 3                  | (39)   | Mal aspecto. Indicador de otros contaminantes                                      |
| Ortofosfatos                              | 15                 | 18  |                    |  | Ninguno  |
| Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) |                    |   | 1                  | 16   | Ninguno  |
| Sólidos disueltos                         | 14                 | 6   | 4                  | 3  | Problemas de sabor.  |
| Sólidos totales                           | 13                 | 5   | 2                  | 2  | Indicador de contaminación   |
| Cloruros                                  | 13                 | 13  | 3                  | 3  | Puede indicar presencia de otros contaminantes                                     |
|   |                    |   |                    |  | Problemas de sabor en altas concentraciones y posible relación otros contaminantes |

**tabla 2.21 frecuencia con la que un parámetro es problema en aguas superficiales y subterráneas**

| parámetro                              | superficiales      |   | subterráneas       |  | efectos  |
|--|--------------------|---|--------------------|--|--|
|  | número de regiones | promedio nacional en que se excede la norma | número de regiones | promedio nacional en que se excede el CECA <sup>1</sup> para fuentes de abastecimiento |  |
| Sustancias Activas al Azul de Metileno | 12                 | 24  | 1                  | 44   | Ninguno en las concentraciones normalmente encontradas en el agua                              |
| Nitratos                               | 7                  | 104   | 2                  | 2  | Ninguno pero pueden originar nitritos  |
| Nitritos                               | 7                  | 4   | 2                  | 4  | Concentraciones mayores a 10 mg N/L causa asfisia en Lactantes                                 |
| Color                                  | 4                  | 783   |                    |  | Estético   |
| Fierro                                 | 3                  | 2   |                    |  | Estético   |
| Aluminio                               | 2                  | 66  |                    |  | Ninguno. Investigaciones recientes ya no lo asocian con la enfermedad de Alzheimer             |
| Boro                                   | 2                  | 6   | 1                  | 4  | Altas dosis ataca el sistema nervioso central. Causa borismo.                                  |
| Fenoles                                | 2                  | 3   |                    |  | Tóxicos  |
| Níquel                                 | 2                  | 50  |                    |  | Tóxicos y posiblemente carcinogénicos  |
| Sólidos suspendidos                    | 2                  | 2 330                                       | 1                  | 4  | Ninguno en forma directa   |
| Sulfatos                               | 1                  | 4 655                                       | 1                  | 5  | Muy altas concentraciones son laxantes   |
| Fluoruros                              | 1                  | 2   | 3                  | 10   | Ennegrecimiento del esmalte (fluorosis)  |
| Oxígeno disuelto                       | 1                  | 2   |                    |  | Ninguno  |
| Cromo hexavalente                      | 1                  | 1.4   |                    |  | Inhalado causa cáncer, ingerido el efecto es indeterminado                                     |
| Mercurio                               | 1                  | 500   |                    |  | Destruye los cromosomas y provoca parálisis  |
| Arsénico                               | 1                  | 1.2   |                    |  | Exposición crónica provoca dolor abdominal, vómito y caída de pelo. Altas dosis causan muerte. |

<sup>1</sup> CECA: Criterio Ecológico de Calidad del Agua

<sup>2</sup> Para Grasas y Aceites se da entre paréntesis el valor promedio del parámetro debido a que el criterio es 0 y no es posible dividir entre éste

fuentes: Jiménez y Ramos, 1995

## 2.4 CONCLUSIONES

Las características y propiedades que hacen del agua el solvente universal, también propician que ésta pueda contaminarse fácilmente a lo largo del ciclo hidrológico, lo que puede comprometer su calidad y disponibilidad, afectando los recursos superficiales y subterráneos y limitando al mismo tiempo los usos a los que se le destina.

Es así, resulta de gran importancia distinguir las características de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Considerando la dinámica de cada uno de ellos, es importante identificar los criterios de calidad específicos para cada recurso, así como los parámetros que tienen en común. Ésto permitirá conocer fácilmente los problemas en cada uno de los sistemas e identificar las diversas fuentes de contaminación a las que se ven expuestos.

Es así, que la evaluación de la calidad del agua de dichos recursos estará en función del uso al que se destinará. Dicha evaluación dependerá de la medición de un amplio universo de sustancias y propiedades físicas, químicas y biológicas, lo que muchas veces resulta impráctico y de poca utilidad debido a la dificultad de su aplicación y al alto grado de complejidad de su manejo. En este mismo rubro, hay que dejar claro que considerar muchos parámetros la evaluación de la calidad requiere del empleo de diversas técnicas analíticas, muchas de las cuales no se encontrarán disponibles dentro del contexto tecnológico nacional y por tanto requerirá de grandes inversiones para poder implantarlas.

Las sustancias y parámetros que permitirán caracterizar la calidad del cuerpo de agua, asegurarán el uso del agua y garantizarán, al mismo tiempo, la salud de los usuarios, consumidores y al ambiente. Lo anterior, permitirá identificar si un cuerpo de agua es apto o no para el consumo humano. Asimismo, es necesario evaluar la calidad actual del agua. Lo anterior es posible gracias al seguimiento de los cuerpos de agua que lleva a cabo la Red Nacional de Monitoreo (tabla 2.21), ha permitido identificar que los parámetros microbiológicos (coliformes fecales) son los que constituyen el principal factor contaminante, afectando 23 de las 36 regiones hidrológicas y excediendo hasta en  $10^8$  veces el criterio de calidad. En segundo término, se presentan problemas relacionados con la materia orgánica (nutrientes, sólidos totales y suspendidos). Asimismo, se han encontrado diversos problemas de contaminación relacionados con altas concentraciones de metales en los cuerpos de agua como por ejemplo de arsénico, mercurio, plomo, cadmio, entre otros, en regiones muy localizadas. Finalmente, otros elementos que se han identificado en los cuerpos de agua son compuestos orgánicos, en su mayoría tóxicos.

# CAPÍTULO 3

## revisión de los criterios de calidad para fuentes de abastecimiento de agua para uso y consumo humanos

---

### **3.1 IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA SALUD**

A lo largo de la historia, el hombre ha recurrido a los cuerpos de agua para abastecerse de este recurso, así como para eliminar sus propios desechos, lo que ha provocado que con el paso del tiempo la cantidad y tipo de residuos que se liberan en los cursos de agua se hayan incrementado y diversificado, al mismo tiempo que la calidad original del agua se ha degradado transformándose así en origen y vehículo de diversas enfermedades.

Básicamente existen dos tipos de enfermedades relacionadas con el agua en función del tipo de elementos contaminantes que se desechan (en el agua); las producidas por agentes biológico-infecciosos (microorganismos) que se manifiestan en forma rápida y las producidas por agentes químicos, que en general, tardan en manifestarse.

#### **3.1.1 ENFERMEDADES PRODUCIDAS POR AGENTES QUÍMICOS**

Estas enfermedades son provocadas por la ingesta de elementos y compuestos químicos que entran al agua por vías naturales o antropogénicas, y dependiendo de la dosis y el tiempo de exposición será la respuesta del organismo. La respuesta puede ser inmediata (en un tiempo de 24 a 48 h después de la exposición), o bien, después de largos periodos de tiempo (10 a 20 años como el cáncer). De igual forma los efectos pueden ser o no reversibles, dependiendo de su naturaleza y severidad, así como del órgano afectado.

Debido a la amplia gama de compuestos (naturales o antropogénicos) que pueden presentarse en el agua, actualmente no se han identificado plenamente cuáles son todos los agentes y sus efectos adversos sobre la salud. De los tipos de efectos que se pueden presentar, y que posteriormente se explicarán en el capítulo 5, resaltan los carcinogénicos, los mutagénicos y los teratogénicos.

Particularmente en México, la contaminación del agua con químicos tóxicos ha ido en aumento, los químicos de mayor preocupación son los nitratos, los metales tóxicos, entre otros compuestos inorgánicos, al igual que diversos compuestos orgánicos volátiles y los pesticidas (AIC *et al.*, 1995). Por otra parte, los lixiviados tóxicos, las fugas en el almacenamiento subterráneo de productos industriales, el arrastre de contaminantes por el agua de lluvia, los escurrimientos agrícolas y de las operaciones mineras, son actividades que aportan frecuentemente contaminantes difíciles de monitorear y que causan graves problemas de contaminación debido, a que en general, no se concentran en un área en específica sino que se adhieren al ciclo hidrológico y se mantienen en movimiento hasta que se reintegran aun nuevo ciclo con sus consecuentes efectos.

### 3.1.2 ENFERMEDADES DE ORIGEN BIOLÓGICO-INFECCIOSO

Actualmente, son los agentes biológico-infecciosos de los que se tiene un mayor conocimiento y existe una mayor preocupación; lo que se debe principalmente a su rápida propagación y efectos dañinos. Los microorganismos causantes de enfermedades provienen principalmente de las heces humanas o animales. La infección cuando ocurre el contacto entre el hombre y el agente infeccioso en alguna de las fases del ciclo del uso del agua, es decir que puede presentarse durante las actividades cotidianas (bañarse, lavar, cocinar, etc.), las actividades agrícolas, durante su tratamiento, o bien, al consumirse.

La presencia de estos microorganismos en el agua tiene diversas causas entre las que se encuentran la mala calidad del agua de la fuente de abastecimiento, el desconocimiento de la contaminación biológica del sistema de distribución, escurrimientos de agua contaminada hacia los mantos freáticos, las deficiencias en el acondicionamiento del agua, o bien, la falta de higiene de los usuarios, entre otras. En función de las causas mencionadas, las enfermedades relacionadas con el agua o "hídricas" se clasifican como se presenta en la tabla 3.1.

tabla 3.1 enfermedades relacionadas con el agua

| grupo de enfermedades   | comentario   | enfermedades que producen   |
|---|--|---|
| <p>↻ Enfermedades transmitidas por el agua<br/>(<i>water-borne diseases</i>)</p>  | <p>En este grupo de enfermedades el agua actúa como un vehículo pasivo del agente infeccioso al ser ingerido en el agua contaminada.<br/>Se producen debido a una pobre calidad del tratamiento del agua para uso y consumo humano.</p>    | <p>Cólera<br/>Tifoidea<br/>Disentería bacilaria<br/>Hepatitis infecciosa<br/>Leptospirosis<br/>Giardiasis<br/>Gastroenteritis</p> |
| <p>↻ Enfermedades debidas a la carencia de agua<br/>(<i>water-washed diseases</i>)</p>  | <p>Se relacionan con la falta de higiene personal y el uso de agua de baja calidad en las actividades diarias como lavar y bañarse. También dependen de la insuficiencia de recursos para la disposición adecuada de residuos humanos.</p> | <p>Infecciones de los ojos y la piel<br/>Conjuntivitis<br/>Salmonelosis<br/>Tracoma<br/>Fiebre paratifoidea<br/>Ascariasis</p>    |
| <p>↻ Enfermedades causadas por agentes infecciosos esparcidos por el contacto y/o ingestión de agua<br/>(<i>water-related diseases</i>)</p> | <p>Estas enfermedades se producen cuando parte del ciclo de vida de un agente infeccioso tiene lugar en un medio acuático.</p>   | <p>Fiebre amarilla<br/>Malaria<br/>Arbovirus<br/>Dengue</p>   |
| <p>↻ Enfermedades causadas por agentes infecciosos, ingeridos en diversos alimentos (pescado)</p>   | <p>Este grupo de enfermedades son producidas al ingerir alimentos contaminados por la bioacumulación de ciertos contaminantes o por microorganismos que habitan en el agua.</p>  | <p>Clonorsiacis</p>   |

fuente: Hofkes (1983) y AWWA (1990)

En México, aún cuando por medio del Programa Agua Limpia se ha incrementado el suministro de agua desinfectada a 96% del total suministrado (INEGI-SEMARNAP, 1997), las enfermedades gastrointestinales son el principal problema de salud en el país (AIC *et al.*, 1995) siendo los niños menores a 5 años el grupo más vulnerable a este tipo de padecimientos que provocan diarrea aguda y en ocasiones la muerte por deshidratación.

Los microorganismos contaminantes presentes en el agua como *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella*, *Giardia* y la *Entamoeba histolitica* son agentes causantes de la diarrea que dañan el aparato gastrointestinal y contribuyen al aumento de enfermedades de origen hídrico. En el país, la mortalidad causada por infecciones intestinales disminuyó a menos de la mitad entre 1990 y 1995, al disminuir de 22 196 defunciones a 9 585; la excepción a este

comportamiento general la representa el cólera, enfermedad que ha aumentado a más del doble entre 1992 y 1995 (INEGI-SEMARNAP, 1997). La tabla 3.2 presenta los datos de defunciones por enfermedades infecciosas intestinales que se produjeron en México durante el periodo comprendido entre 1990 y 1995.

**tabla 3.2 defunciones por enfermedades infecciosas intestinales**

| causas  | 1990             |                  | 1992             |                  | 1995             |                  |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|   | menores a 5 años | todas las edades | menores a 5 años | todas las edades | menores a 5 años | todas las edades |
| enfermedades infecciosas intestinales                             | 14 011           | 22 196           | 7 215            | 14 191           | 4 864            | 9 585            |
| cólera  | ---              | ---              | 4                | 69               | 15               | 143              |
| fiebre tifoidea   | 124              | 591              | 51               | 333              | 33               | 230              |
| shigelosis  | 80               | 145              | 47               | 97               | 26               | 60               |
| intoxicación alimentaria  | 123              | 572              | 54               | 378              | 41               | 291              |
| amibiasis   | 311              | 1 114            | 146              | 674              | 122              | 492              |
| infecciones intestinales debidas a otros organismos especificados | 401              | 530              | 202              | 314              | 131              | 205              |
| infección intestinal mal definida                                 | 12 971           | 19 233           | 6 711            | 12 324           | 4 496            | 8 161            |
| las demás causas  | 1                | 11               | ---              | 2                | ---              | 3                |

fuelle: INEGI-SEMARNAP, 1997

Como puede observarse, tanto los elementos infecciosos como los tóxicos químicos pueden ser transmitidos por medio del agua, lo que la transforma irónicamente en portador potencial de enfermedades, al mismo tiempo que es el elemento indispensable para la vida. De ahí la importancia de mantener fuentes de abastecimiento saludables, lo que se puede lograr conociendo y reglamentando la calidad del agua que es benéfica para los organismos vivos y adecuada para el uso al que se le destina. A continuación se explica cuál ha sido el objetivo de crear criterios y estándares para conservar la calidad del agua.

### 3.2 DEFINICIÓN DE LOS CRITERIOS DE CALIDAD

Durante los últimos años, los gobiernos de los diferentes países han manifestado su preocupación por la calidad de vida de todos los habitantes de la Tierra. Uno de los aspectos más discutidos recientemente, debido a su importancia por el alto riesgo que involucra, tanto para la salud como para el ambiente, son los problemas relacionados con la calidad y el abastecimiento de agua de consumo. Es así, que en un esfuerzo por

encontrar las medidas de seguridad pertinentes, se declaró en la Conferencia del Mar del Plata en 1977 que (Gleick P.H., 1996):

*...todas las personas, no importa su etapa de desarrollo o sus condiciones sociales y económicas, tienen derecho a acceder al agua potable en la cantidad y calidad correspondientes a sus necesidades...*

Con el objetivo de reafirmar las declaraciones anteriores, en la Cumbre de la Tierra de 1992 se estableció:

*...en el desarrollo y empleo de las fuentes de agua, la prioridad debe darse a la satisfacción de las necesidades básicas y a salvaguardar los ecosistemas...*

Uno de los instrumentos para el manejo de la calidad del agua se encuentra en la definición de los criterios de calidad, que son valores de concentraciones de compuestos o propiedades físicas del agua que nos permiten ponderar su calidad con respecto a un uso determinado. Los criterios son propuestos por la autoridad, y en la mayoría de los casos, convenidos con la comunidad científica de cada país.

El establecimiento de un criterio depende principalmente de la información que se tenga acerca de sus efectos negativos para un uso determinado (análisis de riesgo). En el caso de la salud humana o de la flora y fauna, los análisis de riesgo de cierto compuesto dependen de la dosis, exposición, el medio y el estado físico del organismo. En la práctica, esto no es fácil debido a que tanto los riesgos como los beneficios son muy difíciles de evaluar, sobre todo si no se cuenta con programas confiables para medir y asegurar el cumplimiento de las normas de calidad del agua. De esta forma, definir los criterios de calidad adecuados para un país, se logrará mediante procesos iterativos, en los que participe la comunidad científica y donde cada vez que se revisen pueda ser que algún parámetro deje de contemplarse por no ser un problema en el agua, o bien, se tenga que añadir por haberse observado efectos no deseados. De manera similar, los valores de los parámetros estarán sujetos a modificaciones en función de los cambios en la calidad de los cuerpos de agua, ya sea por su degradación o recuperación (Jiménez *et al.*, 1997).

En general, los criterios de calidad del agua en el ámbito internacional se desarrollan con el fin de proporcionar la información científica necesaria para que los usuarios conozcan y reconozcan los efectos que tienen diversos parámetros. En este punto es importante diferenciar los conceptos de **valor guía**, **criterio**, **objetivo** y **estándar**, ya que éstos varían en función de la agencia, organismo o país que los utiliza. A continuación se describe cada uno de los conceptos (Thanh y Tam, 1990).

**Objetivos.** Se refieren a metas a ser alcanzadas en cierto tiempo y se expresan en palabras de manera general. Los objetivos indican las metas hacia donde se dirige un programa de administración de la calidad del agua. Un ejemplo puede ser, que en diez años no se presenten zonas anaeróbicas en los cuerpos de agua del país, o que en 25 años se pueda pescar en los ríos.

**Criterios.** Los criterios representan características del agua que son necesarias o deseables para usos específicos. Son expresados numéricamente, por lo que son más específicos que los objetivos. Con base en los criterios, se puede definir si cierta agua es apropiada para cierto uso. Los criterios no son obligatorios.

**Valor guía o lineamiento (guidelines).** Se refiere a concentraciones o requerimientos específicos recomendados para mantener un determinado uso designado en un cuerpo de agua. Las guías o lineamientos son más estrictas que los criterios, ya que representan una clara convicción de alcanzarlos y cumplirlos. Sin embargo, no son valores obligatorios.

**Estándar.** Son los valores que traducen a una forma legal los objetivos, criterios y lineamientos de la calidad en los cuerpos de agua. Son de carácter obligatorio, se expresan legalmente y en la mayoría de los casos se refieren a las características que debe cumplir una descarga.

### 3.3 FINALIDAD DE LOS CRITERIOS DE CALIDAD PARA FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANOS

Aún cuando las primeras civilizaciones no conocían en qué consistía una buena calidad del agua y su relación con diversas enfermedades, existe registro de su preocupación por la calidad de este elemento; p. ej. los que podrían denominarse los primeros estándares de calidad del agua datan de por lo menos 4 000, años de una fuente en sánscrito (AWWA, 1990):

*"Debe de calentarse el agua sucia, hierviéndola o exponiéndola a la luz del sol, meterla siete veces en una pieza de cobre ardiente para después filtrarla y enfriarla en un recipiente de barro"*

Por otra parte, Hipócrates, el padre de la medicina, afirmó que el agua contribuye mucho a la salud; su interés se centró en la selección de las fuentes de abastecimiento más saludables en lugar de purificar las aguas de mala calidad.

Aparentemente, la gente de la antigüedad dedujo por observación que ciertas aguas promovían la buena salud, mientras que otras producían infecciones, ya que no conocían las causas de las enfermedades y tampoco contaban con otros parámetros de calidad que no fueran la claridad, el sabor y olor del agua (AWWA, 1990).

El interés del hombre por mantener una buena salud fomentó la investigación de las características fisicoquímicas y biológicas del agua, lo que permitió descubrir que es un poderoso transmisor de enfermedades ya que puede alojar a todo tipo de microorganismos y disuelve, en diferentes proporciones, todas las sustancias que entran en contacto con ella. Al mismo tiempo, se fueron desarrollando las técnicas, y herramientas necesarias para cualificar y cuantificar las sustancias presentes en el agua.

A partir de los conocimientos obtenidos y como producto de la modificación que han sufrido los cuerpos de agua en su calidad, ha surgido la necesidad de definir los Criterios de Calidad del Agua considerando la necesidad de (adaptado del Diario Oficial de la Federación, 1989):

- ◆ Precisar los efectos a diferentes niveles de los parámetros y las sustancias que se encuentran en el agua
- ◆ Definir cuales son los contaminantes del agua, la correlación entre su presencia y los efectos que éstos ocasionan en los seres vivos y el entorno, así como en los diferentes usos de la región
- ◆ Identificar la necesidad de establecer programas de prevención y control de la contaminación orientados a restaurar o proteger y mantener la calidad de los cuerpos de agua

A partir de lo anterior, es posible

- ◆ Definir el estado actual de la calidad de los cuerpos de agua
- ◆ Identificar, en función de la calidad, cual es el uso conveniente para un cuerpo de agua
- ◆ Plantear programas de monitoreo y/o modificarlos si éstos ya existen

Con respecto a los criterios que definan la calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua para uso y consumo humano (**agua potable**) debe aclararse que la prioridad de éstos será la protección de la salud humana, cuidando que el agua que se abastezca no contenga contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causen efectos nocivos al ser humano (Diario Oficial de la Federación, 1996).

### **3.4 REVISIÓN DE LOS CRITERIOS DESARROLLADOS EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL**

Con el fin de asegurar un agua con las características antes mencionadas, diversos países y organizaciones han desarrollado criterios para evaluar y definir la calidad del agua que será adecuada para el uso y consumo humano.

A continuación se hace una reseña de los parámetros de calidad que proponen la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Unión Europea (UE), Canadá, los Estados Unidos y México. Cabe señalar que se eligieron a la OMS y la UE ya que se consideran

asociaciones representativas que compilan la información generada en países de todo el mundo.

### 3.4.1 LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, OMS

La primera vez que la Organización Mundial de la Salud (OMS) publicó las Guías de calidad para agua potable fue durante en 1985, su objetivo es apoyar a los países en la creación de estándares nacionales encaminados a asegurar la calidad del agua potable para la protección de la salud pública (OMS, 1993).

En 1988, la OMS decidió hacer la primera revisión de los criterios publicados en 1985 tomando como base de actualización diversos estudios e investigaciones realizados por diversos países<sup>8</sup>. La última revisión de los parámetros propuestos por la OMS examina diversos contaminantes que no fueron incluidos en la primera versión, además reconsidera algunos de los valores guía de los parámetros originales.

La OMS considera que la adopción de normas excesivamente estrictas podría limitar el abastecimiento disponible de agua, lo que ocasionaría grandes problemas en las regiones donde existe escasez del recurso, por lo que sugiere que cada nación adopte la decisión final acerca de los parámetros y sus valores, ya que los valores guía propuestos por la OMS tienen cierta flexibilidad y permiten, al menos, formarse un juicio sobre la **calidad aceptable** del agua.

Los criterios de calidad enfatizan la protección del agua contra la contaminación originada por desechos de origen humano o animal que pueden contener bacterias, virus, protozoarios y helmintos parásitos que ocasionan brotes de enfermedades transmitidas por medio del agua y pueden dar lugar a la infección simultánea de gran parte de la población. Asimismo, la OMS considera que el riesgo que presentan las sustancias químicas tóxicas que se encuentran en el agua de bebida, es distinto del que suponen los contaminantes biológicos, es decir, que son pocas las sustancias químicas que pueden causar graves problemas agudos de salud, a menos que ocurra una contaminación accidental masiva de la fuente de abastecimiento.

Los problemas relacionados con las sustancias químicas presentes en el agua de bebida se deben sobre todo a que éstas pueden afectar negativamente a la salud tras periodos prolongados de exposición. Por esto la OMS concluye que las normas químicas para el agua potable tienen una importancia secundaria cuando el agua esta gravemente contaminada por bacterias.

---

<sup>8</sup> *Canadá, Dinamarca, Finlandia, Alemania, Italia Japón, Holanda, Noruega, Polonia, Suecia, Inglaterra, Irlanda del Norte y Estados Unidos.*

La OMS considera diferentes tipos de contaminantes, a saber:

- ❑ Calidad bacteriológica en el agua potable
- ❑ Sustancias químicas de importancia para la salud presentes en el agua potable
  - Constituyentes inorgánicos (19)
  - Químicos orgánicos (30)
  - Pesticidas (36)
  - Desinfectantes y productos secundarios (17)
- ❑ Componentes radiactivos del agua potable (2)
- ❑ Sustancias químicas carentes de importancia para la salud en las concentraciones habitualmente halladas en el agua potable (3)
- ❑ Sustancias y parámetros del agua potable que pueden provocar quejas de los consumidores
  - Parámetros físicos (4)
  - Inorgánicos (14)
  - Orgánicos (9)
  - Desinfectantes y productos secundarios (4)

Cabe mencionar que la OMS no propone utilizar todos los parámetros mencionados, sino adecuarlos a las necesidades intrínsecas de cada país.

### 3.4.2 LA UNIÓN EUROPEA

Dentro de la Unión Europea (UE), la Directiva 98/83/CE del Consejo del 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las «Aguas destinadas al consumo humano», está diseñada para salvaguardar la salud humana al establecer estándares estrictos para la calidad del agua de bebida (Europa-2, 1999).

La Unión Europea define al Agua Destinada para el Consumo Humano como (Europa-1, 1999):

- a) Todas las aguas, ya sea en su estado original, ya sea después de tratamiento, para beber, cocinar, preparar alimentos u otros usos domésticos, sea cual fuere su origen e independientemente de que se suministren a través de una red de distribución, a partir de una cisterna o envasadas en botellas u otros recipientes;

- b) Todas las aguas utilizadas en empresas alimentarias para fines de fabricación, tratamiento, conservación o comercialización de productos o sustancias destinados al consumo humano, a menos que a las autoridades nacionales competentes les conste que la calidad de las aguas no puede afectar a la salubridad del producto alimenticio final.

Asimismo, dentro de esta directiva se especifica que los Estados miembro deben adoptar las disposiciones necesarias a fin de que las aguas para consumo humano sean salubres y limpias, la Directiva define a un agua como salubre y limpia cuando (Europa-1, 1999):

- a) No contienen ningún tipo de microorganismo, parásito o sustancia, en una cantidad o concentración que pueda suponer un peligro para la salud humana y
- b) Los Estados miembros adopten las medidas necesarias para garantizar que las aguas destinadas al consumo humano cumplen los requisitos de la Directiva.

Dentro del Mandato se exponen los parámetros que califican la calidad del agua potable, dicha definición incluye (Europa-2, 1999):

- Los parámetros organolépticos, físicos y químicos, sustancias indeseables, tóxicos y parámetros microbiológicos que aplican a ella.
- El valor aplicable (estándar) a cada uno de los parámetros.

Los parámetros serían establecidos en los países miembro<sup>9</sup> por la introducción de la legislación nacional que se realiza por los instrumentos establecidos por la Ley. La *Drinking Water Directive* (DWD) como se conoce, fue establecida en Irlanda en 1988 (*Quality of Water Intended for Human Consumption*). Cabe destacar que las aguas naturales minerales y las aguas medicinales no caen dentro de este mandato.

El mandato lista 66 parámetros que se encuentran divididos en 6 categorías:

- (1) Organolépticos (4)
- (2) Físicoquímicos (15)
- (3) Sustancias no deseadas en cantidades excesivas (24)
- (4) Sustancias tóxicas (13)
- (5) Microbiológicos (6)
- (6) Concentración mínima para agua blanda (4)

La UE propone 2 tipos de estándares para los parámetros, como dos concentraciones que no deben ser excedidas. Un valor **G** que es el valor guía que la UE desea que los estados miembro trabajen a largo plazo y el valor **I** que es valor obligatorio en el mandato y por lo tanto es el estándar mínimo que puede ser adoptado.

<sup>9</sup> Actualmente la Unión Europea está formada por 15 países: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Holanda, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Portugal, Reino Unido, Suecia.

En la DWD el valor I se conoce como Concentración Máxima Admisible o MAC y en las legislaciones de los estados miembro puede adoptarse este valor como mínimo o bien, valores más estrictos.

Como en el caso de otros mandatos, las derogaciones de valores específicos se permiten en función de las de las condiciones climatológicas y geográficas que no las permitan. Estas excepciones no consideran a los factores tóxicos y microbiológicos que ocasionan daños a la salud.

### 3.4.3 ESTADOS UNIDOS

En los Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (*Environmental Protection Agency, US. EPA*) es la entidad federal responsable de proteger al ambiente de cualquier tipo de contaminación; entre sus funciones se encuentra apoyar el desarrollo y la implantación de la legislación federal. Específicamente, en materia de la calidad del agua, la *US. EPA* tiene la autoridad de asentar los Estándares del Agua Potable (*Drinking Water Standards, DWS*), dichas regulaciones son expedidas bajo el amparo de la Ley de Agua Potable (*Safe Drinking Water Act, SDWA*), que entró en vigor en 1974 y se reformó en 1986 y 1996 (*EPA-1 et al., 1999*).

La *SDWA* exige que todos los sistemas públicos de aguas cumplan con ciertos reglamentos nacionales primarios sobre el agua potable y otorga a la *US EPA* la autoridad de establecer dichos estándares (*CEC, 1998*) cuyo objetivo es controlar el nivel de contaminantes del agua de bebida de ese país, ejecutando las siguientes medidas (*EPA-1 et al., 1999*):

- ◇ Valorar y proteger las fuentes de aprovisionamiento para agua potable
- ◇ Proteger los pozos y sistemas de colección
- ◇ Asegurar que el agua es tratada por operadores calificados
- ◇ Garantizar la integridad de los sistemas de distribución
- ◇ Proporcionar información al público acerca de la calidad del agua

La responsabilidad directa de la calidad recae en los Estados<sup>10</sup>, ya que éstos tienen el derecho de aplicar cualquier norma de calidad de las aguas requeridas por el estatuto federal, o bien, pueden promulgar sus propias leyes y reglamentos del control de la contaminación de las aguas estatales (*CEC, 1998*) siempre y cuando cumplan, al menos, con las regulaciones federales (*AWWA, 1990*). En este aspecto, el papel federal (*US EPA*) se limita a revisar o crear normas para estados que no llegan a cumplir con los requisitos federales mínimos.

En la promulgación de los estándares federales, la *US EPA* asegura la calidad del agua de bebida protegiendo las fuentes de abastecimiento superficiales y subterráneas (*EPA-2 et al., 1999*), para lo que existen dos categorías de estándares:

<sup>10</sup> En los departamentos de salud locales y estatales apoyados por el *US Public Health Service* y la *US EPA* (*AWWA, 1991*).

*Estándares Primarios (NATIONAL PRIMARY DRINKING WATER REGULATION, NPDWR)*, aplican a los sistemas públicos y su cumplimiento es obligatorio. Los estándares primarios protegen la calidad del agua de bebida limitando los niveles de contaminantes específicos que pueden afectar adversamente a la salud pública y que se sabe de su presencia o posible presencia en el agua.

*Estándares Secundarios (NATIONAL SECONDARY DRINKING WATER REGULATION, NPDWR)*, no son legalmente forzados y consideran a los contaminantes que pueden causar dos tipos de efectos negativos: estéticos como olor, sabor y color, o bien, cosméticos como decoloración de los dientes y la piel.

Con respecto a los estándares primarios existen dos niveles de aplicación:

*Metas de niveles máximos de contaminación (Maximum Contaminant Levels Goal, MCLG)*, son aplicables a las sustancias químicas que se sabe o se prevé que se pueden hallar en el suministro público de agua y su cumplimiento no es obligatorio. Este tipo de estándar únicamente considera la salud pública y no considera los límites de detección y la remoción de las tecnologías de tratamiento. Para su determinación la US EPA considera el riesgo de las poblaciones más sensibles.

*Niveles máximos de contaminantes (Maximum Contaminant Level, MCL)*, este estándar es obligatorio y se aplica para la mayoría de las sustancias monitoreadas en los suministros de agua potable. Esta concentración es el nivel máximo permisible que un usuario puede recibir del sistema público de agua y se busca que este valor sea lo más cercano posible a las MCLG. La SDWA define el nivel que debe ser alcanzado utilizando la mejor tecnología disponible, las técnicas de tratamiento y otros factores considerados por la US EPA.

Las sustancias consideradas en los estándares primarios se conforman de la siguiente forma:

- ◆ Químicos inorgánicos (16)
- ◆ Químicos orgánicos (54)
- ◆ Radionúclidos (3)
- ◆ Microorganismos (6)

Dentro de los estándares secundarios se consideran las concentraciones de diversos parámetros fisicoquímicos que pueden ocasionar problemas estéticos en el agua de bebida.

El Acta de Agua Limpia (*Clean Water Act, CWA*) de este país dispone que hacia el año 2001 y a partir de esa fecha, cada 5 años, la US EPA debe decidir si regula al menos cinco de los contaminantes listados en la legislación. El objetivo es regular los contaminantes que

presentes un mayor riesgo para la salud pública de acuerdo a lo que se determine con el análisis de evaluación de riesgos y costo-beneficio. Una vez que se ha identificado que un contaminante requiere ser reglamentado, la *US EPA* debe proponer, en 2 años, una meta de nivel máximo (*MCLG*) y una reglamento nacional primario de agua potable que debe estar en vigencia en 18 meses. Los sistemas de agua públicos deben cumplir con los reglamentos de niveles máximos de contaminantes.

#### 3.4.4 CANADÁ

En Canadá, de acuerdo con el *Act British North America*, en sus secciones 91 y 92, la regulación del agua compete tanto al gobierno federal como a los gobiernos de sus provincias, quienes además regulan el suministro de agua potable a las ciudades o zonas industriales.

Las provincias son la autoridad principal reguladora de los recursos de agua dulce (CEC, 1998), ya que cuentan con poderes para la designación de usos y niveles de calidad del agua en virtud de sus facultades legislativas respecto a trabajos y actividades locales, derechos civiles y de bienes, instituciones municipales y todos los asuntos de naturaleza local y privada.

Por otra parte, el Gobierno Federal cuenta con jurisdicción sobre las aguas costeras y la pesca en aguas interiores, la navegación, la embarcación y el comercio. A su vez, ha promulgado leyes para prevenir la contaminación del agua, como la Ley de Protección al Ambiente de Canadá (*Canadian Environmental Protection Act*, CEPA), La Ley de Pesca (*Fisheries Act*), la Ley de Aguas de Canadá (*Canada Water Act*, CWA) La Ley de Prevención de la Contaminación de Aguas del Ártico (*Arctic Waters Pollution Prevention Act*) y la Ley de la Marina Mercante de Canadá (*Canada Shipping Act*).

Por lo anterior podemos observar que los gobiernos de las provincias regulan la calidad del agua potable, mientras que el Gobierno Federal desempeña un papel de asesoría, en la mayoría de los casos. Los controles respecto a la seguridad del agua potable son un aspecto de la administración de la salud pública, no de protección ambiental (CEC, 1998).

En 1989 el ministerio de Salud de Canadá (*Health Canada*) publicó la *Guía sobre la Calidad del Agua en Canadá*. Este documento ha sido adoptado por numerosos municipios con el fin de asegurar la calidad del agua potable. Los valores guía son concentraciones numéricas desarrolladas y promulgadas por el *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME). Su objetivo es proteger y mantener mayores recursos y al mismo tiempo proveer de directrices de calidad del agua con la información técnica y científica más actual

(*Environment Canada, 1998*). Estos valores son una guía no reglamentada para la toma de decisiones en materia ambiental.

Los criterios de calidad del agua en Canadá constan de:

- ⊖ Parámetros microbiológicos (9)
- ⊖ Parámetros inorgánicos (31)
- ⊖ Parámetros orgánicos (92)
- ⊖ Parámetros físicos (10)
- ⊖ Parámetros radiológicos (6)

### 3.4.5 MÉXICO

En México, los derechos sobre los recursos hídricos quedan asentados dentro del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, donde se establece la propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro del territorio nacional de prácticamente todas las aguas superficiales y subterráneas. Asimismo, se fundamentan las leyes sobre protección y manejo de los recursos hídricos, que incluyen, entre otros aspectos (CMIC *et al.*, 1998):

- (1) Regular la extracción y el uso de las aguas nacionales
- (2) Establecer las áreas donde el agua no podrá ser extraída
- (3) Asentar las reglas para la expedición de permisos de uso del agua bajo las leyes que dicta el Congreso
- (4) **Definir la calidad del agua para los diferentes usos a los que se le destina**
- (5) Reglamentar la calidad de las descargas de aguas residuales (industriales, municipales, entre otras)

Las actividades arriba mencionadas se llevan a cabo por medio de diversas Leyes y Mandatos que promueven, dependiendo de la función, entre otras la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) y la Secretaría de Salud (SS) (CNA-1, 1998).

En cuanto a los criterios generales de uso del agua, así como los lineamientos para la prevención y control de la contaminación de los cuerpos hídricos, estos se presentan en tres leyes (CMIC, *et al.*, 1998):

#### **Ley de Aguas Nacionales (LAN)**

Expedida en el año de 1992; proporciona un régimen legal integral que da sustento a las disposiciones más generales de la LGEEPA (CEC, 1998). En esta ley se establece la

obligación de todos los usuarios al pago de derechos para uso de aguas nacionales, incluyendo derechos de descargas de aguas residuales para evitar la contaminación de ríos y mantos acuíferos. Adicionalmente, la LAN se complementa con el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales y por las Normas Oficiales Mexicanas en materia de protección a la salud y al ambiente (CNA, 1996).

#### **Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (LFDA)**

Reconoce el valor económico del recurso hídrico y el costo de la contaminación del mismo, por lo que regula el pago de derechos por su uso en dos ramas: (1) el uso del agua y (2) el uso de los cuerpos de agua propiedad de la nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales; considerando para ello zonas de disponibilidad y la concentración de contaminantes. Los derechos se actualizan anualmente (CNA-2, 1998).

#### **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)**

Promulgada en 1987 y revisada en 1996, establece los criterios generales para la prevención y control de la contaminación de las aguas refiriéndose a su importancia ambiental, la responsabilidad del estado sobre ella y la necesidad de tratar las descargas residuales. Conforme a esta ley, los criterios se deben considerar por medio de la expedición de normas para el control de la contaminación de las aguas nacionales a través de dos organismos descentralizados y dependientes de la SEMARNAP (SEMARNAP, 1999 y 1997):

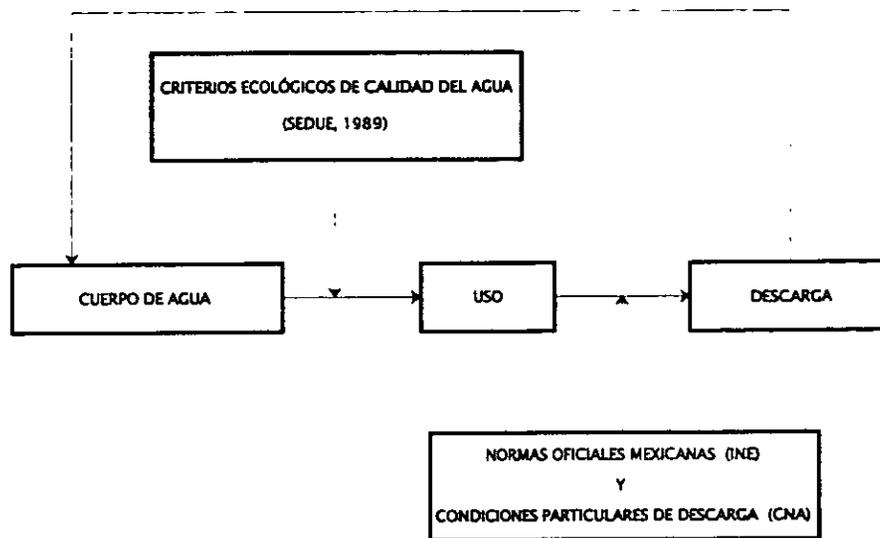
La **Comisión Nacional del Agua (CNA)**, creada en 1989, y encargada de la administración, custodia y programación de las aguas nacionales. La CNA expide las Condiciones Particulares de Descarga (CPD), que se fijan de acuerdo con la naturaleza, capacidad de carga y tipo de uso de los cuerpos de agua (CNA-2, 1999).

El **Instituto Nacional de Ecología (INE)**, que diseña la política ecológica general y vigila la aplicación de sus diversos instrumentos de regulación y gestión ambiental. Tiene a su cargo la publicación de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM's) en materia de protección al ambiente (INE, 1999).

#### **3.4.5.1 Los Criterios Ecológicos de Calidad de Calidad del Agua**

Aunados a los instrumentos regulatorios mencionados en el punto lo anterior (NOM's y CPD's) se encuentran los CRITERIOS ECOLÓGICOS DE CALIDAD DEL AGUA (CECA)<sup>11</sup>. Esta reglamentación se relaciona como se muestra en la figura 3.1.

<sup>11</sup> Publicados por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) el 13 de diciembre de 1989 en el Diario Oficial de la Federación.



**figura 3.1 Instrumentos regulatorios del uso y descargas del agua en el control de la contaminación**  
adaptado de. Jiménez y Ramos, 1995

Como se observa en la figura el aparato regulatorio considera que antes de dar una aplicación a un cuerpo de agua, es necesario conocer su calidad para poder clasificarlo y destinarlo al uso adecuado. Con este fin, se establecieron en los CECA 5 tipos de usos del agua:

1. Fuente de abastecimiento de agua potable
2. Uso recreativo. Contacto primario
3. Riego agrícola
4. Pecuario
5. Protección a la vida acuática. Agua dulce
6. Protección a la vida acuática. Agua marina

Dentro de las metas que persiguen los CECA se manifiestan las siguientes (DOF, 1989):

- Tener un aprovechamiento racional del agua por medio de la prevención y control de la contaminación del agua, así como la protección de la flora y fauna acuáticas.
- Definir para cada uso niveles permisibles de los parámetros y sustancias que se encuentran en el agua, dicha definición constituye la calidad mínima requerida para cada uso o aprovechamiento, considerando que en el país las condiciones de los cuerpos de agua varían ampliamente en cantidad y calidad.

- Identificar los cuerpos deteriorados y los que se encuentran en buenas condiciones, comparando su calidad actual con la propuesta en los CECA, para establecer programas de prevención y control de la contaminación, así como para la protección de los mismos.
- Identificar la bioacumulación y transmisión de sustancias tóxicas en organismos a través de la cadena alimenticia y la correlación existente entre su presencia y sus efectos en los usuarios y las actividades que dependen del cuerpo de agua en cuestión.

Para definir los criterios de calidad se consideró la variación, en cantidad y calidad, de los cuerpos de agua del país, el grado de deterioro que pueden tener y las condiciones necesarias para la existencia y el desarrollo de un ecosistema.

En particular, los CECA definidos para una fuente de abastecimiento de agua potable<sup>12</sup>, se enfocan a la protección de la salud humana, basándose en las propiedades carcinogénicas, tóxicas u organolépticas de las sustancias. En este caso, los criterios no se refieren a la calidad del agua que va a ser ingerida, sino a los límites permisibles del cuerpo de agua que se pretende utilizar para proveer agua para el consumo humano; es decir, que el agua de la fuente de abastecimiento **debe ser sometida a tratamiento** cuando no se ajuste a las disposiciones sanitarias sobre agua potable. Sin embargo, de acuerdo con la figura 3.1, la calidad definida para las fuentes de abastecimiento de agua potable debe ser tal que por medio de un tratamiento convencional se logre la calidad del agua que exige la norma para el abastecimiento de agua para uso y consumo humano (NOM-127-SSA1-1994), actualmente en revisión.

El objetivo de la NOM-127-SSA1-1994 es abastecer el agua para uso y consumo humanos con la calidad adecuada para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales, entre otras, por lo que establece límites permisibles en cuanto a las características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas que aseguren dicha calidad.

Para observar la concordancia entre ambas calidades se presentan en la tabla 3.3 los CECA para las fuentes de abastecimiento de agua potable y los límites permisibles para el agua potable de la NOM-127-SSA, respectivamente.

---

<sup>12</sup> Una fuente de abastecimiento de agua potable es todo cuerpo de agua que es o puede ser utilizado para proveer agua para consumo humano (DOF, 1989).

**tabla 3.3 comparación de las calidades de los CECA para fuentes de abastecimiento y los límites permisibles para el agua potable establecidos por la NOM-127-SSA1-1994 (I)**

| parámetros inorgánicos                 | valor   |                   | parámetros inorgánicos                          | valor   |                   |
|--|---|-------------------|---|---|-------------------|
|  | CECA fuente de abastecimiento de agua potable | NOM-127-SSA1-1994 |   | CECA fuente de abastecimiento de agua potable | NOM-127-SSA1-1994 |
| Alcalinidad                            | 400   |                   | Fosfatos (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup>       | 0.1   |                   |
| Aluminio                               | 0.02  | 0.2               | Manganeso                                       | 0.1   | 0.15              |
| Antimonio                              | 0.1   |                   | Mercurio  | 0.001   | 0.001             |
| Arsénico                               | 0.05  | 0.05              | Níquel  | 0.01  |                   |
| Asbestos (fibras/L)                    | 3000  |                   | Nitratos, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (como N) | 5   | 10                |
| Bario                                  | 1   | 0.7               | Nitritos, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (como N) | 0.05  | 0.05              |
| Berilio                                | 0.00007                                       |                   | Nitrógeno amoniacal (como N)                    |   | 0.5               |
| Boro                                   | 1   |                   | Oxígeno disuelto                                | 4   |                   |
| Cadmio                                 | 0.01  | 0.005             | Plata   | 0.05  |                   |
| Cianuros (como CN <sup>-</sup> )       | 0.2   | 0.07              | Plomo   | 0.05  | 0.025             |
| Cloro residual                         |   | 0.2-1.5           | Selenio (como selenato)                         | 0.01  |                   |
| Cloruros (como Cl)                     | 250   | 250               | Sodio   |   | 200               |
| Cobre                                  | 1   | 2                 | Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup>       | 500   | 400               |
| Cromo                                  | 0.05<br>(hexavalente)                         | 0.05<br>(total)   | Sulfuro (como H <sub>2</sub> S)                 | 0.2   |                   |
| Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> ) |   | 500               | Talio   | 0.01  |                   |
| Hierro                                 | 0.3   | 0.3               | Zinc  | 5   | 5                 |
| Fluoruros (como F <sup>-</sup> )       | 1.5   | 1.5               |   |   |                   |
| parámetros físicos y organolépticos    | valor   |                   | parámetros físicos y organolépticos             | valor   |                   |
|  | CECA fuente de abastecimiento de agua potable | NOM-127-SSA1-1994 |   | CECA fuente de abastecimiento de agua potable | NOM-127-SSA1-1994 |
| Aspectos estéticos                     | (II)  |                   | Sabor   | Característico                                | agradable         |
| Color (escala Pt-Co)                   | 75  | 20                | Sólidos disueltos                               | 500   | 1000<br>(totales) |
| Grasas y aceites                       | ausente                                       |                   | Sólidos suspendidos                             | 500   |                   |
| Materia flotante                       | (III)   |                   | Sólidos totales                                 | 1000  |                   |
| Olor                                   | Ausente                                       | agradable         | Temperatura °C                                  | Condiciones naturales + 2 b                   |                   |
| Potencial de hidrógeno (pH)            | 5 - 9   | 6.5 - 8.5         | Turbiedad (unidades escala de sílice)           | Condiciones naturales                         | 5 UTN             |

**tabla 3.3 comparación de las calidades de los CECA para fuentes de abastecimiento y los límites permisibles para el agua potable establecidos por la NOM-127-SSA1-1994 (I)**

| parámetros orgánicos                   | valor   |                   | parámetros orgánicos                   | valor   |                   |
|--|---|-------------------|--|---|-------------------|
|  | CECA fuente de abastecimiento de agua potable | NOM-127-SSA1-1994 |  | CECA fuente de abastecimiento de agua potable | NOM-127-SSA1-1994 |
| Acenafteno                             | 0.02  |                   | Dimetil ftalato                        | 313   |                   |
| Ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) | 0.1   | 50                | 2,4-dinitrofenol                       | 0.07  |                   |
| Acrilonitrilo                          | 0.0006  |                   | Dinitro-o-cresol                       | 0.01  |                   |
| Acroleína                              | 0.3   |                   | 2,4-dinitrotolueno                     | 0.001   |                   |
| Aldrin                                 | 0.00003                                       | 0.03 (IV)         | Endosulfano (alfa y beta)              | 0.07  |                   |
| Benceno                                | 0.01  |                   | Endrin                                 | 0.001   |                   |
| Bencidina                              | 0.000001                                      |                   | Etilbenceno                            | 1.4   |                   |
| Bifenilos policlorados                 | 0.0000008                                     |                   | Fenol                                  | 0.3   | 0.001 (V)         |
| BHC (lindano)                          | 0.003   | 2                 | Fluoranteno                            | 0.04  |                   |
| Bis (2-cloroetil)éter                  | 0.0003  |                   | Halometanos                            | 0.002   |                   |
| Bis (2-cloroisopropil) éter            | 0.03  |                   | Heptacloro                             | 0.00001                                       | 0.03 (VI)         |
| Bis (2-etilhexil)ftalato               | 32  |                   | Hexaclorobenceno                       | 0.00001                                       | 0.01              |
| Bromoformo                             | 0.002   |                   | Hexaclorobutadieno                     | 0.004   |                   |
| Bromuro de metilo                      | 0.002   |                   | Hexaclorociclopentadieno               | 0.001   |                   |
| Carbono orgánico                       |   |                   | Hexacloroetano                         | 0.02  |                   |
| Extractable en alcohol                 | 1.5   |                   | Hidrocarburos aromáticos polinucleares | 0.00003                                       |                   |
| Extractable en cloroformo              | 3   |                   | Isoforona                              | 5.2   |                   |
| Clordano                               | 0.003   | 0.3               | Metoxicloro                            | 0.03  | 20                |
| (mezcla técnica de metabolitos)        |   |                   | Nitrobenceno                           | 20  |                   |
| Clorobenceno                           | 0.02  |                   | 2-nitrofenol y 4-nitrofenol            | 0.07  |                   |
| 2-clorofenol                           | 0.03  |                   | N-nitrosodifenilamina                  | 0.05  |                   |
| Cloroformo                             | 0.03  |                   | N-nitrosodimetilamina                  | 0.00001                                       |                   |
| Cloruro de metileno                    | 0.002   |                   | Paratión                               | 0.00003                                       |                   |
| Cloruro de metilo                      | 0.002   |                   | Pentaclorofenol                        | 0.03  |                   |
| Cloruro de vinilo                      | 0.02  |                   | Sustancias activas al azul de metileno | 0.5   | 0.5               |
| DDD= diclorofenildicloroetano          | 0.0000002                                     |                   | 2,3,7,8-                               |   |                   |
| DDT=                                   |   |                   | tetraclorodibenzo-p-dioxina            | 0.000000001                                   |                   |
| 1,1-di(clorofenil)-2,2,2-tricloroetano | 0.001   | 1                 | 1,1,2,2-tetracloroetano                | 0.002   |                   |
| Diclorobencenos                        | 0.4   |                   | Tetracloroetileno                      | 0.008   |                   |
| 1,2-dicloroetano                       | 0.005   |                   |  |   |                   |

**tabla 3.3 comparación de las calidades de los CECA para fuentes de abastecimiento y los límites permisibles para el agua potable establecidos por la NOM-127-SSA1-1994 (I)**

|                            |  |                              |                            |  |   |
|----------------------------|--|------------------------------|----------------------------|--|---|
| 1,1-dicloroetileno         | 0.0003   |                              | Tetracloruro de carbono    | 0.004  |   |
| 1,2-dicloroetileno         | 0.0003   |                              | Tolueno                    | 14.3   |   |
| 2,4-diclorofenol           | 0.03   |                              | Toxafeno                   | 0.000007   |   |
| Dieldrin                   | 0.0000007  | 0.03 (VII)                   | 1,1,1-tricloroetano        | 18.4   |   |
| 1,2-dicloropropileno       | 0.09   |                              | 1,1,2-tricloroetano        | 0.006  |   |
| Dietilftalato              | 350  |                              | tricloroetileno            | 0.03   |   |
| 1,2-difenilhidrazina       | 0.0004   |                              | 2,4,6-triclorofenol        | 0.01   |   |
| 2,4-dimetil fenol          | 0.4  |                              | trihalometanos             |  | 0.2   |
|                            | valor  |                              |                            | valor  |   |
| parámetros microbiológicos | CECA<br>fuente de<br>abastecimiento de<br>agua potable | NOM-127-SSA1-<br>1994        | parámetros microbiológicos | CECA<br>fuente de<br>abastecimiento de<br>agua potable | NOM-127-SSA1-1994                           |
| Coliformes totales         |  | 2 NMP/100 mL<br>2 UCF/100 mL | Coliformes fecales         | 1000.0   | No detectable<br>NMP/100 mL<br>0 UFC/100 mL |
|                            | valor  |                              |                            | valor  |   |
| parámetros radiológicos    | CECA<br>fuente de<br>abastecimiento de<br>agua potable | NOM-127-SSA1-<br>1994        | parámetros radiológicos    | CECA<br>fuente de<br>abastecimiento de<br>agua potable | NOM-127-SSA1-1994                           |
| Alfa total (Bq/L)          | 0.1  | 0.1                          | Beta total (Bq/L)          | 1  | 1   |

fuente: Diario Oficial de la Federación, 13 de diciembre de 1989 y Jueves 18 de enero de 1996

- (I) Unidades en mg/L excepto si se indica otra unidad
- (II) El cuerpo de agua debe estar libre de sustancias atribuibles a descargas residuales u otras descargas que
1. Formen de pósitos que cambien adversamente las características físicas del agua;
  2. Contengan materia flotante como partículas, aceites u otros residuos que den apariencia desagradable,
  3. Produzcan olor, color, sabor o turbiedad; o
  4. Propicien vida acuática indeseable o desagradable.
- (III) Ver número (I), 2
- (IV) Solo o combinado con dieldrin
- (V) Fenol y sus compuestos
- (VI) Heptacloro y heptacloropóxido
- (VII) Solo o combinado con aldrin

Como se puede observar, existen grandes diferencias entre los parámetros y valores que presentan ambas normatividades. La más clara es con respecto al número de sustancias y parámetros que contemplan, mientras los CECA consideran 128 parámetros, la NOM-127 tiene 42. en la tabla 3.4 se presentan los resultados de la comparación entre las dos calidades.

**tabla 3.4 análisis entre las calidades de los CECA para agua de abastecimiento y la norma de agua potable**

|                          | CECA<br>fuentes de abastecimiento<br>de agua potable | NOM-127-SSA1-1996 |
|--------------------------|--|-------------------|
| Total de parámetros      | 104  | 43                |
| Parámetros en común      |  | 35                |
| Parámetros más exigentes | 15   | 8                 |

Lo anterior, es un indicador de que no existe correspondencia entre ambas calidades, ya que no resulta lógico que los CECA tengan un mayor número de parámetros con valores muy estrictos y la norma sea más laxa. Cabe mencionar, que de los elementos examinados por los CECA, no todos son considerados elementos limitativos del uso de agua, o bien, no son sustancias de preocupación en los cuerpos de agua nacionales, como es el caso de un gran número de sustancias orgánicas.

Lo anterior lleva a la decisión de que hay que realizar un análisis más profundo de los CECA considerando la evolución de la calidad de los cuerpos de agua en el país aplicando los resultados obtenidos por la Red Nacional de Monitoreo, los efectos sobre la salud de los tóxicos que pueden encontrarse en el agua y la persistencia y acumulación de los mismos.

### 3.5 CONCLUSIONES

Como resumen del análisis de los criterios de la OMS, la Unión Europea, los Estados Unidos, y Canadá, se puede concluir que para establecer los nuevos criterios de calidad se debe considerar, en primer término, la situación de los recursos hídricos nacionales, la disponibilidad económica y tecnológica y que, en general, protejan la salud del ser humano y al ecosistema. La redefinición debe realizarse a la par que cumpla con los siguientes puntos:

- ◆ Seleccionar parámetros que representen un problema de calidad del agua real para los usos predominantes.
- ◆ Establecer niveles de parámetros medibles con el desarrollo analítico actual del país.

- ◆ Definir niveles compatibles con las eficiencias de los métodos de remoción disponibles en el mercado nacional, a costos accesibles.
- ◆ Establecer varios niveles en los parámetros que permitan avanzar en forma paulatina para recuperar la calidad de los cuerpos de agua sin impedir el uso productivo del recurso.

# Metodología, selección y análisis de las sustancias, parámetros y variables para definir los criterios de calidad

---

Como se presentó al final del capítulo anterior, la incongruencia entre la norma de agua potable y los criterios de calidad, así como lo poco práctico que resulta su aplicación hacen necesaria su revisión para crear una propuesta más apegada a la situación nacional actual y, que al mismo tiempo, facilite a los usuarios el poder cumplir con la normatividad vigente.

Como base para la nueva propuesta, en este capítulo se describen las sustancias y parámetros que pueden formar parte de los Criterios de Calidad para Fuentes de Abastecimiento de Agua para Uso y Consumo Humanos así como el análisis de los mismos.

El estudio comienza con la presentación de los contaminantes considerados en los criterios de calidad de diferentes agrupaciones de Estados Unidos de América, Canadá, la Organización Mundial de la Salud y la Unión Europea. Asimismo, se indican los valores determinados para esos elementos y se comparan con los empleados en México para las fuentes de abastecimiento y los reportados por la Red Nacional de Monitoreo.

Posteriormente, se analizan diversos factores, como la fuente de procedencia y los efectos nocivos de los contaminantes, para determinar si su presencia en los cuerpos de agua mexicanos es de relevancia y, por lo tanto, es necesario incluirlos en la propuesta de los nuevos Criterios de Calidad en México.

## 4.1 METODOLOGÍA

La metodología utilizada abarcó los siguientes puntos:

- (1) Se integró un listado que reuniera los parámetros correspondientes a la legislación mexicana, donde se incluyen: los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua de México de 1989 (Diario Oficial de la Federación, 13 de diciembre de 1989) y los datos reportados por la Red Nacional de Monitoreo durante la década de 1987 a 1997. Asimismo, se revisaron las Guías de Calidad del Agua Potable de la OMS (1995), la Directiva 98/83/CE del Consejo Europeo del 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano, los Criterios de Calidad de Agua de Canadá (*Canadian Water Quality Guidelines*, 1995) y los señalados por la *Environmental Protection Agency*, EPA (AWWA, 1990). Esta lista se divide en cinco categorías, de acuerdo con la naturaleza de cada componente. Se realizó una comparación entre los valores guía o concentraciones meta de cada uno de los parámetros registrados por los organismos mencionados.
- (2) Una vez conformada la lista de los parámetros que caracterizan y cuantifican la calidad de las fuentes de abastecimiento se analizaron uno a uno considerando:
  - La fuente de procedencia
  - Los efectos nocivos para la salud, la calidad estética del agua o la infraestructura hidráulica
  - El tipo de cuerpo de agua (superficial o subterráneo) donde se puede encontrar
- (3) Después, y a partir de todos los listados y del análisis de los efectos respectivos, se seleccionaron aquéllos que presentaran alguna de las siguientes características:
  - Hay clara evidencia de que la sustancia se llega a introducir significativamente en los cuerpos de agua (tanto superficial como subterránea).
  - Tiene efectos negativos en la salud humana (tóxicos, carcinógenos, mutagénicos, etc.) **comprobados** por diversos estudios, ya sean toxicológicos o epidemiológicos.
  - Afectan la aceptación del consumidor o usuario (color, olor, corrosión, etc.)
- (4) Finalmente, con base en el tipo de efectos, se consideró si se debería especificar un valor límite, tomando en cuenta dos categorías: CRITERIO 1 (CRI-1) cuando los riesgos fueran por motivos de afectación grave a la salud, y CRITERIO 2 (CRI-2) cuando los efectos se relacionaran con alteraciones en la apreciación de la calidad del agua o disturbios en los sistemas de conducción, tratamiento o distribución del líquido.

Todo lo anterior sirvió para evaluar los riesgos que los parámetros y sustancias representan para la salud humana con probabilidad de encontrarlos en los recursos hídricos nacionales.

#### **4.1.1 TIPOS DE COMPONENTES CONTAMINANTES**

Como se mencionó en el capítulo 2, la contaminación de los cuerpos de agua puede ocurrir por muy diversas vías, lo cual permite que las más variadas sustancias entren en el líquido; por ello, se requiere clasificar los elementos para analizar de manera global sus efectos y establecer los respectivos niveles aceptables en el ambiente que no dañen a usuarios y consumidores del agua.

Actualmente, existen diferentes enfoques para agrupar los agentes contaminantes, ya sea por sus secuelas en el ambiente o la salud, o por los efectos indeseables de las sustancias en montos excesivos, entre otros ejemplos. En el presente trabajo, la clasificación se realiza de acuerdo con la naturaleza de los contaminantes y se constituyen los siguientes grupos:

- Componentes microbiológicos, como protozoarios, bacterias, virus, etc.
- Componentes inorgánicos, como metales, nutrientes, etc.
- Componentes orgánicos, como HAP, HC halogenados, plaguicidas, etc.
- Componentes físicos y/o organolépticos, como color, olor, turbiedad, etc.
- Componentes radiactivos, como los emisores de radiactividad  $\alpha$  y  $\beta$ .

#### **4.1.2 COMPARACIÓN DE VALORES DE LOS CRITERIOS DE DIVERSAS ORGANIZACIONES**

Con base en la clasificación anterior, en las tablas 4.1 a 4.5, se comparan los valores de los cuatro organismos internacionales:

- Organización Mundial de la Salud, OMS
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América, US EPA
- Agencia de Salud de Canadá, HEALTH CANADA
- Consejo de la Unión Europea, Directiva 98/83/CE, Comité Científico Consultivo de la Comisión Europea

y dos organizaciones de México:

- Red Nacional de Monitoreo, RNM: promedio, máximo y mínimo de los valores tanto en aguas superficiales como subterráneas, durante el periodo de 1987 a 1997;
- Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, CECA, para Fuentes de Abastecimiento de Agua Potable.

**tabla 4.1 comparación de los criterios de calidad del agua de consumo humano  
componentes microbiológicos**

| parámetros  | México<br>CECA (I)<br>(1989)   | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua subterráneos<br>Promedio 1987 - 1987 |          |           | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua superficiales<br>Promedio 1987 - 1987 |            |            | OMS (II)<br>(1993)                                | Unión Europea<br>(1980)             | Estados Unidos<br>(1999) | Canadá<br>(1992) |
|---|--------------------------------|---|----------|-----------|--|------------|------------|---|-------------------------------------|--------------------------|------------------|
|   |                                | mínimo  | promedio | máximo    | mínimo   | promedio   | máximo     |   |                                     |                          |                  |
|   |                                | clostridia reductora de sulfitos  |          |           |  |            |            |   |                                     |                          |                  |
| coliformes fecales  | 1000.0<br>NMP/100 mL<br>Nota 1 | 172905  | 24231827 | 312811898 | 381238432  | 1774951509 | 4934825820 |   |                                     | 0                        |                  |
| coliformes totales  |                                | 924809  | 927872   | 1216297   | 487624831  | 2062677827 | 8347667630 | No detectables en<br>ninguna muestra de<br>100 mL |                                     | 0<br>NOTA (1)            | 0                |
| conteo de colonias heterotróficas<br>(HPC)                          |                                |   |          |           |  |            |            |   |                                     | 0<br>NOTA (2)            |                  |
| conteo de colonias bacterianas<br>totales                           |                                |   |          |           |  |            |            |   |                                     |                          |                  |
| conteo de colonias bacterianas<br>totales en contenedores cerrados  |                                |   |          |           |  |            |            |   | 20 (no/mL, 22°C)<br>5 (no/mL, 37°C) |                          |                  |
| <i>Escherichia coli</i> o bacterias<br>coliformes termorresistentes |                                |   |          |           |  |            |            | No detectables en<br>ninguna muestra de<br>100 mL |                                     |                          |                  |
| estreptococos fecales   |                                |   | 83380    |           | 2430128  | 4378935    | 12182760   |   |                                     |                          |                  |
| <i>Giardia lamblia</i>  |                                |   |          |           |  |            |            |   |                                     | 0<br>NOTA (3)            |                  |
| <i>Legionella</i>   |                                |   |          |           |  |            |            |   |                                     | 0                        |                  |
| virus entéricos   |                                |   |          |           |  |            |            |   |                                     | 0<br>NOTA (3)            |                  |

(I): Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CECA); Fuente de Abastecimiento de Agua Potable

(II): Organización Mundial de la Salud, OMS

NOTA (1): Incluye coliformes fecales y *E. coli*. No más del 5% de las muestras pueden ser positivas en un periodo de un mes. Todas las muestras positivas en coliformes totales debe ser analizada de coliformes fecales. No debe haber ningún coliforme fecal.

NOTA (2): No más de 500 colonias por mililitro

NOTA (3): 99.9% de los organismos muertos o inactivados

fuentes: Diario Oficial de la Federación (1989), datos proporcionados por la RNM (1998), OMS (1995), Gray (1994), EPA-2 (1999) y Environnement Canada (1998)

**tabla 4.2 comparación de los criterios de calidad del agua de consumo humano  
parámetros inorgánicos**

| parámetros         | México<br>CECA (I)<br>(1989)<br>mg/L | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua subterráneos<br>Promedio 1987 - 1997 |          |        | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua superficiales<br>Promedio 1987 - 1997 |          |          | OMS (II)<br>(1993)<br>mg/L | Unión Europea<br>(1988)<br>mg/L | Estados Unidos<br>(1999)<br>mg/L | Canadá<br>(1992)<br>mg/L      |
|--------------------|--------------------------------------|---|----------|--------|--|----------|----------|----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
|                    |                                      | mínimo  | promedio | máximo | mínimo   | promedio | máximo   |                            |                                 |                                  |                               |
|                    |                                      | mg/L  |          |        |  |          |          |                            |                                 |                                  |                               |
| acidez total       |                                      | 11  | 18       |        | 50.542   | 64.980   | 64.506   |                            |                                 |                                  |                               |
| alcalinidad        | 400.0                                | 195   | 224      | 259    | 117.615  | 187.899  | 232.715  |                            |                                 |                                  |                               |
| aluminio           | 0.02                                 |   |          |        |  |          |          | 0.2 (est)                  | 0.05                            | 0.05 a 0.2 (es)                  |                               |
| amoníaco           |                                      |   |          |        |  |          |          | 1.5 (est)                  | 0.05                            |                                  |                               |
| antimonio          | 0.1                                  |   |          |        |  |          |          | 0.005                      | ---                             | 0.005                            | sv                            |
| arsénico           | 0.05                                 |   |          |        |  |          |          | 0.01                       | ---                             | sv                               | 0.025                         |
| asbestos           | 3000 fibras/L                        |   |          |        |  |          |          | NOTA 2                     |                                 | 7x10 <sup>6</sup> fibras/L       | sv                            |
| bario              | 1.0                                  |   |          |        |  |          |          | 0.7                        | 0.1                             | 2                                | 1.0                           |
| berilio            | 0.00007                              |   |          |        |  |          |          | sv                         | ---                             | 0.004                            |                               |
| boro               | 1.0                                  | 0   | 0        | 0      | 5.153  | 5.188    | 6.375    | 0.3                        | 1                               |                                  | 5.0                           |
| bromato            |                                      |   |          |        |  |          |          | 0.025                      |                                 |                                  |                               |
| cadmio             | 0.01                                 |   |          |        |  |          |          | 0.003                      | ---                             | 0.005                            | 0.005                         |
| calcio             |                                      | 89  | 138      | 189    | 66.812   | 97.722   | 155.500  |                            | 0.1                             |                                  |                               |
| cianuro            | 0.2                                  |   |          |        |  |          |          | 0.07                       | ---                             | 0.2                              | 0.2                           |
| clorato            |                                      |   |          |        |  |          |          | sv                         |                                 |                                  |                               |
| clorito            |                                      |   |          |        |  |          |          | 0.2                        |                                 |                                  |                               |
| cloro residual     | sv                                   |   |          |        |  |          |          | 6                          | ---                             |                                  |                               |
| cloruros           | 250.0                                | 117   | 166      | 213    | 778.758  | 1213.753 | 1727.428 | 250 (est)                  | 25                              | 250 (es)                         | ≤ 250 (est)                   |
| cobalto            |                                      |   |          |        |  |          |          |                            |                                 |                                  |                               |
| cobre              | 1.0                                  |   |          |        |  |          |          | 2                          | 0.1                             | 1.3                              | ≤ 1 (est)                     |
|                    |                                      |   |          |        |  |          |          | 1 (est)                    |                                 | 1 (es)                           |                               |
| conductividad      | sv                                   |   |          |        |  |          |          |                            | 400 uS/cm                       |                                  |                               |
| corrosividad       |                                      |   |          |        |  |          |          |                            |                                 | no corrosivo (es)                |                               |
| romo               | 0.05                                 |   |          |        |  |          |          | 0.05                       | ---                             | 0.1                              | 0.05                          |
|                    | hexavalente                          |   |          |        |  |          |          |                            |                                 | total                            |                               |
| dióxido de cloro   |                                      |   |          |        |  |          |          | sv                         |                                 |                                  |                               |
| dióxido de carbono |                                      |   |          |        |  |          |          |                            | sv                              |                                  |                               |
| dureza             |                                      | 325   | 386      | 497    | 388.721  | 617.684  | 954.228  | sv                         | 50 mg CaCO <sub>3</sub> /L      |                                  | 500<br>como CaCO <sub>3</sub> |

tabla 4.2 comparación de los criterios de calidad del agua de consumo humano  
parámetros inorgánicos

| parámetros                | México<br>CECA (I)<br>(1989) | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua subterráneos<br>Promedio 1987 - 1997 |          |        | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua superficiales<br>Promedio 1987 - 1997 |          |          | OMS (II)<br>(1993) | Unión Europea<br>(1988) | Estados Unidos<br>(1989) | Canadá<br>(1992) |
|---------------------------|------------------------------|---|----------|--------|--|----------|----------|--------------------|-------------------------|--------------------------|------------------|
|                           |                              | mínimo  | promedio | máximo | mínimo   | promedio | máximo   |                    |                         |                          |                  |
|                           |                              | mg/L  |          |        |  |          |          |                    |                         |                          |                  |
| estaño                    |                              |   |          |        |  |          | NOTA 2   |                    |                         |                          |                  |
| fluoruros                 | 1.5                          | 2   | 6        | 12     | 0.332  | .838     | 2.129    | 1.5                | ---                     | 4<br>2 (es)              | 1.5              |
| fosfatos                  | 0.1                          | 0   | 0        | 1      | 0.206  | 0.417    | 3.552    |                    |                         |                          |                  |
| fósforo                   | sv                           | 0   | 0        | 0      | 8.704  | 12.607   | 27.502   |                    | 0.4                     |                          |                  |
| hierro                    | 0.3                          |   |          |        |  |          |          | 0.3 (est)          | 0.06                    | 0.3 (es)                 | ≤ 0.3            |
| magnesio                  |                              |   |          |        |  |          |          |                    | 30                      |                          |                  |
| manganeso                 | 0.1                          |   |          |        |  |          |          | 0.5<br>0.1 (est)   | 0.02                    | 0.06 (es)                | ≤ 0.06           |
| mercurio                  | 0.001                        |   |          |        |  |          |          | 0.001              | ---                     | 0.002                    | 0.001            |
| molibdeno                 |                              |   |          |        |  |          |          | 0.07               |                         |                          |                  |
| níquel                    | 0.01                         |   |          |        |  |          |          | 0.02               | ---                     |                          |                  |
| nitrógeno amoniacal       | sv                           | 0   | 0        | 0      | 0.800  | 2.889    | 7.131    |                    |                         |                          |                  |
| nitrógeno kjeldahl        |                              |   |          |        | 1.388  | 4.627    | 11.830   |                    |                         |                          |                  |
| nitrógeno de nitrato      | 5.0                          | 2   | 10       | 12     | 0.125  | 1.270    | 8.845    | 50                 | 25                      | 10                       | 10               |
| nitrógeno de nitritos     | 0.05                         | 0   | 0        | 0      | 125.351  | 128.508  | 138.453  | 3                  | ---                     | 1                        | 1                |
| oxidabilidad              |                              |   |          |        |  |          |          |                    | 2 mg O/L                |                          |                  |
| oxígeno disuelto          | 4.0                          | 4   | 7        | 8      | 4.186  | 6.026    | 11.532   | sv (est)           | sv                      |                          |                  |
| pH                        | 5 - 9                        | 7   | 7        | 7      | 6.878  | 7.267    | 8.559    | sv (est)           | 6.5-8.5                 | 6.5 - 8.5 (es)           | 6.5 - 8.5 (est)  |
| plata                     | 0.05                         |   |          |        |  |          |          | NOTA 2             | ---                     | 0.1 (es)                 |                  |
| plomo                     | 0.05                         |   |          |        |  |          |          | 0.01               | ---                     | 0                        | 0.01             |
| potasio                   |                              | 13  | 14       | 15     | 8.348  | 11.569   | 16.579   |                    | 10                      |                          |                  |
| residuos secos            |                              |   |          |        |  |          |          |                    | 1500                    |                          |                  |
| selenio                   | 0.01<br>como selenato        |   |          |        |  |          |          | 0.01               | ---                     | 0.05                     | 0.01             |
| silica                    |                              |   |          |        |  |          |          |                    | ---                     |                          |                  |
| sodio                     |                              | 59  | 92       | 118    | 89.251   | 149.428  | 248.401  | 200 (est)          | 20                      |                          | 200              |
| sólidos sedimentables     |                              | 2   | 3        | 28     | 0.069  | 1.779    | 9.295    |                    |                         |                          |                  |
| sólidos disueltos totales | 500.0                        | 448   | 612      | 785    | 1350.368   | 2228.241 | 3682.339 | 1000 (est)         |                         | 500 (es)                 | ≤ 500 (est)      |
| sólidos disueltos fijos   |                              |   |          |        | 331.248  | 817.739  | 1724.278 |                    |                         |                          |                  |

**tabla 4.2 comparación de los criterios de calidad del agua de consumo humano  
parámetros inorgánicos**

| parámetros                    | México<br>CECA (I)<br>(1989) | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua subterráneos |          |        | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua superficiales |          |          | OMS (II)<br>(1993) | Unión Europea<br>(1988)      | Estados Unidos<br>(1999) | Canadá<br>(1992) |
|-------------------------------|------------------------------|---|----------|--------|--|----------|----------|--------------------|------------------------------|--------------------------|------------------|
|                               |                              | Promedio 1987 - 1997                                      |          |        | Promedio 1987 - 1997                                       |          |          |                    |                              |                          |                  |
|                               |                              | mínimo  | promedio | máximo | mínimo   | promedio | máximo   |                    |                              |                          |                  |
|                               | mg/L                         | mg/L  |          |        | mg/L   |          |          | mg/L               | mg/L                         | mg/L                     | mg/L             |
| sólidos disueltos volátiles   |                              |   |          |        | 668 003  | 688 888  | 1011 788 |                    |                              |                          |                  |
| sólidos suspendidos totales   | 500.0                        |   |          |        | 432 734  | 600 340  | 970 889  |                    | 0                            |                          |                  |
| sólidos suspendidos fijos     |                              |   |          |        | 4385 676   | 4448 666 | 4842 620 |                    |                              |                          |                  |
| sólidos suspendidos volátiles |                              |   |          |        | 129 443  | 166 196  | 224 648  |                    |                              |                          |                  |
| sólidos totales totales       | 1000.0                       |   |          |        | 1922 678   | 2918 937 | 4817.133 |                    |                              |                          |                  |
| sólidos totales fijos         |                              |   |          |        | 604 118  | 1104.832 | 2088.143 |                    |                              |                          |                  |
| sólidos totales volátiles     |                              |   |          |        | 609.304  | 828.488  | 1338.760 |                    |                              |                          |                  |
| sulfatos                      | 500.0                        |   |          |        |  |          |          | 250 (est)          | 25                           | 250 (es)                 | ≤ 500            |
| sulfuro de hidrógeno          | 0.2                          | 104   | 136      | 208    | 156.502  | 303.689  | 528.610  | 0.05 (est)         | ---                          |                          |                  |
| sodio                         | 0.01                         |   |          |        |  |          |          |                    |                              | 0.0005                   |                  |
| uranio                        |                              |   |          |        |  |          |          | sv                 |                              |                          | 0.1              |
| vanadio                       |                              |   |          |        |  |          |          |                    | ---                          |                          |                  |
| yodo                          |                              |   |          |        |  |          |          | sv                 |                              |                          |                  |
| zinc                          | 5.0                          |   |          |        |  |          |          | 3 (est)            | 0.5 NOTA (3):<br>5 NOTA (4): | 5 (es)                   | ≤ 5              |

(I): Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CECA); Fuente de Abastecimiento de Agua Potable

(II): Organización Mundial de la Salud, OMS

sv: sin valor

er: en revisión

es: estándar secundario

est: valor con fines estéticos

--- : no se proporcionado un valor

NOTA (1): Cuerpo libre de sustancias que formen depósitos que cambien adversamente las características del agua, materia flotante de apariencia desagradable que produzcan olor, sabor, turbiedad o propicien vida acuática desagradable.

NOTA (2): No se requiere establecer un criterio ya que estos compuestos no se encuentran en concentraciones dañinas en el agua potable.

NOTA (3): A la salida de la planta de tratamiento y bombeo

NOTA (4): Después de permanecer el agua estancada por 12 h y lista para ser entregada al consumidor

fuentes: Diario Oficial de la Federación (1989), datos proporcionados por la RNM (1998), OMS (1995), Gray (1994), EPA-2 (1999) y Environment Canada (1998)

tabla 4.3 comparación de los criterios de calidad para agua de consumo humano  
parámetros orgánicos

| parámetros                                | México (I)<br>CECA<br>(1989) | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua subterráneos<br>Promedio 1987 - 1997 |          |        | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua superficiales<br>Promedio 1987 - 1997 |          |         | Canadá<br>(1987) | Estados Unidos (III)<br>(1987) | OMS (IV) | Unión Europea<br>(1980) |
|---|------------------------------|---|----------|--------|--|----------|---------|------------------|--------------------------------|----------|-------------------------|
|   |                              | mínimo  | promedio | máximo | mínimo   | promedio | máximo  |                  |                                |          |                         |
|   | mg/L                         | mg/L  |          |        |  |          |         | mg/L             | mg/L                           | mg/L     | mg/L                    |
| acenafteno                                | 0.02                         |   |          |        |  |          |         |                  |                                |          |                         |
| ácido dicloroacético                      |                              |   |          |        |  |          |         |                  |                                | 0.05     |                         |
| ácido 2,4-diclorofenoxiacético<br>(2,4-D) | 0.1                          |   |          |        |  |          | 0.1     | 0.07             | 0.03                           |          |                         |
| ácido edético (EDTA)                      |                              |   |          |        |  |          |         |                  | 0.2                            |          |                         |
| ácido monocloraacético                    |                              |   |          |        |  |          |         |                  | sv                             |          |                         |
| ácido nitriltriácético                    |                              |   |          |        |  |          | 0.4     |                  | 0.2                            |          |                         |
| ácido tricloro fenoxi propionico          |                              |   |          |        |  |          | 0.28    |                  |                                |          |                         |
| ácido tricloroacético                     |                              |   |          |        |  |          |         |                  | 0.1                            |          |                         |
| acrilamina                                |                              |   |          |        |  |          |         | 0                | 0.0006                         |          |                         |
| acritonitrilo                             | 0.0006                       |   |          |        |  |          |         |                  |                                |          |                         |
| acroleína                                 | 0.3                          |   |          |        |  |          |         |                  |                                |          |                         |
| alecloro                                  |                              |   |          |        |  |          |         | 0                | 0.02                           |          |                         |
| aldicarb                                  |                              |   |          |        |  |          | 0.009   |                  | 0.01                           |          |                         |
| aldrina/dieldrina                         | 0.0003/0.000                 |   |          |        |  |          | 0.0007  |                  | 0.00003                        |          |                         |
| atrazina                                  | 0.007                        |   |          |        |  |          | 0.06    | 0.003            | 0.002                          |          |                         |
| BHC (VI)                                  | sv                           |   |          |        |  |          |         |                  |                                |          |                         |
| BHC (lindano)                             | 0.003                        |   |          |        |  |          |         |                  |                                |          |                         |
| 4-bromofenil-fenil-éter                   | sv                           |   |          |        |  |          |         |                  |                                |          |                         |
| benceno                                   | 0.01                         |   |          |        |  |          | 0.005   | 0                | 0.01                           |          |                         |
| bencidina                                 | 0.000001                     |   |          |        |  |          |         |                  |                                |          |                         |
| bendiocarb                                |                              |   |          |        |  |          | 0.04    |                  |                                |          |                         |
| bentazona                                 |                              |   |          |        |  |          |         |                  | 0.03                           |          |                         |
| benzo(a)pireno                            |                              |   |          |        |  |          | 0.00001 | 0                | 0.0007                         |          |                         |
| bifenilos policlorados (PBC's)            | 0.0000008                    |   |          |        |  |          |         | 0                |                                |          |                         |
| bromato                                   |                              |   |          |        |  |          |         |                  | 0.025                          |          |                         |
| bromocromoacetanitrilo                    |                              |   |          |        |  |          |         |                  | 0.09                           |          |                         |
| bromoformo                                | 0.002                        |   |          |        |  |          |         |                  | 0.1                            |          |                         |

tabla 4.3 comparación de los criterios de calidad para agua de consumo humano  
parámetros orgánicos

| parámetros  | México (I)<br>CECA<br>(1989) | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua subterráneos<br>Promedio 1987 - 1997 |          |        | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua superficiales<br>Promedio 1987 - 1997 |          |        | Canadá<br>(1987) | Estados Unidos (II)<br>(1987) | OMS (IV) | Unión Europea<br>(1980) |
|---|------------------------------|---|----------|--------|--|----------|--------|------------------|-------------------------------|----------|-------------------------|
|   |                              | mínimo  | promedio | máximo | mínimo   | promedio | máximo |                  |                               |          |                         |
|   | mg/L                         | mg/L  |          |        |  |          |        | mg/L             | mg/L                          | mg/L     | mg/L                    |
| bromoxinil  |                              |   |          |        |  |          | 0.005  |                  |                               |          |                         |
| bromuro de metilo                                     | 0.002                        |   |          |        |  |          |        |                  |                               |          |                         |
| 2-cloro-etil vinil éter                               | sv                           |   |          |        |  |          |        |                  |                               |          |                         |
| 2-clorofenol  | 0.03                         |   |          |        |  |          |        |                  |                               | sv       |                         |
| carbaril  |                              |   |          |        |  |          | 0.09   |                  |                               |          |                         |
| carbofurano   |                              |   |          |        |  |          | 0.09   | 0.04             |                               | 0.005    |                         |
| carbón orgánico total (TOC)                           |                              |   |          |        |  |          |        |                  |                               |          |                         |
| carbón extractable en alcohol                         | 1.5                          |   |          |        |  |          |        |                  |                               |          |                         |
| carbón extractable en cloroformo                      | 3.0                          |   |          |        |  |          |        |                  |                               |          | 0.1                     |
| cianacina   |                              |   |          |        |  |          | 0.01   |                  |                               |          |                         |
| clordano  | 0.003                        |   |          |        |  |          | 0.007  | 0                |                               | 0.0002   |                         |
| cloroacetona  |                              |   |          |        |  |          |        |                  |                               | sv       |                         |
| clorobenceno  | 0.02                         |   |          |        |  |          |        | 0.1              |                               |          |                         |
| cloroformo  | 0.03                         |   |          |        |  |          |        |                  |                               | 0.2      |                         |
| clorofenoleno   | sv                           |   |          |        |  |          |        |                  |                               |          |                         |
| cloropicrín   |                              |   |          |        |  |          |        |                  |                               | sv       |                         |
| clorpirifos   |                              |   |          |        |  |          | 0.09   |                  |                               |          |                         |
| clortoluron   |                              |   |          |        |  |          |        |                  |                               | 0.3      |                         |
| cloruro de cianógeno                                  |                              |   |          |        |  |          |        |                  |                               | 0.07     |                         |
| cloruro de metilo                                     | 0.002                        |   |          |        |  |          |        |                  |                               |          |                         |
| cloruro de metileno                                   | 0.002                        |   |          |        |  |          |        |                  |                               |          |                         |
| cloruro de vinilo                                     | 0.02                         |   |          |        |  |          |        | 0                |                               | 0.005    |                         |
| Compuestos organoclorados<br>diferentes de pesticidas |                              |   |          |        |  |          |        |                  |                               |          | 0.001                   |
| DDD   |                              |   |          |        |  |          |        |                  |                               |          |                         |
| diclorofenildicloroetano                              | 0.0000002                    |   |          |        |  |          |        |                  |                               |          |                         |
| DDE   |                              |   |          |        |  |          |        |                  |                               |          |                         |
| 1,1-diclorofenil-2,2-dicloroetileno                   | sv                           |   |          |        |  |          |        |                  |                               |          |                         |
| DDT   |                              |   |          |        |  |          |        |                  |                               |          |                         |
| 1,1-diclorofenil-2,2,2-tricloroetano                  | 0.001                        |   |          |        |  |          | 0.03   |                  |                               | 0.002    |                         |
| 2,4-DB  |                              |   |          |        |  |          |        |                  |                               | 0.09     |                         |

**tabla 4.3 comparación de los criterios de calidad para agua de consumo humano  
parámetros orgánicos**

| parámetros                           | México (I)<br>CECA<br>(1989) | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua subterráneos<br>Promedio 1987 - 1997 |          |        | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua superficiales<br>Promedio 1987 - 1997 |          |        | Canadá<br>(1987) | Estados Unidos (III)<br>(1987) | OMS (IV) | Unión Europea<br>(1980) |
|--------------------------------------|------------------------------|---|----------|--------|--|----------|--------|------------------|--------------------------------|----------|-------------------------|
|                                      |                              | mínimo  | promedio | máximo | mínimo   | promedio | máximo |                  |                                |          |                         |
|                                      | mg/L                         |   |          |        |  |          |        | mg/L             | mg/L                           | mg/L     | mg/L                    |
| 1,2-dibromo-3-cloropropano<br>(DBCP) |                              |   |          |        |  |          |        | 0                | 0.001                          |          |                         |
| 1,2-diclorobenceno                   |                              |   |          |        |  |          | 0.2    | 0.6              | 1                              |          |                         |
| 1,3-diclorobenceno                   |                              |   |          |        |  |          |        |                  | sv                             |          |                         |
| 1,4-diclorobenceno                   |                              |   |          |        |  |          | 0.005  | 0.075            | 0.3                            |          |                         |
| 1,1-dicloroetano                     |                              |   |          |        |  |          |        |                  | sv                             |          |                         |
| 1,2-dicloroetano                     | 0.005                        |   |          |        |  |          | 0.005  | 0                | 0.03                           |          |                         |
| 1,1-dicloroetileno                   | 0.0003                       |   |          |        |  |          |        | 0.007            | 0.03                           |          |                         |
| 1,1-dicloroetano                     |                              |   |          |        |  |          |        |                  |                                |          |                         |
| cis-1,2-dicloroetileno               | 0.0003                       |   |          |        |  |          |        | 0.07             | 0.05                           |          |                         |
| trans-1,2-dicloroetileno             |                              |   |          |        |  |          |        | 0.1              |                                |          |                         |
| 2,4-diclorofenol                     | 0.03                         |   |          |        |  |          | 0.9    |                  | sv                             |          |                         |
| 1,2-dicloropropano                   | sv                           |   |          |        |  |          |        | 0                | 0.02                           |          |                         |
| 1,3-dicloropropano                   |                              |   |          |        |  |          |        |                  | sv                             |          |                         |
| 1,3-dicloropropano                   |                              |   |          |        |  |          |        |                  |                                |          |                         |
| 1,3-dicloropropileno                 | 0.09                         |   |          |        |  |          |        |                  | 0.02                           |          |                         |
| 1,2-difenilhidrazina                 | 0.0004                       |   |          |        |  |          |        |                  |                                |          |                         |
| 2,4-dimetilfenol                     | 0.4                          |   |          |        |  |          |        |                  |                                |          |                         |
| 2,4-dinitrofenol                     | 0.07                         |   |          |        |  |          |        |                  |                                |          |                         |
| 2,4-dinitrotolueno                   | 0.001                        |   |          |        |  |          |        |                  |                                |          |                         |
| 2,6-dinitrotolueno                   | sv                           |   |          |        |  |          |        |                  |                                |          |                         |
| dalepón                              |                              |   |          |        |  |          |        | 0.2              |                                |          |                         |
| di y tricloramina                    |                              |   |          |        |  |          |        |                  | sv                             |          |                         |
| di (2-cloroetil) éter                | 0.0003                       |   |          |        |  |          |        |                  |                                |          |                         |
| di (2-cloroisopropil) éter           | 0.03                         |   |          |        |  |          |        |                  |                                |          |                         |
| di (2-etilhexil) adipato             |                              |   |          |        |  |          |        | 0.4              | 0.08                           |          |                         |
| di (2-etilhexil) ftalato (DEHP)      | 32.0                         |   |          |        |  |          |        | 0                | 0.008                          |          |                         |
| dialquilos de estaño                 |                              |   |          |        |  |          |        |                  | sv                             |          |                         |
| diazinon                             |                              |   |          |        |  |          | 0.02   |                  |                                |          |                         |
| dibromoclorometano                   |                              |   |          |        |  |          |        |                  | 0.06                           |          |                         |

**tabla 4.3 comparación de los criterios de calidad para agua de consumo humano  
parámetros orgánicos**

| parámetros             | México (I)<br>CECA<br>(1989) | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua subterráneos<br>Promedio 1987 - 1997 |          |        | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua superficiales<br>Promedio 1987 - 1997 |          |         | Canadá<br>(1987) | Estados Unidos (III)<br>(1987) | OMS (IV) | Unión Europea<br>(1980) |
|------------------------|------------------------------|---|----------|--------|--|----------|---------|------------------|--------------------------------|----------|-------------------------|
|                        |                              | mínimo  | promedio | máximo | mínimo   | promedio | máximo  |                  |                                |          |                         |
|                        | mg/L                         | mg/L  |          |        |  |          |         | mg/L             | mg/L                           | mg/L     | mg/L                    |
| dibromuro de etileno   |                              |   |          |        |  |          |         | 0                | sv                             |          |                         |
| dicamba                |                              |   |          |        |  |          | 0.12    |                  |                                |          |                         |
| dicloroacetoniitrilo   |                              |   |          |        |  |          |         |                  | 0.09                           |          |                         |
| diclorobenceno         | 0.4                          |   |          |        |  |          |         |                  |                                |          |                         |
| diclorofenol           |                              |   |          |        |  |          | 0.9     |                  |                                |          |                         |
| diclorometano          |                              |   |          |        |  |          | 0.05    | 0                | 0.02                           |          |                         |
| dicloprop              |                              |   |          |        |  |          |         |                  | 0.1                            |          |                         |
| dicromoacetoniitrilo   |                              |   |          |        |  |          |         |                  | 0.1                            |          |                         |
| dicuat                 |                              |   |          |        |  |          | 0.07    | 0.02             |                                |          |                         |
| dimetilftalato         | 313.0                        |   |          |        |  |          |         |                  |                                |          |                         |
| dimetoato              |                              |   |          |        |  |          | 0.02    |                  |                                |          |                         |
| dinitro-o-cresol       | 0.01                         |   |          |        |  |          |         |                  |                                |          |                         |
| dinoseb                |                              |   |          |        |  |          | 0.00001 | 0.007            |                                |          |                         |
| dioxina (2,3,7,8-TCDD) |                              |   |          |        |  |          |         | 0                |                                |          |                         |
| dicron                 |                              |   |          |        |  |          | 0.15    |                  |                                |          |                         |
| EDB                    |                              |   |          |        |  |          |         | 0                |                                |          |                         |
| endosulfán             | 0.07                         |   |          |        |  |          |         |                  |                                |          |                         |
| endotal                |                              |   |          |        |  |          |         | 0.1              |                                |          |                         |
| endrin                 | 0.001                        |   |          |        |  |          |         |                  |                                |          |                         |
| epiclorhidrina         |                              |   |          |        |  |          |         | 0                | 0.0004                         |          |                         |
| estireno               |                              |   |          |        |  |          |         | 0                | 0.02                           |          |                         |
| etilbenceno            | 1.4                          |   |          |        |  |          | 0.0024  | 0.7              | 0.3                            |          |                         |
| fenol                  | 0.3                          |   |          |        |  |          |         |                  |                                |          |                         |
| fenoles                |                              |   | 20       |        | 1  | 1        | 1       |                  |                                |          |                         |
| fenoprop               |                              |   |          |        |  |          | 0.002   |                  | 9                              |          |                         |
| fluoranteno            | 0.04                         |   |          |        |  |          |         |                  |                                |          |                         |
| forato                 |                              |   |          |        |  |          | 0.002   |                  |                                |          |                         |
| formaldehído           |                              |   |          |        |  |          |         |                  | 0.9                            |          |                         |
| furano                 |                              |   |          |        |  |          | 0.28    | 0.7              |                                |          |                         |
| gases disueltos        | sv                           |   |          |        |  |          |         |                  |                                |          |                         |

tabla 4.3 comparación de los criterios de calidad para agua de consumo humano  
parámetros orgánicos

| parámetros  | México (I)     | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua subterráneos |          |        | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua superficiales |          |        | Canadá<br>(1987) | Estados Unidos (III)<br>(1987) | OMS (IV) | Unión Europea<br>(1980) |
|---|----------------|---|----------|--------|--|----------|--------|------------------|--------------------------------|----------|-------------------------|
|   | CECA<br>(1989) | Promedio 1987 - 1997                                      |          |        | Promedio 1987 - 1997                                       |          |        |                  |                                |          |                         |
|   | mg/L           | mínimo  | promedio | máximo | mínimo   | promedio | máximo |                  |                                |          |                         |
| glifosato   |                |   |          |        |  |          |        | 0.28             |                                |          |                         |
| HAP   | 0.00003        |   |          |        |  |          |        |                  |                                |          |                         |
| halometanos   | 0.002          |   |          |        |  |          |        |                  |                                |          |                         |
| heptacloro  | 0.0001         |   |          |        |  |          |        |                  | 0                              | 0.00003  |                         |
| heptacloro epóxido  |                |   |          |        |  |          |        | 0.003            | 0                              |          |                         |
| hexaclorobenceno  | 0.00001        |   |          |        |  |          |        |                  | 0                              | 0.001    |                         |
| hexaclorobutadieno  | 0.004          |   |          |        |  |          |        |                  |                                | 0.0008   |                         |
| hexaclorociclopentadieno                                      | 0.001          |   |          |        |  |          |        |                  | 0.05                           |          |                         |
| hexacloroetano  | 0.02           |   |          |        |  |          |        |                  |                                |          |                         |
| hidrocarburos disueltos o<br>emulsificados, aceites minerales |                |   |          |        |  |          |        |                  |                                |          | Note 1                  |
| isoforona   | 5.2            |   |          |        |  |          |        |                  |                                |          |                         |
| isoproturon   |                |   |          |        |  |          |        |                  |                                | 0.009    |                         |
| lindano (Gamma-HCH)   |                |   |          |        |  |          |        | 0.004            | 0.0002                         | 0.002    |                         |
| MCPA  |                |   |          |        |  |          |        |                  |                                | 0.002    |                         |
| MCPB  |                |   |          |        |  |          |        |                  |                                | sv       |                         |
| MX  |                |   |          |        |  |          |        |                  |                                | sv       |                         |
| metation  |                |   |          |        |  |          |        | 0.19             |                                |          |                         |
| metoprop  |                |   |          |        |  |          |        |                  |                                | 0.01     |                         |
| metil azinfos   |                |   |          |        |  |          |        | 0.02             |                                |          |                         |
| metil ciclofop  |                |   |          |        |  |          |        | 0.009            |                                |          |                         |
| metoelaclo  |                |   |          |        |  |          |        | 0.05             |                                | 0.01     |                         |
| metoxicloro   | 0.03           |   |          |        |  |          |        | 0.9              | 0.04                           | 0.02     |                         |
| metribuzin  |                |   |          |        |  |          |        | 0.08             |                                |          |                         |
| molinate  |                |   |          |        |  |          |        |                  |                                | 0.008    |                         |
| monocloramina   |                |   |          |        |  |          |        |                  |                                | 0.003    |                         |
| monoclorobenceno  |                |   |          |        |  |          |        | 0.08             | 0.1                            | 0.3      |                         |
| 2-nitrofenol y 4-nitrofenol                                   | 0.07           |   |          |        |  |          |        |                  |                                |          |                         |
| N-nitrosodifenilamina   | 0.05           |   |          |        |  |          |        |                  |                                |          |                         |
| N-nitrosodimetilamina   | 0.00001        |   |          |        |  |          |        |                  |                                |          |                         |

**tabla 4.3 comparación de los criterios de calidad para agua de consumo humano  
parámetros orgánicos**

| parámetros                              | México (I)<br>CECA<br>(1988) | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua subterráneos<br>Promedio 1987 - 1997 |          |        | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua superficiales<br>Promedio 1987 - 1997 |          |        | Canadá<br>(1987) | Estados Unidos (III)<br>(1987) | OMS (IV)<br>mg/L | Unión Europea<br>(1980)<br>mg/L |
|---|------------------------------|---|----------|--------|--|----------|--------|------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------------|
|   |                              | mínimo  | promedio | máximo | mínimo   | promedio | máximo |                  |                                |                  |                                 |
|   | mg/L                         | mg/L  | mg/L     | mg/L   | mg/L   | mg/L     | mg/L   | mg/L             | mg/L                           | mg/L             | mg/L                            |
| N-nitrosodi-N-propilamina               | sv                           |   |          |        |  |          |        |                  |                                |                  |                                 |
| naftaleno                               | sv                           |   |          |        |  |          |        |                  |                                |                  |                                 |
| nitrobenceno                            | 20 0                         |   |          |        |  |          |        |                  |                                |                  |                                 |
| nitrógeno orgánico                      |                              | 0   | 0        | 1      | 1  | 2        | 5      |                  |                                |                  |                                 |
| oxemil (videto)                         |                              |   |          |        |  |          |        | 0.2              |                                |                  |                                 |
| óxido de tributilestano                 |                              |   |          |        |  |          |        |                  |                                | 0.002            |                                 |
| paraquat                                |                              |   |          |        |  |          |        | 0.01             |                                |                  |                                 |
| paration                                | 0.00003                      |   |          |        |  |          |        | 0.05             |                                |                  |                                 |
| pendimetalina                           |                              |   |          |        |  |          |        |                  |                                | 0.02             |                                 |
| pentaclorofenol                         | 0.03                         |   |          |        |  |          |        | 0.05             | 0                              | 0.009            |                                 |
| permetrina                              |                              |   |          |        |  |          |        |                  |                                | 0.02             |                                 |
| Pesticidas y productos<br>relacionados  |                              |   |          |        |  |          |        |                  |                                |                  |                                 |
| - sustancias individuales               |                              |   |          |        |  |          |        |                  |                                |                  | ---                             |
| - total                                 |                              |   |          |        |  |          |        |                  |                                |                  | ---                             |
| picloram                                |                              |   |          |        |  |          |        | 0.19             | 0.5                            |                  |                                 |
| piridato                                |                              |   |          |        |  |          |        |                  |                                | 0.1              |                                 |
| propenil                                |                              |   |          |        |  |          |        |                  |                                | 0.02             |                                 |
| SAAM                                    | 0.5                          |   |          |        | 1  | 3        | 10     |                  |                                |                  |                                 |
| simezina                                |                              |   |          |        |  |          |        | 0.01             | 0.004                          | 0.002            |                                 |
| 2,4,6-T                                 |                              |   |          |        |  |          |        | 0.28             |                                | 0.009            |                                 |
| 2,4,6-TP (silvex)                       |                              |   |          |        |  |          |        |                  | 0.05                           |                  |                                 |
| 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-<br>dioxina | 0.000000001                  |   |          |        |  |          |        |                  |                                |                  |                                 |
| 1,1,2,2-tetracloroetano                 | 0.002                        |   |          |        |  |          |        |                  |                                |                  |                                 |
| 2,3,4,6-tetraclorofenol                 |                              |   |          |        |  |          |        | 0.1              |                                |                  |                                 |
| 1,2,4-triclorobenceno                   |                              |   |          |        |  |          |        |                  | 0.07                           |                  |                                 |
| 1,1,1-tricloroetano                     | 18.4                         |   |          |        |  |          |        |                  | 0.2                            | 2                |                                 |
| 1,1,2-tricloroetano                     | 0.005                        |   |          |        |  |          |        |                  | 0.003                          |                  |                                 |
| 2,4,6-triclorofenol                     | 0.01                         |   |          |        |  |          |        | 0.005            |                                | 0.2              |                                 |

**tabla 4.3 comparación de los criterios de calidad para agua de consumo humano  
parámetros orgánicos**

| parámetros                                  | México (I)<br>CECA<br>(1989) | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua subterráneos<br>Promedio 1987 - 1997 |          |        | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua superficiales<br>Promedio 1987 - 1997 |          |        | Canadá<br>(1987) | Estados Unidos (II)<br>(1987) | OMS (IV)<br>mg/L | Unión Europea<br>(1980)<br>mg/L |
|---|------------------------------|---|----------|--------|--|----------|--------|------------------|-------------------------------|------------------|---------------------------------|
|   |                              | mínimo  | promedio | máximo | mínimo   | promedio | máximo |                  |                               |                  |                                 |
|   | mg/L                         |   |          |        |  |          |        | mg/L             | mg/L                          | mg/L             | mg/L                            |
| temefos                                     |                              |   |          |        |  |          |        | 0.28             |                               |                  |                                 |
| terbufos                                    |                              |   |          |        |  |          |        | 0.001            |                               |                  |                                 |
| tetracloroetileno                           | 0.008                        |   |          |        |  |          |        |                  | 0                             | 0.04             |                                 |
| tetracloroetano                             |                              |   |          |        |  |          |        |                  | 0                             |                  |                                 |
| tetracloruro de carbono                     | 0.04                         |   |          |        |  |          |        | 0.005            | 0                             | 0.002            |                                 |
| tolueno                                     | 14.3                         |   |          |        |  |          |        | 0.024            | 1                             | 0.7              |                                 |
| toxafeno                                    | 0.000007                     |   |          |        |  |          |        |                  | 0                             |                  |                                 |
| trialeto                                    |                              |   |          |        |  |          |        | 0.23             |                               |                  |                                 |
| tricloroacetaldehído<br>(hidrato de cloral) |                              |   |          |        |  |          |        |                  |                               | 0.01             |                                 |
| tricloroacetónitrilo                        |                              |   |          |        |  |          |        |                  |                               | 0.001            |                                 |
| triclorobencenos totales                    |                              |   |          |        |  |          |        |                  |                               | 0.02             |                                 |
| tricloroetileno                             | 0.03                         |   |          |        |  |          |        | 0.05             | 0                             |                  |                                 |
| trifluralina                                |                              |   |          |        |  |          |        | 0.045            |                               | 0.02             |                                 |
| trihalometanos totales (THM)                |                              |   |          |        |  |          |        | 0.35             | 0                             | NOTA (2)         |                                 |
| xilenos totales                             |                              |   |          |        |  |          |        | 0.3              | 10                            | 0.5              |                                 |

(I): Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CECA); Fuente de Abastecimiento de Agua Potable

(II): Organización Mundial de la Salud, OMS

sv: sin valor

es: estándar secundario

er: en revisión

--- : sin valor propuesto

NOTA (1): Cuerpo libre de sustancias que formen depósitos que cambien adversamente las características del agua, materia flotante de apariencia desagradable que produzcan olor, sabor, turbiedad o propicien vida acuática desagradable.

NOTA (2): La suma de las relaciones de las concentraciones de THM no debe ser mayor a 1.

NOTA (3): Después de la extracción con éter de petróleo.

fuentes: Diario Oficial de la Federación (1989), datos proporcionados por la RNM (1998), OMS (1995), Gray (1994), EPA-2 (1999) y Environment Canada (1998)

**tabla 4.4 comparación de los criterios de calidad del agua de consumo humano  
componentes físicos/organoolépticos**

| parámetros         | México<br>CECA (I)<br>(1989)            | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua subterráneos<br>Promedio 1987 - 1997 |          |        | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua superficiales<br>Promedio 1987 - 1997 |          |         | OMS (II)<br>(1993) | Unión Europea<br>(1980) | Estados Unidos<br>(1999)       | Canadá<br>(1992) |
|--------------------|---|---|----------|--------|--|----------|---------|--------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------|
|                    |   | mínimo  | promedio | máximo | mínimo   | promedio | máximo  |                    |                         |                                |                  |
|                    |   | mg/L  |          |        | mg/L   |          |         |                    |                         |                                |                  |
| agentes espumantes |   |   |          |        |  |          |         |                    |                         | 0.5 (es)                       |                  |
| aspectos estéticos | NOTA 1                                  |   |          |        |  |          |         |                    |                         |                                |                  |
| color              | 75 (Pt-Co)                              | 134   | 137      | 148    | 87.797   | 111.825  | 187.664 | 15 UCV             | 1 (Pt-Co)               | 15 u de color (es)             | ≤ 15 UTC (est)   |
| grasas y aceites   | ausente                                 | 12  | 18       | 30     | 10.290   | 22.405   | 45.897  |                    |                         |                                |                  |
| materia flotante   | ausente de<br>aparencia<br>desagradable |   |          |        |  |          |         |                    |                         |                                |                  |
| olor               | ausente                                 |   |          |        |  |          |         | aceptable          | ---                     | 3 no de olor de<br>umbral (es) | Inofensivo (est) |
| sabor              | característico                          |   |          |        |  |          |         | aceptable          | ---                     |                                |                  |
| surfactantes       |   |   |          |        |  |          |         |                    | ---                     |                                |                  |
| temperatura        | condiciones<br>naturales + 2.6          | 23  | 24       | 27     | 21.063   | 24.754   | 29.209  | aceptable          |                         |                                | ≤ 16°C (est)     |
| transparencia      |   |   | 2        |        | 0.898  | 1.797    | 1.117   |                    |                         |                                |                  |
| turbiedad          | condiciones<br>naturales                | 2   | 6        | 8      | 152.441  | 207.451  | 372.177 | 5 UNT              |                         | 5v                             | < 1 a 5 UNT      |

(I): Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CECA); Fuente de Abastecimiento de Agua Potable

(II): Organización Mundial de la Salud, OMS

es: estándar secundario

est: valor con fines estéticos

UTC: unidades técnicas de color

UCV: unidades de color verdadero

UTN: unidades técnicas nefelométricas

--- : no se proporcionado un valor

NOTA (1): Cuerpo libre de sustancias que formen depósitos que cambien adversamente las características del agua, materia flotante de apariencia desagradable que produzcan olor, sabor, turbiedad o propicien vida acuática desagradable.

fuentes: Diario Oficial de la Federación (1989), datos proporcionados por la RNM (1998), OMS (1995), Gray (1994), EPA-2 (1999) y Environment Canada (1998)

**tabla 4.5 comparación de los criterios de calidad para agua de consumo humano  
parámetros radiológicos**

| parámetros      | México (I)<br>CECA<br>(1989) | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua subterráneos<br>Promedio 1987 - 1997 |          |  | Red Nacional de Monitoreo<br>Cuerpos de agua superficiales<br>Promedio 1987 - 1997 |          |     | OMS (IV)<br>(1993) | Unión Europea | EU (III)<br>(1987) | Canadá<br>(1987) |
|-----------------|------------------------------|---|----------|--|--|----------|-----|--------------------|---------------|--------------------|------------------|
|                 |                              | mínimo  | promedio |  | mínimo   | promedio |     |                    |               |                    |                  |
|                 | Bq/L                         |   |          |  |  |          |     | Bq/L               |               |                    | Bq/L             |
| cesio (137)     |                              |   |          |  |  |          |     |                    |               |                    | 50               |
| estroncio (90)  |                              |   |          |  |  |          |     |                    |               |                    | 10               |
| iodo (131)      |                              |   |          |  |  |          |     |                    |               |                    | 10               |
| partículas alfa | 0.1                          |   |          |  |  |          | 0.1 |                    | 0             |                    |                  |
| partículas beta | 1.0                          |   |          |  |  |          | 1   |                    | 0             |                    |                  |
| Re (226)        |                              |   |          |  |  |          |     |                    | 0             |                    | 1                |
| Re (228)        |                              |   |          |  |  |          |     |                    | 0             |                    | 1                |
| litio (3)       |                              |   |          |  |  |          |     |                    |               |                    | 40 000           |

(I): Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CECA); Fuente de Abastecimiento de Agua Potable

(II): Secretaría de Salud, SS

(III): Estados Unidos, EU

(IV): Organización Mundial de la Salud, OMS

fuentes: Diario Oficial de la Federación (1989), datos proporcionados por la RNM (1998), OMS (1995), Gray (1994), EPA-2 (1999) y Environment Canada (1998)

## 4.2 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES CONSIDERADAS PARA PROPONER LOS NUEVOS CRITERIOS DE CALIDAD

Para efectuar el análisis de los parámetros de calidad del agua, se elaboraron cinco tablas (4.6 a 4.10) donde se examinan los grupos de compuestos, elementos y parámetros calificados internacionalmente, como de preocupación para la salud.

Con el fin de determinar si un elemento debía formar parte de la propuesta, se tomaron en cuenta las siguientes características de los agentes contaminantes:

- Origen
- Efectos nocivos
- Posibilidad de encontrarse en los cuerpos de agua

### 4.2.1 ORIGEN DE LOS AGENTES CONTAMINANTES

Se describe la procedencia de la sustancia en los cuerpos de agua; el elemento contaminante se puede originar de forma natural, o como consecuencia de un agente externo (suelos, rocas, sedimentos, aire, agua, etc.), o como resultado de utilizarlo en efluentes industriales, lixiviados, retornos agrícolas, descargas municipales y procesos de tratamiento del agua, por ejemplo. Las fuentes de sustancias contaminantes que se consideran son:

**Natural (NAT):** La sustancia o parámetro se halla habitualmente en el agua (ríos, lagos, mares, etc.), suelos o sedimentos en contacto con ella. Por tanto, la presencia del agente, en ciertas concentraciones, es normal.

**Municipal (MUN):** El parámetro se localiza comúnmente en las aguas negras municipales como producto de la descarga de efluentes de casas habitación o de usos del municipio (lavado de aceras, riego de parques y jardines). En general, las fuentes municipales tienen elevadas concentraciones de materia fecal y orgánica y, dependiendo de los sistemas de colección y tratamiento, pueden contener diversos contaminantes orgánicos e inorgánicos de origen industrial. Si se dispone de drenajes combinados (con agua de lluvia), se arrastra gran cantidad de elementos y la introducción de contaminantes en el agua se agrava debido a la falta de control.

**Industrial (IND):** La sustancia o parámetro está presente en el agua porque fue empleada en algún procedimiento industrial, o bien, es un subproducto de proceso, que se desecha con las descargas industriales. Existe gran variedad de compuestos posibles según la naturaleza de cada industria.

**Agrícola (AGRÍ):** El parámetro se encuentra en el agua como resultado del arrastre de sustancias utilizadas en la agricultura o del aporte mismo del suelo (erosión). Los contaminantes principales son orgánicos (derivados de la crianza de animales y del tratamiento del suelo), así como compuestos sintéticos incorporados a los campos de cultivo por la fertilización y adición de plaguicidas.

**Minero (MIN):** El agente se halla en el agua por el arrastre de elementos producto de la extracción minera o son subproductos de ésta.

**Manejo del agua (MAN):** El parámetro se localiza en el agua porque forma parte del sistema de potabilización, acueductos, pipas, tuberías, etc., o bien, es subproducto de la desinfección del agua potable.

**Aire (AIRE):** El agente existe en el aire de manera natural o como resultado de la contaminación atmosférica, y es arrastrado a los cuerpos de agua por medio de la lluvia. A medida que los conocimientos en esta área aumentan, se incrementa la lista de contaminantes que deben ser considerados en este rubro. Actualmente, se habla de acidificación, sulfatos, nitratos, metales (plomo, cadmio y arsénico), ciertos pesticidas y compuestos orgánicos, entre otros.

#### 4.2.2 EFECTOS NOCIVOS DE LOS AGENTES CONTAMINANTES

Un aspecto muy importante del análisis se refiere a los efectos nocivos que las sustancias causan en el ambiente y los organismos, sobre todo en la salud humana.

En este apartado, se examinan dichos efectos evaluando los resultados por medio de dos vías: la toxicológica y la epidemiológica. La primera, implica investigación experimental controlada en el laboratorio; la segunda, evalúa la incidencia de enfermedades en poblaciones humanas específicas.

##### 4.2.2.1 Toxicidad

La toxicidad de una sustancia se define como su capacidad intrínseca para causar daño, e incluye el potencial carcinogénico, el mutagénico y los efectos teratogénicos (Lester, 1987). La toxicología resume los efectos que una sustancia produce en diversos organismos con diferentes dosis y distintas condiciones. Hay, básicamente, dos tipos de toxicidad: la aguda y la subaguda.

En general, las investigaciones toxicológicas se efectúan inicialmente mediante experimentaciones con animales y microorganismos; y por medio de factores de

incertidumbre<sup>13</sup> para escalar las dosis a seres humanos. Cuando se dispone de la información, se utilizan las relaciones dosis-respuesta para predecir los efectos de dosis que no han sido estudiadas.

### ***toxicidad aguda***

Determina la dosis que provoca la muerte inmediata en 50 por ciento de los organismos expuestos ( $DL_{50}$ ), así como los efectos que se presentan poco tiempo después de la administración de la sustancia en una o varias dosis con diferentes concentraciones. Los efectos calificados como agudos en los organismos examinados incluyen: cambios respiratorios, dolor de cabeza, desórdenes gastrointestinales, enfermedades de la piel y otras condiciones. En general, se considera que un efecto agudo es aquél que tiene una duración máxima de tres meses e implica atención médica o restricciones en la actividad del afectado (Harte *et al.*, 1995).

### ***toxicidad subaguda o crónica***

Alude a los efectos ocasionados por la administración de la sustancia durante largos periodos (años o toda la vida) para analizar situaciones como la reducción de la esperanza de vida, la inducción de cáncer u otras enfermedades y la aparición de daños irreversibles o progresivos. Entre los efectos crónicos, se encuentran: enfermedades del corazón, hipertensión, diabetes, artritis, úlcera, bronquitis y enfisemas. La duración de estos efectos abarca por lo menos tres meses (Harte *et al.*, 1995).

### ***carcinogenicidad***

El cáncer es una condición caracterizada por la replicación no controlada y el crecimiento de las células del cuerpo (células somáticas). Se sabe que la mayoría de los cánceres son originados por sustancias de químicos naturales o sintéticos (Manahan, 1988).

Dentro de este apartado, se describe el potencial carcinogénico de la sustancia investigada y se indica si existen pruebas o indicios de éste a partir de estudios llevados a cabo en laboratorio. Además, se proporciona la clasificación del Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) (ver anexo A).

---

<sup>13</sup> Los factores de incertidumbre consideran, por ejemplo, la variación entre especies y dentro de una misma especie, la insuficiencia de los estudios realizados, así como la naturaleza o gravedad del efecto examinado. El factor de seguridad puede ser de 10, 100 o 1 000, dependiendo de cuanto se asemejan los estudios a las condiciones de la exposición humana real.

### ***mutagenicidad***

La mutagénesis es el fenómeno por el cual se presentan rasgos no heredables como resultado de alteraciones en el ADN. Aunque la mutación es un proceso que ocurre normalmente (para la variación y evolución de las especies), la mayoría de las mutaciones son dañinas. Los tóxicos que provocan mutaciones se conocen como mutágenos (Manahan, 1988).

En este apartado, se incluyen los efectos mutagénicos de las sustancias obtenidos como resultado de diversas pruebas de laboratorio con diferentes especies animales.

### ***teratogénesis***

La teratología es la ciencia que estudia los defectos de nacimiento causados por radiaciones, virus o químicos. Los agentes tóxicos que originan estos defectos de nacimiento son conocidos como teratógenos. Una sustancia teratogénica puede producir un efecto específico solamente cuando la exposición ocurre en un número definido de días después de la concepción.

Aquí, se comenta el potencial teratogénico del parámetro analizado según diferentes pruebas efectuadas en sistemas celulares y animales de laboratorio, o bien, obtenido mediante estudios epidemiológicos en algunos sectores de la población expuestos a la sustancia por situaciones laborales u otras.

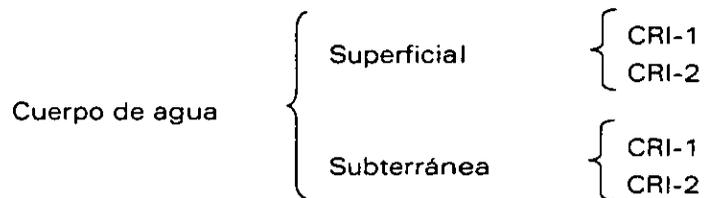
#### **4.2.2.2 Epidemiología**

La epidemiología investiga las relaciones entre diversos factores de riesgo en una población y la ocurrencia de una enfermedad. Cuando se encuentra una relación suficientemente fuerte, dichos factores se consideran como posibles causas de la enfermedad (Harte *et al.*, 1995). La epidemiología requiere un daño ya hecho para conocer sus consecuencias, y establecer sus posibles orígenes, sin poder predecir los efectos de exposiciones anteriores a otras sustancias.

Por lo anterior, se plantean diversos efectos causados por la exposición directa del hombre al parámetro analizado; asimismo, se incluyen el tipo y el tiempo de exposición, además de los efectos que se observaron durante dicho periodo.

### 4.3 SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS

Como resumen del análisis efectuado, en las tablas 4.6 a 4.10 se presenta en cada tabla la columna CUERPO DE AGUA, en la que se establece la importancia y, el grado de ésta, que corresponden a la presencia de la sustancia o parámetro examinados en cuerpos de agua superficiales o subterráneos. Dicha columna toma en cuenta:



donde

CRI-1 significa la prioridad debida al alto riesgo para la salud humana

CRI-2 representa los problemas asociados con la aceptación del agua por motivos estéticos.

En este aspecto, se expone la necesidad de considerar un parámetro o sustancia dentro de la nueva propuesta de los criterios, identificando su nivel de importancia, ya sea como CRI-1 o CRI-2 y colocan la palabra VAL (valor) en la casilla correspondiente.

**tabla 4.6 análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable componentes microbiológicos**

| PARÁMETRO                                | MOTIVO   | FUENTE |     |     |      |     | CUERPO DE AGUA |       |             |       |
|--|--|--------|-----|-----|------|-----|----------------|-------|-------------|-------|
|  |  | NAT    | MUN | IND | AGRI | PEC | SUPERFICIAL    |       | SÚBTERRÁNEA |       |
|  |  |        |     |     |      |     | CRI-1          | CRI-2 | CRI-1       | CRI-2 |
| <i>Escherichia coli</i>                  | Patógeno indicador de contaminación fecal.   |        | X   |     | X    | X   | VAL            | ---   | VAL         | ---   |
| Coliformes termorresistentes ("fecales") | Indicador de la eficacia del tratamiento de la contaminación fecal.                                | X      | X   | X   | X    | X   | VAL            | ---   | VAL         | ---   |
| Coliformes totales                       | Presente en agua de bebida. Indicador suplementario de agua tratada y su distribución en tuberías. | X      | X   |     | X    | X   | ---            | VAL   | ---         | VAL   |
| Estreptococos fecales                    | Indicador específico de la contaminación de origen humano.   | X      | X   |     | X    | X   | ---            | VAL   | VAL         | ---   |
| <i>Clostridia</i>                        | Indicador de la contaminación intermitente distante, no se recomienda su uso.                      | X      | X   |     |      |     | ---            | ---   | ---         | ---   |
| Colifagos                                | Indicador suplementario de aguas subterráneas. No se consideran indicadores adecuados y fiables    |        | X   |     |      |     | ---            | ---   | ---         | ---   |

**tabla 4.7 análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable componentes inorgánicos**

| PARÁMETRO         | CARCINOGENICIDAD  | EFECTOS NOCIVOS   | FUENTE |     |     |      |     |     |      | CUERPO DE AGUA |       |             |       |     |
|-------------------|---|---|--------|-----|-----|------|-----|-----|------|----------------|-------|-------------|-------|-----|
|                   |   |   | NAT    | MUN | IND | AGRI | MIN | MAN | AIRE | SUPERFICIAL    |       | SUBTERRÁNEA |       |     |
|                   |   |   |        |     |     |      |     |     |      | CRI-1          | CRI-2 | CRI-1       | CRI-2 |     |
| Amianto (Asbesto) | C-1 por inhalación  | Se encuentra ampliamente diseminado en el ambiente. Tienen a acumularse en suelos y sedimentos. En agua no interactúan con otros elementos. El peligro potencial del amianto se presenta por inhalación (cáncer, mesotelioma y asbestosis). No se ha probado su peligrosidad por ingestión de agua con altas concentraciones del amianto.   |        | X   | X   |      |     | X   | X    | X              | ---   | ---         | ---   | --- |
| Antimonio         | Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> C-2B por inhalación<br>Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub> C-3 por inhalación | Es ligeramente bioacumulable. La mayor parte del Sb absorbido se acumula en el hígado, los huesos y el bazo. Posible riesgo en función del compuesto en que se encuentre el elemento. Los efectos tóxicos más dañinos se presentan por inhalación. Envenenamiento agudo con antimonio puede provocar vómito diarrea y muerte  | X      |     | X   |      |     | X   |      | X              | ---   | ---         | ---   | --- |
| Arsénico          | As inorgánico C-1   | El agua contribuye *30% de la exposición total al As, principalmente en la forma inorgánica. Lixiviados industriales y agrícolas incrementan las concentraciones de As en los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Los compuestos inorgánicos del As son más tóxicos que los orgánicos. Una vez ingerido se elimina lentamente del organismo, por lo que puede ser fácilmente acumulado. Los primeros síntomas de la toxicidad del As son la pérdida sensorial dañando al sistema nervioso periférico. El envenenamiento crónico se caracteriza por lesiones en la piel (hiperpigmentación y cáncer). Envenenamiento agudo puede provocar fallas respiratorias, pulmonares, gastrointestinales y cardiovasculares hasta provocar la muerte. El grupo expuesto más sensible son los niños que toman una mayor proporción de agua. Es tóxico y carcinógeno humano. | X      |     | X   | X    | X   |     |      | X              | VAL   | ---         | VAL   | --- |
| Bario             |   | No se encuentra libre en la naturaleza. La principal vía de exposición ocurre por los alimentos. Dentro del organismo se comporta como Ca y se deposita en los huesos. Se transporta rápidamente en el plasma sanguíneo. El Ba ingerido produce contracciones intensas y prolongadas en todos los músculos, incluyendo el aparato digestivo y el corazón. No se dispone de información sobre la relación del Ba con mutaciones, cáncer o defectos al nacer. No es un nutriente esencial. En altas concentraciones provoca vasoconstricción por estimulación directa del músculo arterial.   | X      |     | X   | X    | X   |     |      |                | VAL   | ---         | VAL   | --- |
| Berilio           | C-2A Por inhalación   | Su principal fuente de ingesta son los vegetales. Bajas concentraciones en agua potable. No se bioconcentra en la cadena alimenticia. Del Be ingerido, sólo el 1% es asimilado por el tracto gastrointestinal. Los principales efectos nocivos se presentan por inhalación y exposición ocupacional. La combustión de combustibles fósiles libera Be. Se considera que el Be ingerido es menos tóxico que el Be   |        |     | X   |      |     | X   |      | X              | ---   | ---         | ---   | --- |

**tabla 4.7 análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable componentes inorgánicos**

| PARÁMETRO     | CARCINOGENICIDAD                         | EFECTOS NOCIVOS   | FUENTE |     |     |      |     |     |      | CUERPO DE AGUA |       |             |       |     |     |
|---------------|--|---|--------|-----|-----|------|-----|-----|------|----------------|-------|-------------|-------|-----|-----|
|               |  |   | NAT    | MUN | IND | AGRI | MIN | MAN | AIRE | SUPERFICIAL    |       | SUBTERRÁNEA |       |     |     |
|               |  |   |        |     |     |      |     |     |      | CRI-1          | CRI-2 | CRI-1       | CRI-2 |     |     |
| Boro          |  | <p>adquirido por otras rutas.<br/>No se ha confirmado la mutagenicidad y carcinogenicidad oral del Be.</p> <p>La intrusión salina y lixiviados agrícolas incrementan las concentraciones de B en las aguas.<br/>El B se ingiere principalmente por los alimentos y el agua.<br/>El B administrado por los alimentos o el agua es rápida y completamente asimilado y se excreta casi completamente en la orina.<br/>La exposición aguda el B provoca depresión, ataxia, convulsiones y muerte.<br/>No hay pruebas de su mutagenicidad y carcinogenicidad.<br/>El envenenamiento por B incluye disturbios gastrointestinales, erupciones en la piel, estimulación del sistema nervioso central seguido de depresión.</p>  |        | X   | X   |      |     |     |      |                |       | ---         | VAL   | --- | VAL |
| Cadmio        | C-2A<br>Por inhalación                   | <p>Alta tendencia a acumularse en la cadena alimenticia<br/>La solubilidad del Cd se incrementa con la acidez.<br/>La contaminación por Cd en el agua de bebida ocurre como consecuencia de su presencia en tuberías de Zn, soldaduras, enfriadores.<br/>No es un nutriente esencial Se acumula con lentitud en el suelo.<br/>Muy tóxico para los organismos vivos.<br/>En altas concentraciones el Cd puede causar daños y fallas renales irreversibles.<br/>Tiene una vida media dentro del organismo de 10 a 35 años.<br/>La absorción del Cd por el organismo depende del tipo de compuesto al que se este expuesto.<br/>Al entrar al torrente sanguíneo se transporta a todo el cuerpo.<br/>Los mariscos son altamente sensibles a acumular altas concentraciones de Cd.</p>   |        | X   | X   | X    | X   |     |      | X              |       | ---         | VAL   | --- | VAL |
| Cianuro       |  | <p>Exposición intermitente a través del agua por contaminación industrial.<br/>Una vez ingeridos los cianuros son rápidamente absorbidos por el sistema Gastrointestinal.<br/>Toxicidad aguda elevada<br/>Disminuye los niveles de la vitamina B<sub>12</sub> hasta niveles de deficiencia.<br/>La ingesta oral de CN<sup>-</sup> (50-20mg) provoca diversos desordenes que pueden provocar la muerte del individuo expuesto.<br/>Imparte color y sabor astringente al agua (fácil de detectar a partir de 3 mg/l)<br/>Los sistemas de tuberías pueden incrementar considerablemente las concentraciones de Cu en el agua.<br/>Los alimentos son fuente importante de Cu.<br/>Es un elemento esencial en la dieta.<br/>A partir de concentraciones de 30 mg/L se presentan síntomas de intoxicación: vómito, diarrea, náusea, irritación, puede llegar a ocasionar disturbios gastrointestinales y daños al hígado, riñones y células.<br/>Concentraciones de 30 mg/L hay problemas severos de sabor y teñido de telas.</p> |        |     | X   | X    | X   |     |      |                |       | VAL         | ---   | VAL | --- |
| Cobre         |  | <p>La ingesta oral de CN<sup>-</sup> (50-20mg) provoca diversos desordenes que pueden provocar la muerte del individuo expuesto.<br/>Imparte color y sabor astringente al agua (fácil de detectar a partir de 3 mg/l)<br/>Los sistemas de tuberías pueden incrementar considerablemente las concentraciones de Cu en el agua.<br/>Los alimentos son fuente importante de Cu.<br/>Es un elemento esencial en la dieta.<br/>A partir de concentraciones de 30 mg/L se presentan síntomas de intoxicación: vómito, diarrea, náusea, irritación, puede llegar a ocasionar disturbios gastrointestinales y daños al hígado, riñones y células.<br/>Concentraciones de 30 mg/L hay problemas severos de sabor y teñido de telas.</p>  |        | X   | X   | X    | X   |     |      |                |       | ---         | ---   | --- | --- |
| Cromo (total) | Cr VI: C-1 por inhalación<br>Cr III: C-3 | <p>Cr (III)<br/>Es la forma más abundante y estable del Cr.<br/>Es necesario para la salud<br/>No se conocen efectos negativos de su exposición normal.<br/>Es la forma comercial más importante.<br/>Puede tener efectos adversos inmediatos a la salud.</p>   | X      |     | X   | X    |     |     |      |                |       | ---         | VAL   | --- | VAL |

**tabla 4.7 análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable componentes inorgánicos**

| PARÁMETRO | CARCINOGENICIDAD | EFECTOS NOCIVOS   | FUENTE |     |     |      |     |     |      |             | CUERPO DE AGUA |             |       |     |     |
|-----------|------------------|---|--------|-----|-----|------|-----|-----|------|-------------|----------------|-------------|-------|-----|-----|
|           |                  |   | NAT    | MUN | IND | AGRI | MIN | MÁN | AIRÈ | SÚPERFICIAL |                | SUBTERRÁNEA |       |     |     |
|           |                  |   |        |     |     |      |     |     |      | CRI-1       | CRI-2          | CRI-1       | CRI-2 |     |     |
|           |                  | <p>Cr (VI) Provoca cáncer pulmonar. Sus compuestos pueden dañar el material genético, provocar malformaciones fetales y alteraciones en la reproducción. Puede ocasionar daño hepático y renal, hemorragias internas, dermatitis, daño respiratorio y cáncer pulmonar. Es tóxico para la fauna acuática. No se bioconcentra en la cadena alimenticia. La exposición aguda a cromatos provoca desórdenes gastrointestinales, diatesis hemorrágica y convulsiones, la muerte puede presentarse después de un choque cardiovascular. Se han presentado aberraciones cromosomales en trabajadores expuestos al Cr (VI).</p>   |        |     |     |      |     |     |      |             |                |             |       |     |     |
| Estaño    |                  | <p>El agua potable no es una fuente de exposición significativa. El Sn es poco absorbido y acumulado en los organismos. Es de rápida excreción. Presenta baja toxicidad.</p>  | X      |     | X   |      |     | X   |      |             |                | ---         | ---   | --- | --- |
| Fluoruros | C-3              | <p>Tiene alta reactividad y son solubles en agua. Incrementan sus concentraciones en agua debido a descargas industriales o contacto con sedimentos. Los alimentos, la pasta dental y el agua (70 - 90% en función de la geología) incrementan las concentraciones de fluoruros. Zonas minerales ricas en flúor contaminan los mantos freáticos. Concentraciones elevadas producen efectos sobre los huesos (osteoporosis) y dientes (fluorosis). Bajas concentraciones protegen contra la caries dental. Altas dosis interfieren con el metabolismo de carbohidratos, lípidos, proteínas, vitaminas, enzimas y minerales. Otros efectos por intoxicación son náuseas, vómito gastroenteritis hemorragia, daños al hígado y al corazón. No existe clara evidencia de que cause cáncer, defectos congénitos o daños genéticos.</p> | X      | X   | X   | X    |     |     |      |             |                | VAL         | ---   | VAL | --- |
| Manganeso |                  | <p>Elemento esencial para humanos y animales. Concentraciones altas modifican la apariencia del agua limitando su aceptabilidad. La ingesta proviene de alimentos y agua. Neurotóxico en altas concentraciones. La deficiencia de Mn provoca anemia, anomalías del esqueleto y en el crecimiento. De lugar al crecimiento de organismos nocivos que provocan sabor, olor y turbiedad. Los niños y animales pequeños son los grupos más sensibles a sus efectos.</p>   | X      |     | X   |      |     | X   |      |             |                | VAL         | ---   | VAL | --- |
| Mercurio  |                  | <p>Las concentraciones de Hg en agua se incrementan por depósitos naturales, descargas industriales, deposición y precipitación. Los compuestos de Hg orgánicos son más tóxicos que los inorgánicos. No tiene ninguna función en el cuerpo. El Hg orgánico es capaz de atravesar las membranas biológicas. El metil-mercurio es soluble y se acumula en las cadenas alimenticias. Es absorbido con facilidad por el torrente sanguíneo. Neurotóxico crónico.</p>  | X      |     | X   |      |     |     |      | X           |                | VAL         | ---   | VAL | --- |

**tabla 4.7 análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable componentes inorgánicos**

| PARÁMETRO                 | CARCINOGENICIDAD | EFECTOS NOCIVOS   | FUENTE |     |     |      |     |     |      | CUERPO DE AGUA       |                      |                      |                      |     |     |
|---------------------------|------------------|---|--------|-----|-----|------|-----|-----|------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----|-----|
|                           |                  |   | NAT    | MUN | IND | AGRI | MIN | MAN | AIRE | SUPERFICIAL<br>CRI-1 | SUPERFICIAL<br>CRI-2 | SUBTERRÁNEA<br>CRI-1 | SUBTERRÁNEA<br>CRI-2 |     |     |
| Molibdèno                 |                  | Elemento esencial.<br>Ciertos compuestos imparten sabor astringente al agua.<br>Los alimentos son fuente de Mo.<br>Entra rápidamente a la sangre, se aloja principalmente en riñones, hígado y huesos.<br>No hay pruebas de que sea acumulativo.<br>No existen pruebas concluyentes de su carcinogenicidad por ingestión oral.  |        |     |     |      |     | X   |      |                      |                      | ---                  | VAL                  | --- | VAL |
| Niquel                    | C-1              | Las concentraciones de Ni en agua se incrementan debido a depósitos naturales, descargas industriales, lixivados del electroplatinado.<br>Es muy soluble en agua y fácilmente absorbible por el organismo.<br>Se distribuye a todos los órganos y se acumula principalmente en riñones, hígado y pulmones.<br>Atraviesa la placenta humana.<br>Su intoxicación provoca náusea, vómito, dolor abdominal, diarrea, dolor de cabeza, vértigo, languidez.<br>Su potencial carcinógeno por vía oral es incierto.<br>Existe evidencia de laboratorio que indica que tiene efectos genéticos en bacterias y animales.<br>Los animales de agua dulce son muy sensibles al Ni.                 | X      |     | X   |      |     |     |      |                      |                      | VAL                  | ---                  | VAL | --- |
| Nitratos, NO <sub>3</sub> |                  | Se encuentran ampliamente distribuidos en el ambiente (plantas, cuerpos de agua, suelos y sedimentos).<br>El uso de fertilizantes, desechos orgánicos, y descargas de aguas municipales incrementan sus concentraciones en aguas superficiales y subterráneas.<br>Se digieren y absorben fácilmente en el aparato digestivo.<br>Son transformados a nitritos y nitrosaminas dentro del tracto gastrointestinal.<br>Aceleran el proceso de eutrofización en los cuerpos de agua  | X      | X   |     |      | X   |     |      |                      |                      | VAL                  | ---                  | VAL | --- |
| Nitritos, NO <sub>2</sub> |                  | No se encuentran de manera natural en el ambiente en niveles significativos.<br>Los nitritos se metabolizan a partir de los nitratos por acción bacteriana.<br>Fomentan la síntesis de nitrosaminas dentro del cuerpo humano.<br>Provoca metahemoglobinemia siendo los lactantes, el grupo más sensible a sus efectos.  | X      |     |     |      |     |     |      |                      |                      | ---                  | ---                  | --- | --- |
| Plata                     |                  | Concentraciones muy bajas en agua.<br>Riesgo sanitario de muy baja probabilidad.<br>Argentosis.<br>Tiene baja solubilidad.  | x      |     | X   |      |     | X   |      |                      |                      | ---                  | ---                  | --- | --- |
| Plomo                     | C-2B             | No hay evidencia de carcinogenicidad o mutagenicidad.<br>El agua blanda y ácida entubada contiene una mayor concentración de Pb.<br>Tiende a acumularse en sedimentos y suelos, plantas y el agua.<br>Se comporta como el Ca dentro del organismo y se deposita en el esqueleto.<br>Afecta al sistema nervioso, los riñones, el sistema reproductivo y la conducta, interfiere en la síntesis de hemoglobina.<br>Es neurotóxico.<br>A menos que sea aguda, los síntomas de intoxicación son muy vagos y poco específicos, asemejándose a otro tipo de afecciones, los síntomas incluyen palidez, vómito, dolor abdominal, estreñimiento, apatía, inapetencia, estupor, irritabilidad. | X      | X   | X   |      |     | X   |      | X                    |                      | VAL                  | ---                  | VAL | --- |

**tabla 4.7 análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable componentes inorgánicos**

| PARÁMETRO | CARCINOGENICIDAD | EFECTOS NOCIVOS   | FUENTE |     |     |      |     |     |      | CUERPO DE AGUA |       |             |       |     |
|-----------|------------------|---|--------|-----|-----|------|-----|-----|------|----------------|-------|-------------|-------|-----|
|           |                  |   | NAT    | MUN | IND | AGRI | MIN | MAN | AIRE | SUPERFICIAL    |       | SUBTERRÁNEA |       |     |
|           |                  |   |        |     |     |      |     |     |      | CRI-1          | CRI-2 | CRI-1       | CRI-2 |     |
| Selenio   | C-3              | Puede inducir abortos.<br>Las tuberías incrementan la concentración de Pb en el agua.<br>El grupo más sensible son los fetos y lactantes.<br>Elemento esencial.<br>Su concentración en agua es baja.<br>Se le ingiere principalmente por los alimentos.<br>La toxicidad del Se en humanos no está suficientemente documentada.            | X      |     |     | X    |     |     |      |                | ---   | ---         | ---   | --- |
| Talio     |                  | No se considera un contaminante ambiental debido a sus bajas concentraciones en el ambiente.<br>Su principal fuente de exposición son los alimentos, el humo del tabaco y los peces y mariscos.<br>No ha y certeza de su mutagenicidad.<br>No existen claras evidencia de su teratogenicidad.<br>No se ha demostrado su carcinogenicidad. | X      |     |     |      | X   |     | X    |                |       |             |       |     |
| Uranio    |                  | En México no se cuenta con zonas minerales ricas en este compuesto.<br>La absorción de U por el cuerpo es reducida.<br>Su toxicidad no está bien documentada.   | X      |     | X   |      |     |     |      |                | ---   | ---         | ---   | --- |

- C-1 El agente (o la mezcla) es carcinógeno para los seres humanos. Las circunstancias de exposición implican exposiciones carcinógenas para los seres humanos.
- C-2A El agente (o la mezcla) es probablemente carcinógeno para los seres humanos. Las circunstancias de exposición implican exposiciones probablemente carcinógenas para los seres humanos.
- C-2B El agente (o la mezcla) es posiblemente carcinógeno para los seres humanos. Las circunstancias de exposición implican exposiciones posiblemente carcinógenas para los seres humanos.
- C-3 El agente (o la mezcla o las circunstancias de exposición) no puede clasificarse sobre la base de su carcinogenicidad para los seres humanos.
- C-4 El agente (o la mezcla o las circunstancias de exposición) probablemente no es carcinógeno para los seres humanos.

**tabla 4.8 análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable componentes orgánicos**

| PARÁMETRO               | CARCINOGENICIDAD | EFECTOS NOCIVOS   | FUENTE |     |      |     |      | PRESENCIA EN AGUA |           | CUERPO DE AGUA    |                   |                   |                   |     |
|-------------------------|------------------|---|--------|-----|------|-----|------|-------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----|
|                         |                  |   | NAT    | IND | AGRI | MAN | AIRE | MUY PROB          | POCO PROB | SUPERFICIAL CRI-1 | SUPERFICIAL CRI-2 | SUBTERRÁNEA CRI-1 | SUBTERRÁNEA CRI-2 |     |
| <b>ALCANOS CLORADOS</b> |                  |   |        |     |      |     |      |                   |           |                   |                   |                   |                   |     |
| Tetracloruro de carbono | C-2B             | Se filtra con facilidad hacia los cuerpos de agua subterránea.<br>Puede acceder al agua por medio de la disolución de las tuberías de PVC.<br>Es absorbido por suelos y sedimentos.<br>Absorción oral, cutánea y por inhalación.<br>Es un contaminante ocasional del cloro utilizado para desinfección del agua para bebida.<br>Afecta principalmente a los riñones, el hígado y los pulmones.<br>Ingestas simples de tetracloruro pueden ser importantes en pequeñas dosis.<br>Ingestión crónica de concentraciones elevadas de agua contaminada afecta al hígado, riñones, sistema nervioso.<br>El contacto prolongado provoca acumulación de grasa en el hígado, lo que deforma al órgano aunque no afecta sus funciones.<br>Los efectos sistémicos son por la exposición aguda incluyen: náusea, vómito, diarrea, dolor de cabeza, estupor, daño renal que puede ocasionar anuria o azotemia y daños en el hígado.<br>No hay pruebas concluyentes de mutagenicidad o que ocasionen defectos congénitos. |        | X   | X    |     |      | X                 |           | X                 | VAL               | ---               | VAL               | --- |
| Diclorometano           | C-2B inhalación  | Dentro del cuerpo se degrada a monóxido de carbono.<br>Los cuerpos de agua pueden contaminarse por efecto derramamientos o fugas de tanques de almacenamiento.<br>Dentro de los cuerpos de agua durante muchos años y es muy móvil.<br>No es biodegradable.<br>La absorción por el aparato digestivo es lenta.<br>Los principales efectos tóxicos ocurren por inhalación.   |        | X   | X    | X   |      |                   |           | X                 | ---               | ---               | ---               | --- |
| 1,1-Dicloroetano        |                  | Poco frecuente en agua, por lixiviados.<br>La principal exposición ocurre por aire.<br>Es peligroso si se ingiere, irritante a los ojos y las vías respiratorias.<br>No hay evidencia concluyente de su carcinogenicidad.   |        | X   |      |     |      |                   |           | X                 | ---               | ---               | ---               | --- |
| 1,2-Dicloroetano        | C-2B             | Poco frecuente. Incrementa su presencia en zonas industriales.<br>Es un compuesto estable poco soluble en agua capaz de lixiviarse hacia los cuerpos de agua  |        | X   | X    |     |      | X                 |           | X                 | VAL               | ---               | VAL               | --- |

**tabla 4.8 análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable componentes orgánicos**

| PARÁMETRO              | CARCINOGENICIDAD      | EFECTOS NOCIVOS   | FUENTE |     |      |     |      | PRESENCIA EN AGUA |           | CUERPO DE AGUA |       |             |       |     |
|------------------------|-----------------------|---|--------|-----|------|-----|------|-------------------|-----------|----------------|-------|-------------|-------|-----|
|                        |                       |   | NAT    | IND | AGRI | MAN | AIRE | MUY PROB          | POCO PROB | SUPERFICIAL    |       | SUBTERRÁNEA |       |     |
|                        |                       |   |        |     |      |     |      |                   |           | CRI-1          | CRI-2 | CRI-1       | CRI-2 |     |
| 1,1,1-Tricloroetano    | C-3<br>Por inhalación | <p>subterráneos.<br/>Puede entrar a los cuerpos de agua como resultado de los desechos industriales.<br/>Se absorbe rápidamente por el tracto gastrointestinal.<br/>Existe evidencia de que ocasiona mutaciones, defectos congénitos y cáncer.<br/>Los efectos de la intoxicación incluyen daño al sistema nervioso central, hepático, gastrointestinal, respiratorio, renal y cardiovascular.</p> <p>La principal vía de exposición es por inhalación.<br/>La ingesta de altas dosis provocan náuseas, vómito y diarrea.<br/>Los efectos tóxicos más graves se experimentan por la inhalación del compuesto.</p>   |        | X   |      |     |      |                   |           | X              | ---   | ---         | ---   | --- |
| <b>ETENOS CLORADOS</b> |                       |   |        |     |      |     |      |                   |           |                |       |             |       |     |
| Cloruro de vinilo      | C-1                   | <p>Es muy utilizado en la industria.<br/>Se presenta en diversos alimentos, bebidas, entre otros objetos de consumo.<br/>Se le ha detectado en depósitos de agua de consumo.<br/>Puede producir cáncer si es inhalado o ingerido.<br/>Entre los tipos de cáncer que produce están: hepático, cerebral, del sistema nervioso central y podría producir cáncer pulmonar, leucemia y linfoma.<br/>Se ha determinado que es un mutágeno en células humanas y animales.<br/>Causa defectos congénitos.<br/>La exposición crónica produce daños hepáticos y acreostolisis.<br/>Los síntomas por exposición aguda incluyen: mareo, aturdimiento, náusea, dolor abdominal, reacciones retardadas debilidad y dolor de cabeza.<br/>La exposición prolongada a altas concentraciones puede producir anestesia profunda y la muerte.<br/>Las tuberías de PVC incrementan las concentraciones en el agua.</p> |        | X   | X    |     |      | X                 |           | X              | ---   | VAL         | VAL   | --- |
| 1,1-dicloroetano       | C-3                   | <p>Se le encuentra en el agua debido a descargas industriales.<br/>Poco soluble en agua.<br/>Básicamente tóxico por inhalación, irritante de la piel y los ojos.</p>  |        | X   |      |     |      |                   |           | X              | ---   | ---         | ---   | --- |
| 1,2-Dicloroetano       |                       | <p>No hay estudios suficientes que comprueben su mutagenicidad, teratogenicidad</p>   |        | X   |      | X   | X    | X                 | X         |                | ---   | ---         | ---   | --- |

**tabla 4.8 análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable componentes orgánicos**

| PARÁMETRO                       | CARCINOGENICIDAD | EFECTOS NOCIVOS   | FUENTE |     |      |     |      | PRESENCIA EN AGUA |           | CUERPO DE AGUA    |                   |                   |                   |     |
|---------------------------------|------------------|---|--------|-----|------|-----|------|-------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----|
|                                 |                  |   | NAT    | IND | AGRI | MAN | AIRE | MUY PROB          | POCO PROB | SUPERFICIAL CRI-1 | SUPERFICIAL CRI-2 | SUBTERRÁNEA CRI-1 | SUBTERRÁNEA CRI-2 |     |
|                                 |                  | carcinogenicidad.<br>La intoxicación ocurre principalmente por inhalación, provoca: irritación de ojos, vías aéreas superiores y piel, náusea, vómito y mareos.   |        |     |      |     |      |                   |           |                   |                   |                   |                   |     |
| Tricloroeteno                   | C-3              | Se le encuentra en efluentes industriales.<br>La intoxicación ocurre principalmente por inhalación, provoca depresión del sistema nervioso central, cefalea, mareos, somnolencia, náusea, vómito, irritación nasal, de la faringe, laringe y ojos.  |        | X   |      | X   | X    |                   |           | X                 | ---               | ---               | ---               | --- |
| Tetracloroeteno                 | C-2B             | Tiene un amplio uso industrial.<br>Es insoluble en agua.<br>Puede formarse como subproducto de la cloración.<br>Sus principales efectos tóxicos ocurren por la inhalación, provoca depresión del sistema nervioso central, es irritante y hepatotóxico.   |        | X   |      | X   | X    |                   | X         |                   | ---               | VAL               | VAL               | --- |
| <b>HIDROCARBUROS AROMÁTICOS</b> |                  |   |        |     |      |     |      |                   |           |                   |                   |                   |                   |     |
| Benceno                         | C-1              | Se le desprende del craqueo del petróleo.<br>Es componente de diversas sustancias fundamentales como vitaminas, azúcares y enzimas.<br>Es ampliamente utilizado en gran diversidad de productos.<br>Llega a los depósitos de agua a través de desagües municipales e industriales.<br>Es contaminante de los cuerpos de agua subterráneos debido a fugas en sitios de depósito de tanques de almacenamiento.<br>Una fuente importante de exposición es el tabaco.<br>La exposición aguda debida a la ingestión o inhalación, suprime al sistema nervioso central, provoca dolor de cabeza, mareos, náusea, convulsiones, coma e incluso la muerte.<br>La exposición aguda al benceno se ha relacionado con anemia aplásica (alteración en la producción de glóbulos blancos y rojos en la médula ósea y otras enfermedades de la sangre).<br>Es un compuesto neurotóxico.<br>Estudios epidemiológicos establecen relaciones entre las alteraciones cromosómicas y la leucemia con la exposición al benceno. |        | X   |      | X   | X    |                   |           | X                 | VAL               | ---               | VAL               | --- |
| Tolueno                         |                  | Es un compuesto insoluble en agua, por lo que flota en la superficie y se volatiliza rápidamente.<br>Sus efectos tóxicos se dan principalmente por inhalación: afectan el aparato respiratorio.   |        | X   |      | X   | X    |                   |           | X                 | ---               | ---               | ---               | --- |

**tabla 4.8 análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable componentes orgánicos**

| PARÁMETRO                                    | CARCINOGENICIDAD                              | EFECTOS NOCIVOS   | FUENTE |     |      |     |      | PRESENCIA EN AGUA |           | CUERPO DE AGUA    |                   |                   |                   |     |
|--|---|---|--------|-----|------|-----|------|-------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----|
|  |   |   | NAT    | IND | AGRI | MAN | AIRE | MUY PROB          | POCO PROB | SUPERFICIAL CRI-1 | SUPERFICIAL CRI-2 | SUBTERRÁNEA CRI-1 | SUBTERRÁNEA CRI-2 |     |
| Xilenos                                      |   | deprimen el sistema nervioso central, daña el hígado y los riñones.<br>No existe evidencia de que produzca cáncer.<br>En la atmósfera urbana el tolueno participa en la formación del ozono.  |        |     |      |     |      |                   |           |                   |                   |                   |                   |     |
|  |   | Es un producto ampliamente utilizado en la industria y productos en para el consumidor.<br>La mayoría de las intoxicaciones fatales son por inhalación.<br>La ingestión de xilenos es poco común, cuando ocurre provoca enfermedades respiratorias graves ya que generalmente la ingestión viene acompañada por inhalación.<br>El xileno no parece ser carcinógeno.                   |        | X   | X    | X   | X    |                   | X         | ---               | ---               | ---               | ---               | --- |
| Etilbenceno                                  | C-2B<br>(el metabolito 7,8-óxido de estireno) | Químico altamente inflamable.<br>Se encuentra en agua como resultado de la contaminación industrial.<br>Se debe evitar el contacto con los ojos y la piel.  |        | X   |      | X   | X    |                   | X         | ---               | ---               | ---               | ---               |     |
| Estireno                                     |   | Derivado del petróleo ampliamente utilizado en una gran variedad de productos.<br>Es absorbido con facilidad por la piel, sistema respiratorio y el aparato gastrointestinal.<br>Tiende a acumularse en el tejido adiposo.<br>Existes evidencia de que el estireno es posiblemente carcinogénico y es mutagénico.<br>Los plásticos de estireno se degradan lentamente en el ambiente. |        | X   |      | X   | X    | X                 |           | VAL               | ---               | VAL               | ---               |     |
| Hydrocarburos aromáticos polinucleares (HAP) | Diferentes para cada compuesto del grupo.     | A aumentado su presencia en el ambiente en general por lo que se ha disminuido su uso.<br>Son precursores de carcinomas.  | X      |     | X    |     |      | X                 |           | ---               | ---               | ---               | ---               |     |
| Benzo[a]pireno                               |   |   |        |     |      |     |      |                   |           |                   |                   |                   |                   |     |
| <b>BENCENOS CLORADOS</b>                     |   |   |        |     |      |     |      |                   |           |                   |                   |                   |                   |     |
| Monoclorobenceno                             |   | Moderadamente tóxico en humanos.<br>Irritante a ojos y nariz.<br>Alta solubilidad en agua: 295 mg/L   |        | X   | X    |     |      | X                 |           | X                 | ---               | ---               | ---               |     |
| 1,2-diclorobenceno                           |   | Es principalmente irritante al sistema respiratorio, la piel y los ojos.<br>Se ha aislado del agua como resultado de la lixiviación de residuos industriales.<br>Es dañino si se ingiere, puede dañar al hígado y los riñones   |        | X   | X    |     |      | X                 |           | X                 | ---               | ---               | ---               |     |
| 1,3-diclorobenceno                           |   | Es contaminante en los residuos industriales.<br>Se ha encontrado en cuerpos de agua, suelos y sedimentos.<br>Soluble en agua.<br>Es dañino sise ingiere.<br>No hay suficiente evidencia de datos   |        | X   |      |     |      |                   |           | X                 | ---               | ---               | ---               |     |

**tabla 4.8 análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable componentes orgánicos**

| PARÁMETRO                            | CARCINOGENICIDAD | EFECTOS NOCIVOS   | FUENTE |     |      |     |      | PRESENCIA EN AGUA |           | CUERPO DE AGUA    |                   |                   |                   |
|--------------------------------------|------------------|---|--------|-----|------|-----|------|-------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                      |                  |   | NAT    | IND | AGRI | MAN | AIRE | MUY PROB          | POCO PROB | SUPERFICIAL CRI-1 | SUPERFICIAL CRI-2 | SUBTERRÁNEA CRI-1 | SUBTERRÁNEA CRI-2 |
| 1,4-diclorobenceno                   | C-2B             | toxicológicos<br>Baja toxicidad aguda<br>Se ha encontrado en cuerpos de agua, suelos y sedimentos.<br>Es tóxico si se ingiere.<br>Irritante a los ojos y a la piel.   |        | X   |      |     |      |                   | X         | ---               | ---               | ---               | ---               |
| Triclorobenceno                      |                  | Es utilizado en la industria y es un subproducto de la cloración en presencia de mococlorobenceno.<br>Toxicidad aguda moderada.<br>No hay pruebas de mutagenicidad, teratogenicidad o carcinogenicidad.<br>No hay datos sobre los efectos por ingestión.  |        | X   |      |     |      |                   | X         | ---               | ---               | ---               | ---               |
| <b>COMPUESTOS ORGÁNICOS DIVERSOS</b> |                  |   |        |     |      |     |      |                   |           |                   |                   |                   |                   |
| Adipato de di-2-etilhexilo           | C-3              | Toxicidad aguda baja<br>NM Poco frecuente en agua. Plastificante.   |        | X   |      |     |      | X                 | X         | ---               | ---               | ---               | ---               |
| Ftalato de di 2 etilhexilo           | C-2B             | Hepatotóxico Plastificante de amplia difusión.  |        | X   |      |     |      | X                 | X         | VAL               | ---               | VAL               | ---               |
| Acrilamida                           | C-2B             | Se absorbe por la piel y provoca irritación, eritema, descamación, alteraciones nerviosas y debilidad muscular.<br>La intoxicación por inhalación provoca fatiga, mareos, somnolencia, irritación de los ojos, ataxia severa.                             |        | X   |      |     |      | X                 |           | ---               | ---               | ---               | ---               |
| Epiclorhidrina                       | C-2A             | Genotóxico y Neurotóxico<br>La exposición ocurre principalmente por inhalación en el área de trabajo.<br>La exposición aguda provoca irritación de las vías respiratorias, piel y ojos, dificultad respiratoria, neumonitis y coloración azul de la piel. |        | X   |      |     |      | X                 |           | ---               | ---               | ---               | ---               |
| Hexaclorobutadieno                   | C-3              | Neurotóxico y genotóxico de rápida absorción cutánea, oral y por inhalación.<br>La intoxicación crónica provoca alteraciones hepáticas y renales.<br>Se ha encontrado en cuerpos de agua, suelos y sedimentos.  |        | X   | X    |     |      | X                 |           | ---               | ---               | ---               | ---               |
| Acido edético                        | ---              | Genotóxico y Nefrotóxico.<br>Presente en efluentes industriales.<br>Es subproducto de la cloración en presencia de compuestos orgánicos.<br>Se ha encontrado en cuerpos de agua, suelos y sedimentos.   |        | X   |      |     |      | X                 | X         | ---               | ---               | ---               | ---               |
| Acido nitrilotriacético              | C-2B             | Poco tóxico y pobremente absorbido por el tracto gastrointestinal.<br>Muy soluble en agua<br>Toxicidad aguda baja<br>NG   |        | X   |      |     |      | X                 |           | ---               | ---               | ---               | ---               |

**tabla 4.8 análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable componentes orgánicos**

| PARÁMETRO                       | CARCINOGENICIDAD | EFECTOS NOCIVOS  | FUENTE |     |      |     |      | PRESENCIA EN AGUA |           | CUERPO DE AGUA |       |             |       |
|---------------------------------|------------------|--|--------|-----|------|-----|------|-------------------|-----------|----------------|-------|-------------|-------|
|                                 |                  |  | NAT    | IND | AGRI | MAN | AIRE | MUY PROB          | PÓCO PROB | SUPERFICIAL    |       | SUBTERRÁNEA |       |
| COMPUESTOS ORGÁNICOS DEL ESTANO |                  |  |        |     |      |     |      |                   |           | CRI-1          | CRI-2 | CRI-1       | CRI-2 |
| Dialquilos de estaño            |                  | Lixiviación, presente en tuberías de PCV.  |        | X   |      | X   |      |                   | X         | ---            | ---   | ---         | ---   |
| Oxido de tributilestaño         |                  | Lixiviación, tóxico para la vida acuática. Biocida.  |        | X   |      | X   |      |                   | X         | ---            | ---   | ---         | ---   |
| <b>PLAGUICIDAS</b>              |                  |  |        |     |      |     |      |                   |           |                |       |             |       |
| Aldicloro                       | C-2B             | Reacciona con el agua en condiciones fuertemente ácidas o alcalinas.<br>Es ligeramente soluble en agua<br>Los cuerpos de agua se contaminan por escurrimientos agrícolas.<br>No hay evidencia disponible de cáncer en humanos.<br>Pruebas de mutagenicidad negativas.<br>Existen pruebas de que causa defectos en la reproducción.<br>Tiene una baja toxicidad oral, en pruebas de laboratorio se observó hepatotoxicidad y síndrome de degeneración uveal.<br>Otros estudios han demostrado que provoca tumores en el estómago, la tiroides y la nariz.   |        | X   | X    |     |      | X                 |           | VAL            | ---   | VAL         | ---   |
| Aldicarb                        | C-3              | Plaguicida soluble en agua.<br>Veneno sistémico absorbido por las raíces y hojas de las plantas.<br>Resistente a la degradación.<br>Es lixiviable y entra en cuerpos de agua subterráneos.<br>Tiene una vida media de 10 semanas.<br>Los organismos lo absorben rápidamente y es excretado después de 24 a 48 h.<br>Los síntomas de envenenamiento incluyen: mareo, debilidad muscular, cólicos estomacales, diarrea, sudación excesiva, náusea, vómito, visión borrosa, convulsiones.<br>No hay pruebas de su mutagenicidad.<br>Es probable que existe una relación entre efectos en la reproducción y el agua de pozos contaminados. |        | X   | X    |     |      |                   | X         | ---            | ---   | ---         | ---   |
| Aldrina y dieldrina             | C-3              | Plaguicida persistente poco soluble en agua.<br>Se acumula en tejidos grasos de los organismos vivos.<br>Se concentra en la cadena alimenticia.<br>Entra al cuerpo a través de la piel, los ojos, los pulmones y el tracto gastrointestinal.<br>Son tóxicos para el sistema nervioso de mamíferos e insectos.<br>Provocan irritabilidad, dolor de cabeza, náusea, temblores, convulsiones, coma y muerte.  |        | X   | X    |     |      |                   | X         | ---            | ---   | ---         | ---   |

**tabla 4.8 análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable componentes orgánicos**

| PARÁMETRO                              | CARCINOGENICIDAD | EFECTOS NOCIVOS  | FUENTE |     |      |     |      | PRESENCIA EN AGUA |           | CUERPO DE AGUA    |                   |                   |                   |     |
|--|------------------|--|--------|-----|------|-----|------|-------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----|
|  |                  |  | NAT    | IND | AGRI | MAN | AIRE | MUY PROB          | POCO PROB | SUPERFICIAL CRI-1 | SUPERFICIAL CRI-2 | SUBTERRÁNEA CRI-1 | SUBTERRÁNEA CRI-2 |     |
| Atrazina                               | C-2B             | No hay pruebas concluyentes de mutagenicidad. Se fija fuertemente al suelo y sedimentos. Se ha encontrado en diversos cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Puede ocasionar irritación, eritema, etc.  |        | X   | X    |     |      |                   | X         |                   | VAL               | ---               | VAL               | --- |
| Bentazona                              |                  | Herbicida de amplia solubilidad en agua, móvil y persistente. Tóxico por inhalación y al contacto con la piel y si es ingerido. Es muy móvil y se ha encontrado en cuerpos de agua, suelos y sedimentos.   |        | X   | X    |     |      |                   | X         |                   | VAL               | ---               | VAL               | --- |
| Bromoxinil                             |                  | Solubilidad de 130 mg/L Tóxico por inhalación y al contacto con la piel y si es ingerido.  |        | X   | X    |     |      |                   | X         |                   | ---               | ---               | ---               | --- |
| Carbofurano                            |                  | Insecticida móvil y persistente.   |        | X   | X    | X   |      |                   | X         |                   | ---               | ---               | ---               | --- |
| Carbaril                               | C-3              | Las vías de contacto con el hombre son básicamente la inhalación y la asimilación cutánea. Alta solubilidad en H <sub>2</sub> O 120 mg/L. Se descompone con facilidad a la luz solar en condiciones acuosas. No es muy móvil en tierra. Los mamíferos lo metabolizan a sustancias menos tóxicas y lo excretan en la orina. |        |     | X    |     |      |                   | X         |                   | ---               | ---               | ---               | --- |
| Cianacina                              |                  | 171 mg/L   |        |     | X    |     |      |                   | X         |                   | ---               | ---               | ---               | --- |
| Clordano                               | C-2B             | Hepatotóxico Nefrotóxico Inmóvil y desaparece fácilmente.  |        | X   | X    | X   |      |                   | X         |                   | ---               | ---               | ---               | --- |
| Clorpirifos                            |                  | 2 mg/L altamente tóxico por inhalación y absorción cutánea.  |        |     |      |     |      |                   |           |                   | ---               | ---               | ---               | --- |
| Clortolurón                            |                  | Toxicidad baja NG Móvil con lenta degradación.   |        | X   | X    |     |      |                   | X         |                   | ---               | ---               | ---               | --- |
| DDT                                    | C-2B             | Se ha discontinuado su uso. Se acumula en tejidos animales. Tóxico si es ingerido, puede ocasionar daños irreversibles. Disruptor endócrino Persistente y se absorbe rápidamente.  |        | X   | X    | X   |      |                   | X         |                   | ---               | ---               | ---               | --- |
| 1,2-dibromo-3-cloropropano             | C-2B             | Se ha encontrado en cuerpos de agua, suelos y sedimentos. Puede ocasionar daños genéticos y cáncer. La exposición prolongada por inhalación o ingestión puede provocar serios daños.   |        | X   | X    | X   |      |                   | X         |                   | VAL               | ---               | VAL               | --- |
| Acido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4 D) | C-2B             | Se ha encontrado en cuerpos de agua, suelos y sedimentos. Irritante a los ojos y la piel. Dañino si es ingerido.   |        | X   | X    |     |      |                   | X         |                   | ---               | ---               | ---               | --- |

**tabla 4.8 análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable componentes orgánicos**

| PARÁMETRO                   | CARCINOGENICIDAD | EFECTOS NOCIVOS  | FUENTE |     |      |     |      | PRESENCIA EN AGUA |           | CUERPO DE AGUA |       |             |       |
|-----------------------------|------------------|--|--------|-----|------|-----|------|-------------------|-----------|----------------|-------|-------------|-------|
|                             |                  |  | NAT    | IND | AGRI | MAN | AIRE | MUY PROB          | POCO PROB | SUPERFICIAL    |       | SUBTERRÁNEA |       |
|                             |                  |  |        |     |      |     |      |                   |           | CRI-1          | CRI-2 | CRI-1       | CRI-2 |
| 1,2-dicloro propano         | C-3              | Irritante a la piel.<br>Dañino si es ingerido o inhalado.<br>Se ha encontrado en cuerpos de agua, suelos y sedimentos.<br>Por ingestión daña principalmente al hígado y los riñones.   |        | X   | X    | X   |      |                   | X         |                |       |             |       |
| 1,3-dicloropropano          |                  | No se encuentra en agua.<br>Existe poca evidencia de su toxicología.   |        | X   | X    |     |      |                   | X         |                |       |             |       |
| 1,3-dicloropropeno          | C-2B             | Se ha encontrado en cuerpos de agua, suelos y sedimentos.<br>Irritante a los ojos, piel y el sistema respiratorio.<br>Soluble.   |        |     | X    |     | X    |                   | X         |                |       |             |       |
| Diazinon                    | C-3              | Solubilidad: 40 mg/L<br>Irritante de la piel y los ojos.<br>Muy tóxico para las aves por su ingestión.   |        |     | X    |     |      |                   | X         |                |       |             |       |
| EDB<br>Dibromuro de etileno | C-3              | Líquido denso y estable<br>Tóxico agudo por inhalación y contacto.<br>Irrita las membranas mucosas.<br>Es mutágeno y teratogénico.<br>Persistente en el suelo.   |        |     | X    |     |      |                   | X         |                |       |             |       |
| 1,2-dibromoetano            |                  | Persistente en el suelo.<br>Fotodegradable y volátil.  |        | X   | X    |     | X    |                   | X         |                |       |             |       |
| Dibromuro de etileno, DBE   | C-2A             |  |        | X   | X    |     | X    |                   | X         |                |       |             |       |
| Dicamba                     |                  | Solubilidad en agua: 6.5 g/L<br>No es bioacumulable en especies animales de manera evidente.<br>Se metaboliza con lentitud.<br>Es estable, resistente a la degradación por ácidos, álcalis, luz, oxidación y agua.<br>Es persistente en el suelo (3-12 meses).<br>Es degradable por acción microbiana en función de las condiciones de pH, humedad y temperatura.<br>Es una sustancia no mutagénica.<br>No existen pruebas concluyentes de su carcinogenicidad.<br>Es altamente tóxico para ciertas variedades de plantas. |        |     | X    |     |      |                   | X         |                |       |             |       |
| Dicuat                      |                  | Solubilidad en agua: 700 g/L<br>Irritante a los ojos, al sistema respiratorio y a la piel.<br>Tóxico al contacto con la piel y si es ingerido.<br>No es acumulable en los pulmones.<br>Se acumula en los riñones y se excreta sin metaboliza en la orina o en las heces fecales.<br>No es removido durante el tratamiento biológico de lodos.  |        |     | X    |     |      |                   | X         |                |       |             |       |
| Dimetoato                   |                  | Estable en soluciones neutras y alcalinas.<br>Se ha encontrado en cuerpos de agua, suelos y  |        |     | X    |     |      |                   | X         |                |       |             |       |

**tabla 4.8 análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable componentes orgánicos**

| PARÁMETRO                      | CARCINOGENICIDAD         | EFECTOS NOCIVOS   | FUENTE |     |      |     |      | PRESENCIA EN AGUA |           | CUERPO DE AGUA    |                   |                   |                   |  |
|--------------------------------|--------------------------|---|--------|-----|------|-----|------|-------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
|                                |                          |   | NAT    | IND | AGRI | MAN | AIRE | MUY PROB          | POCO PROB | SUPERFICIAL CRI-1 | SUPERFICIAL CRI-2 | SUBTERRÁNEA CRI-1 | SUBTERRÁNEA CRI-2 |  |
|                                |                          | sedimentos.<br>Solubilidad de 25 g/L<br>Irritante de la piel y los ojos<br>Dañino sise ingiere o es inhalado.   |        |     |      |     |      |                   |           |                   |                   |                   |                   |  |
| Dinoseb                        |                          | Solubilidad en agua: 52 mg/L<br>Tóxico al contacto con la piel y si es ingerido.<br>Irritante a los ojos.<br>Inhibe la biodegradación por los microorganismos del suelo a las concentraciones de aplicación.<br>Puede ser degradado fotolíticamente.<br>En agua bajo luz natural tiene una vida media de 14-18 d. |        |     | X    |     |      |                   |           | X                 |                   |                   |                   |  |
| Endotal                        |                          | Solubilidad en agua: 100 g/L<br>Dañino al contacto con la piel.<br>Tóxico si es ingerido.<br>Irritante a los ojos, al sistema respiratorio y a la piel.   |        |     | X    |     |      |                   |           | X                 |                   |                   |                   |  |
| Glifosato                      |                          | Ligeramente tóxico para organismos terrestres y acuáticos.<br>Muy tóxico para las plantas en general.<br>Toxicidad oral y cutánea muy bajas.<br>Se biodegrada rápidamente.<br>No hay pruebas contundentes de su carcinogenicidad, mutagenicidad y teratogenicidad.  |        |     | X    |     |      |                   |           | X                 |                   |                   |                   |  |
| Heptacloro y heptacloroepóxido | C-2B                     | Insecticida de amplio espectro Neurotóxico y Nefrotóxico<br>Se ha encontrado en cuerpos de agua, suelos y sedimentos.<br>Tóxico al contacto con la piel y si es inhalado.<br>Peligro de efectos irreversibles.  |        |     | X    | X   |      |                   | X         |                   |                   |                   |                   |  |
| Hexaclorobenceno               | C-2B                     | La intoxicación se presenta principalmente por la inhalación del compuesto o por la ingesta de alimentos contaminados.<br>No se encuentra en agua de bebida.<br>Su intoxicación provoca fotosensibilidad, hiperpigmentación, atrofia de la piel, pérdida de peso.   |        |     | X    | X   | X    |                   |           | X                 |                   |                   |                   |  |
| Hexaclorociclopentadieno       | C-3                      | Solubilidad en agua: 0.8 mg/L<br>Sustancia tóxica   |        |     | X    |     |      |                   |           | X                 |                   |                   |                   |  |
| Isoproturón                    | Promotor tumoral         | Baja persistencia e inmóvil.<br>Toxicidad aguda baja<br>NG  |        |     | X    |     |      |                   |           | X                 |                   |                   |                   |  |
| Lindano                        | C-2B<br>Promotor tumoral | Persistente, poca afinidad por el agua y es un contaminante ubicuo.<br>NG<br>Hepatotóxico   |        | X   | X    | X   |      |                   |           | X                 |                   |                   |                   |  |

**tabla 4.8 análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable componentes orgánicos**

| PARÁMETRO       | CARCINOGENICIDAD | EFECTOS NOCIVOS  | FUENTE |     |      |     |      | PRESENCIA EN AGUA |           | CUERPO DE AGUA    |                   |                   |                   |
|-----------------|------------------|--|--------|-----|------|-----|------|-------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                 |                  |  | NAT    | IND | AGRI | MAN | AIRE | MUY PROB          | POCO PROB | SUPERFICIAL CRI-1 | SUPERFICIAL CRI-2 | SUBTERRÁNEA CRI-1 | SUBTERRÁNEA CRI-2 |
| MCPA            | C-2B             | Soluble en agua, muy móvil y poco persistente.<br>NG<br>Tóxico hepatotóxico  |        |     | X    |     |      |                   | X         | ---               | ---               | ---               | ---               |
| Malatión        |                  | Ligeramente tóxico para el hombre.<br>En combinación con otros plaguicidas incrementa sus efectos tóxicos.<br>No hay claras evidencias de su mutragenicidad.   |        |     | X    |     |      |                   | X         | ---               | ---               | ---               | ---               |
| Metoxicloro     | C-3              | Insecticida inmóvil, poco soluble.<br>NG   |        |     | X    |     |      |                   | X         | ---               | ---               | ---               | ---               |
| Metolacloro     |                  | Disruptor endócrino  |        |     | X    |     |      |                   | X         | ---               | ---               | ---               | ---               |
| Molinato        |                  | Muy móvil pero poco probable.<br>Contaminante de agua subterránea limitado a zonas arroceras.  |        |     | X    |     |      |                   | X         | ---               | ---               | ---               | ---               |
| Paraquat        | C-3              | Mutágeno débil.<br>Se degrada con lentitud y forma compuestos menos tóxicos. Al ser expuesto a la luz se degrada más rápidamente.<br>Envenenamiento por ingestión, inhalación o inyección produce edema pulmonar.<br>Es altamente irritante para el revestimiento del sistema respiratorio y digestivo.                                    |        |     | X    |     |      |                   | X         | ---               | ---               | ---               | ---               |
| Paratión        | C-3              | Tiene alta toxicidad aguda para mamíferos expuestos por vía oral o cutánea.<br>Afecta la transmisión de señales nerviosas.<br>Resisten a la degradación en condiciones neutras o ácidas.<br>Poco soluble en agua.<br>Muy persistente.  |        |     | X    |     |      |                   | X         | ---               | ---               | ---               | ---               |
| Pendimetalina   |                  | Inmóvil, poco lixiviable.  |        |     | X    |     |      |                   | X         | ---               | ---               | ---               | ---               |
| Pentaclorofenol |                  | Es utilizado principalmente en la conservación de la madera.<br>Es una sustancia irritante que afecta principalmente por la inhalación.<br>La irritación aguda provoca irritación de la piel, ojos y vías respiratorias, sudoración, cefalea, debilidad, náuseas.<br>La intoxicación crónica provoca pérdida de peso, anemia y leucopenia. |        | X   |      |     | X    | X                 |           | ---               | ---               | ---               | ---               |
| Permetrina      |                  | Afinidad en suelo pero no en agua. No es acumulativo.  |        | X   | X    |     |      |                   | X         | ---               | ---               | ---               | ---               |
| Propanil        |                  | Móvil.   |        |     | X    |     |      |                   | X         | ---               | ---               | ---               | ---               |
| Piridato        |                  | Poco soluble y poco móvil.   |        |     | X    |     |      |                   | X         | ---               | ---               | ---               | ---               |
| Simazina        |                  | Resistente a los procesos fisicoquímicos de disipación.  |        |     | X    |     |      | X                 |           | VAL               | ---               | VAL               | ---               |
| Trifluralina    |                  | Herbicida poco soluble en agua y persistente en suelos.  |        |     | X    |     |      |                   | X         | ---               | ---               | ---               | ---               |
| 2,4-DB          |                  | Herbicida  |        |     | X    |     |      |                   | X         | ---               | ---               | ---               | ---               |
| Dicloroprop     |                  | No se ha evaluado el potencial carcinógeno   |        |     | X    |     |      |                   | X         | ---               | ---               | ---               | ---               |

**tabla 4.8 análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable componentes orgánicos**

| PARÁMETRO                             | CARCINOGENICIDAD | EFECTOS NOCIVOS   | FUENTE |     |      |     |      | PRESENCIA EN AGUA |           | CUERPO DE AGUA    |                   |                   |                   |     |
|---------------------------------------|------------------|---|--------|-----|------|-----|------|-------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----|
|                                       |                  |   | NAT    | IND | AGRI | MAN | AIRE | MUY PROB          | POCÓ PROB | SÚPERFICIAL CRI-1 | SÚPERFICIAL CRI-2 | SUBTERRÁNEA CRI-1 | SUBTERRÁNEA CRI-2 |     |
| Fenoprop                              |                  | No se ha evaluado el potencial carcinógeno.   |        |     |      |     |      |                   |           |                   |                   |                   |                   |     |
| MCPB                                  |                  | No se ha evaluado el potencial carcinógeno.   |        |     | X    |     |      |                   |           | X                 |                   |                   |                   |     |
| 2,4,5-T                               |                  | No se ha evaluado el potencial carcinógeno.   |        |     | X    |     |      |                   |           | X                 |                   |                   |                   |     |
| <b>DESINFECTANTES Y SUS PRODUCTOS</b> |                  |   |        |     |      |     |      |                   |           |                   |                   |                   |                   |     |
| Cloraminas                            |                  | Umbral de olor y sabor.   |        |     |      |     |      |                   |           |                   |                   |                   |                   |     |
| Cloro                                 | 3                | Se descompone rápidamente.  |        | X   |      |     | X    |                   |           |                   |                   |                   |                   |     |
| Dióxido de cloro                      |                  | Se descompone rápidamente.  |        | X   |      |     | X    |                   |           |                   |                   |                   |                   |     |
| Iodo                                  |                  | No se recomienda para desinfección prolongada.  |        | X   |      |     | X    |                   |           |                   |                   |                   |                   |     |
| Bromato                               | 2B               | Bajas concentraciones en agua.  |        | X   |      |     |      |                   |           |                   |                   |                   |                   |     |
| Clorato                               |                  | Difícil de medir.   |        | X   |      |     |      |                   |           |                   |                   |                   |                   |     |
| Clorito                               | 3                | No se encuentra en fuentes de agua.   |        | X   |      |     |      |                   |           |                   |                   |                   |                   |     |
| <b>CLOROFENOLES</b>                   |                  |   |        |     |      |     |      |                   |           |                   |                   |                   |                   |     |
| 2-clorofenol                          |                  | Se encuentra en el agua como subproducto.   |        | X   |      |     | X    |                   |           |                   | X                 |                   |                   |     |
| 2,4-diclorofenol                      |                  | Se encuentra en el agua como subproducto.   |        | X   |      |     | X    |                   |           |                   | X                 |                   |                   |     |
| 2,4,6-triclorofenol                   | 2B               | Se encuentra en el agua como subproducto.   |        | X   |      |     | X    |                   |           |                   | X                 |                   |                   |     |
| Formaldehído                          | 2A               | Se encuentra en el agua como subproducto.   |        | X   |      |     |      | X                 |           |                   | X                 | VAL               |                   | VAL |
| MX                                    |                  | Se absorbe rápidamente.   |        | X   |      |     |      |                   |           |                   | X                 |                   |                   |     |
| <b>TRIHALOMETANOS</b>                 |                  |   |        |     |      |     |      |                   |           |                   |                   |                   |                   |     |
| Bromoformo                            |                  | Se absorbe rápidamente en el tracto gastrointestinal. Lesiones hepáticas y renales, datos de genotoxicidad ambiguos |        |     |      |     | X    |                   |           |                   | X                 |                   |                   |     |
| Dibromoclorometano                    |                  | Se absorbe rápidamente en el tracto gastrointestinal. Lesiones hepáticas y renales, datos de genotoxicidad ambiguos |        |     |      |     | X    |                   |           |                   | X                 |                   |                   |     |
| Bromodichlorometano                   |                  | Se absorbe rápidamente en el tracto gastrointestinal. Lesiones hepáticas y renales, datos de genotoxicidad ambiguos |        |     |      |     | X    |                   |           |                   | X                 |                   |                   |     |
| Cloroformo                            |                  | Se absorbe rápidamente en el tracto gastrointestinal. Lesiones hepáticas y renales, datos de genotoxicidad ambiguos |        |     |      |     | X    |                   |           |                   | X                 |                   |                   |     |
| <b>ACIDOS ACÉTICOS CLORADOS</b>       |                  |   |        |     |      |     |      |                   |           |                   |                   |                   |                   |     |
| Acido monocloroacético                |                  | Producto secundario de oxidación, presente en agua desinfectada.  |        |     |      |     | X    |                   |           |                   | X                 |                   |                   |     |
| Acido dicloroacético                  |                  | Se absorbe fácilmente.  |        |     |      |     | X    |                   |           |                   | X                 |                   |                   |     |
| Acido tricloroacético                 |                  | Presente en agua potable y no hay información suficiente.   |        |     |      |     | X    |                   |           |                   | X                 | VAR               |                   | VAR |
| Hidrato de cloral                     |                  | No hay información suficiente.  |        |     |      |     |      |                   |           |                   | X                 |                   |                   |     |
| Cloroacetonas                         |                  | No hay información suficiente.  |        |     |      |     | X    |                   |           |                   | X                 |                   |                   |     |
| <b>ACETONITRILOS HALOGENADOS</b>      |                  |   |        |     |      |     |      |                   |           |                   |                   |                   |                   |     |
| Dicloroacetónitrilo                   | 3                | Absorción rápida, no hay datos de los efectos a largo plazo.  |        |     |      |     | X    |                   |           |                   | X                 |                   |                   |     |
| Dibromoacetónitrilo                   | 3                | Absorción rápida, no hay datos de los efectos a   |        |     |      |     | X    |                   |           |                   | X                 |                   |                   |     |

**tabla 4.8 análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable componentes orgánicos**

| PARÁMETRO            | CARCINOGENICIDAD | EFECTOS NOCIVOS   | FUENTE |     |      |     |      | PRESENCIA EN AGUA |           | CUERPO DE AGUA    |                   |                   |                   |     |
|----------------------|------------------|---|--------|-----|------|-----|------|-------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----|
|                      |                  |   | NAT    | IND | AGRI | MAN | AIRE | MUY PROB          | POCO PROB | SUPERFICIAL CRI-1 | SUPERFICIAL CRI-2 | SUBTERRÁNEA CRI-1 | SUBTERRÁNEA CRI-2 |     |
|                      |                  | largo plazo.  |        |     |      |     |      |                   |           |                   |                   |                   |                   |     |
| Bromocloroacetona    | 3                | Absorción rápida, no hay datos de los efectos a largo plazo.                |        |     |      |     |      |                   |           | X                 | ---               | ---               | ---               | --- |
| Tricloroacetona      | 3                | Absorción rápida, no hay datos de los efectos a largo plazo.                |        |     |      |     |      |                   |           | X                 | ---               | ---               | ---               | --- |
| Cloruro de cianógeno | 3                | Subproducto de halogenación, existen pocos datos de toxicidad por vía oral. |        |     |      |     |      |                   |           | X                 | ---               | ---               | ---               | --- |
| Cloropirrina         | 3                | Subproducto de halogenación, existen pocos datos de toxicidad por vía oral. |        |     |      |     |      |                   |           | X                 | ---               | ---               | ---               | --- |

- C-1 El agente (o la mezcla) es carcinógeno para los seres humanos. Las circunstancias de exposición implican exposiciones carcinógenas para los seres humanos.
- C-2A El agente (o la mezcla) es probablemente carcinógeno para los seres humanos. Las circunstancias de exposición implican exposiciones probablemente carcinógenas para los seres humanos.
- C-2B El agente (o la mezcla) es posiblemente carcinógeno para los seres humanos. Las circunstancias de exposición implican exposiciones posiblemente carcinógenas para los seres humanos.
- C-3 El agente (o la mezcla o las circunstancias de exposición) no puede clasificarse sobre la base de su carcinogenicidad para los seres humanos.
- C-4 El agente (o la mezcla o las circunstancias de exposición) probablemente no es carcinógeno para los seres humanos.

**tabla 4.9 análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable componentes relacionados con la aceptación**

| PARÁMETRO         | EFECTOS NEGATIVOS   | FUENTE |     |     |      |     |     |      | CUERPO DE AGUA |       |             |       |
|-------------------|---|--------|-----|-----|------|-----|-----|------|----------------|-------|-------------|-------|
|                   |   | NAT    | MUN | IND | AGRI | MIN | MAN | AIRE | SUPERFICIAL    |       | SUBTERRÁNEA |       |
|                   |   |        |     |     |      |     |     |      | CRI-1          | CRI-2 | CRI-1       | CRI-2 |
| Acido sulfhidrico | Poco probable en agua, su umbral de olor se encuentra debajo de las concentraciones que pueden hallarse en el agua por lo que es poco factible que se ingiera en dosis dañinas.   |        |     | X   |      |     |     | X    | ---            | ---   | ---         | ---   |
| Aluminio          | Se absorbe poco por el tracto gastrointestinal y los riñones lo excretan con rapidez.<br>La principal exposición ocurre por los alimentos y bebidas.<br>La acción disolvente de la lluvia ácida en suelos, rocas y sedimentos incrementan las concentraciones de Al en aguas.<br>Parece no ser un nutriente esencial para los humanos.<br>A pH neutro el Al no se disuelve, en aguas ácidas o alcalinas el Al se disuelve con facilidad.<br>El Al colorea en presencia de Fe y Mn.<br>Las concentraciones de Al en agua son función de la concentración original de la fuente, la cantidad de coagulante utilizada en el tratamiento y la eficiencia del sistema de filtración.         | X      |     | X   |      |     |     | X    |                |       |             |       |
| Amoniaco          | No es tóxico en las concentraciones en que se encuentra en el agua.<br>Altas concentraciones intervienen con la desinfección del agua, contribuyendo a la formación de nitritos.<br>Provoxa olor y sabor desagradables.<br>La concentración de amoniaco se incrementa en presencia de residuos orgánicos.<br>Presenta mayores problemas de toxicidad por inhalación (irrita los tejidos pulmonares, en altas concentraciones pueda provocar edema pulmonar, neumonía)<br>El contacto con los ojos puede provocar daño permanente y ceguera total.<br>El escurrimiento de fertilizantes y nitratos puede afectar las concentraciones de amoniacos en aguas superficiales y subterráneas. | X      |     | X   | X    |     |     |      | ---            | ---   | ---         | ---   |
| Cloruro           | Sus principales efectos tienen que ver con efectos estéticos negativos en el agua.<br>Acelera la corrosión del Fe y otros metales en concentraciones de 50 mg/L.  |        |     | X   |      |     |     |      | ---            | ---   | ---         | ---   |
| Cobre             | Es detectable por sabor en concentraciones > a 200 mg/L.<br>Sabor desagradable, pero al consumidor se puede habituar.<br>Dificulta el uso para agua de uso doméstico y aumenta la corrosión<br>Ver tablade parámetros inorgánicos.  |        |     | X   |      |     |     |      | ---            | ---   | ---         | ---   |
| Dureza            | Sujeto a aceptación local y aumenta la corrosión.<br>Es función de la presencia de diversos iones, principalmente Ca y Mg y en menor medida de Ba, Fe, Mn, Sr, Zn, etc<br>No hay evidencia convincente de que la dureza tenga efectos adversos en la salud.<br>Existe evidencia limitada de que protege contra cierto tipo de enfermedades (anacefalia y algunos tipos de cáncer).<br>Dureza > a 200 mg/L causa deposición en el sistema de distribución, concentraciones < a 100 mg/L tienden a causar corrosión en presencia de ciertos metales<br>Existe información limitada sobre su relación con enfermedades cardíacas.  | X      |     |     |      |     |     |      | ---            | VAL   | ---         | VAL   |
| Hierro            | Es muy abundante en la naturaleza generalmente formando diversos compuestos en sus dos estados de oxidación Fe (III) y Fe (II).<br>Formación de bacterias de hierro.<br>Es elemental para el organismo humano.<br>Concentraciones de 40 mg/kg de peso corporal provocan la muerte.<br>Imparte coloración al agua.<br>Sus principales efectos nocivos tienen que ver con la coloración del agua  | X      |     | X   |      |     |     |      | ---            | VAL   | ---         | VAL   |

**tabla 4.9 análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable componentes relacionados con la aceptación**

| PARÁMETRO                 | EFECTOS NEGATIVOS   | FUENTE |     |     |      |     |     |      | CUERPO DE AGUA       |                      |                      |                      |
|---------------------------|---|--------|-----|-----|------|-----|-----|------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                           |   | NAT    | MUN | IND | AGRI | MIN | MAN | AIRE | SUPERFICIAL<br>CRI-1 | SUPERFICIAL<br>CRI-2 | SUBTERRÁNEA<br>CRI-1 | SUBTERRÁNEA<br>CRI-2 |
| Manganeso                 | <p>y la proliferación de bacterias oxidantes de Fe<sup>2+</sup> a Fe<sup>3+</sup>.</p> <p>Se acumula en depósitos.</p> <p>Es un elemento esencial para los humanos y animales.</p> <p>Es un elemento muy abundante.</p> <p>Los cuerpos de agua se contaminan por efluentes industriales y lavado de sedimentos.</p> <p>Sus principales efectos nocivos tienen que ver con aspectos estéticos del agua</p>   | X      |     | X   |      |     |     |      | ---                  | VAL                  | ---                  | VAL                  |
| pH                        | <p>Parámetro operativo e indicativo de la calidad del agua.</p>   | X      | X   | X   |      |     | X   | VAL  | ---                  | VAL                  | ---                  | ---                  |
| Sodio                     | <p>La ingesta de grandes cantidades de sodio puede agudizar ciertas condiciones de algunas enfermedades</p> <p>Es detectable en concentraciones de 135-200 mg/L en función del anión asociado</p> <p>Personas que sufran de hipertensión, enfermedades cardiovasculares o renales deben restringir el consumo de sodio</p> <p>No se justifican daños a la salud. No hay valor guía por criterios sanitarios.</p>  | X      | X   | X   | X    |     |     | ---  | ---                  | ---                  | ---                  |                      |
| Sulfato                   | <p>Altas concentraciones de sulfatos ejercen efectos agudos sobre la salud como la diarrea</p> <p>Los efectos son reversibles ya que el sulfato se excreta rápidamente en la orina.</p> <p>Presenta problemas de sabor y en altas concentraciones provoca corrosión de metales.</p>   | X      | X   |     |      |     |     | ---  | ---                  | ---                  | ---                  |                      |
| Sólidos disueltos totales | <p>Los sólidos disueltos totales se son una medida de diversas sales disueltas en el agua, asimismo existe una relación directamente proporcional con la conductividad eléctrica.</p> <p>Se encuentra relacionados con la corrosión y dureza del agua.</p> <p>Bajas concentraciones de SDT provocan un sabor insipido al agua, por el contrario altas concentraciones le imparten un sabor desagradable y pueden afectar principalmente a los riñones. Algunos de los efectos fisiológicos de altas concentraciones de SDT son: efectos laxativos con concentraciones altas de sulfatos de sodio y potasio), efectos en pacientes cardiacos o con hipertensión a causa del sodio.</p> | X      | X   |     |      |     | X   | ---  | VAL                  | ---                  | VAL                  |                      |
| Zinc                      | <p>Imparte sabor astringente y desagradable al agua.</p> <p>Elemento esencial que en exceso ocasiona problemas de debilidad muscular, dolor, irritabilidad, náuseas, puede influir en el metabolismo de Fe y Cu por el organismo.</p> <p>Los sistemas de tuberías pueden incrementar las concentraciones de Zn.</p>   |        |     |     |      |     |     |      |                      |                      |                      |                      |
| Físicos                   | <p>Sea asociada con la presencia de materia coloidal</p> <p>Está influenciado por la presencia de Fe, Mn, ácidos húmicos y fúlvicos.</p> <p>El material orgánico estimula el crecimiento de microorganismos responsables del color.</p>   | X      | X   | X   |      |     |     | ---  | VAL                  | ---                  | VAL                  |                      |
| Color                     | <p>No tiene efectos directos sobre la salud</p> <p>No hay valor guía basado en criterios sanitarios</p> <p>Producto secundario de tratamiento.</p>  | X      |     | X   |      |     |     | ---  | ---                  | ---                  | ---                  |                      |
| Sabor                     | <p>Puede impartir olores desagradables a las bebidas y alimentos preparados con este agua.</p>  | X      |     | X   |      |     |     | ---  | ---                  | ---                  | ---                  |                      |
| Olor                      | <p>Puede ser indicador de la presencia de sustancias peligrosas en el agua.</p> <p>Sus orígenes pueden ser efluentes industriales.</p> <p>No hay valor guía basado en criterios sanitarios</p> <p>Agreva los problemas de sabor, olor y corrosión</p>   | X      |     | X   |      |     |     | ---  | ---                  | ---                  | ---                  |                      |
| Temperatura               | <p>La turbiedad no causa directamente efectos nocivos sobre la salud.</p> <p>Es asociada con efectos nocivos debido a la contaminación microbiológica o la ingesta de sustancias nocivas unidas a la materia particulada</p> <p>No hay valor guía basado en criterios sanitarios</p>  | X      | X   | X   | X    |     | X   | ---  | VAL                  | ---                  | VAL                  |                      |

**tabla 4.9 análisis de los criterios de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable componentes relacionados con la aceptación**

| PARÁMETRO                                 | EFECTOS NEGATIVOS  | FUENTE |     |     |      |     |     |      | CUERPO DE AGUA |       |             |       |
|---|--|--------|-----|-----|------|-----|-----|------|----------------|-------|-------------|-------|
|   |  | NAT    | MUN | IND | AGRI | MIN | MAN | AIRE | SUPERFICIAL    |       | SUBTERRÁNEA |       |
|   |  |        |     |     |      |     |     |      | CRI-1          | CRI-2 | CRI-1       | CRI-2 |
| Turbiedad                                 | Tratamiento insuficiente, estimula el crecimiento de bacterias<br>Influye en la aceptación por el olor. Riesgo sanitario a concentraciones muy altas   |        |     | X   |      |     |     |      |                |       |             |       |
| Componentes orgánicos                     | Influye en la aceptación por el olor Riesgo sanitario a concentraciones muy altas  |        |     | X   |      |     |     |      |                |       |             |       |
| Tolueno                                   | Influye en la aceptación por el olor Riesgo sanitario a concentraciones muy altas  |        |     | X   |      |     |     |      |                |       |             |       |
| Xilenos                                   | Influye en la aceptación por el olor y sabor Riesgo sanitario a concentraciones muy altas  |        |     | X   |      |     |     |      |                |       |             |       |
| Etilbenceno                               | Riesgo sanitario a concentraciones muy altas<br>Influye en la aceptación por el olor y sabor   |        |     | X   |      |     |     |      |                |       |             |       |
| Estireno                                  | Riesgo sanitario a concentraciones muy altas<br>Influye en la aceptación por el olor y sabor   |        |     | X   |      |     |     |      |                |       |             |       |
| Monoclorobenceno                          | Riesgo sanitario a concentraciones muy altas<br>Influye en la aceptación por el olor y sabor   |        |     | X   |      |     |     |      |                |       |             |       |
| 1,2-Diclorobenceno                        | Riesgo sanitario a concentraciones muy altas<br>Influye en la aceptación por el olor y sabor   |        |     | X   |      |     |     |      |                |       |             |       |
| 1,4-Diclorobenceno                        | Riesgo sanitario a concentraciones muy altas<br>Influye en la aceptación por el olor   |        |     | X   |      |     |     |      |                |       |             |       |
| Triclorobenceno                           | Puede provocar la formación de cloraminas.<br>En presencia de compuestos orgánicos puede dar lugar a la formación de trihalometanos.<br>Riesgo sanitario a concentraciones muy altas<br>Influye en la aceptación por el olor y sabor del agua. |        |     | X   |      |     |     | X    |                |       |             |       |
| Detergentes sintéticos                    | Riesgo sanitario a concentraciones muy altas<br>Influye en la aceptación por el olor   |        |     | X   |      |     |     | X    |                |       |             |       |
| Desinfectantes y productos desinfectantes | Riesgo sanitario a concentraciones muy altas<br>Influye en la aceptación por el olor   |        |     | X   |      |     |     | X    |                |       |             |       |
| Cloro                                     | Riesgo sanitario a concentraciones muy altas<br>Influye en la aceptación por el olor   |        |     | X   |      |     |     | X    |                |       |             |       |
| 2-Clorofenol                              |  |        |     |     |      |     |     |      |                |       |             |       |
| 2,4-Diclorofenol                          |  |        |     |     |      |     |     |      |                |       |             |       |
| 2,4,6-Triclorofenol                       |  |        |     |     |      |     |     |      |                |       |             |       |

**tabla 4.10 propuesta de criterios para la calidad de agua que va a ser empleada como suministro humano  
componentes radiológicos**

| PARÁMETRO      | EFECTOS NOCIVOS   | FUENTE |     |     |      |           |           | CUERPO DE AGUA |       |             |       |
|----------------|---|--------|-----|-----|------|-----------|-----------|----------------|-------|-------------|-------|
|                |   | NAT    | MED | IND | AIRE | PL<br>NUC | PR<br>NUC | SUPERFICIAL    |       | SUBTERRÁNEA |       |
|                |   |        |     |     |      |           |           | CRI-1          | CRI-2 | CRI-1       | CRI-2 |
| Emisiones alfa | Proviene del decaimiento de núcleos atómicos inestables, formados por 2 neutrones y 2 protones. Pueden ocasionar graves daños si son ingeridos o inhalados.<br>Lesiones en función de la dosis.<br>Presente en el agua de bebida.<br>Proviene de elementos radiactivos como el Uranio (U-238, U-235), Plutonio, Torio, Radón (Rn-222) y el Radio (Ra 226 y Ra 228).   | X      | X   | X   |      | X         | X         | ---            | VAL   | VAL         | ---   |
| Emisiones beta | Son electrones que provienen de núcleos radiactivos. Pueden ocasionar lesiones en función de la dosis.<br>Son más penetrantes que las partículas alfa.<br>Daños a la salud<br>Proviene de elementos como el Tritio (T), Cesio (Cs-137), Estroncio (Sr-90), Yodo (131) y el Carbono (C-14). Contaminan las fuentes de agua por el decaimiento de radionúclidos.  | X      | X   | X   |      | X         | X         | ---            | VAL   | VAL         | ---   |
| Cesio-137      | Relativamente soluble en agua.<br>Tiene una vida media de 30 años.<br>Se fija firmemente en el suelo.<br>Se asimila en granos de cultivo y animales de pastoreo.<br>Es bioconcentrado por medio de la cadena alimenticia.<br>Una vez ingerido pasa rápidamente al sistema circulatorio.<br>Provoca la destrucción de la médula ósea.<br>Contaminan las fuentes de agua por el decaimiento de radionúclidos.<br>Emisor de partículas $\beta$ . |        | X   | X   |      | X         | X         | ---            | ---   | ---         | ---   |
| Estroncio-90   | Tiene una vida media de 28 años.<br>Químicamente similar al Ca por lo que tiende a incorporarse a la leche materna y a concentrarse en los huesos, donde puede inducir cáncer.<br>Puede inducir leucemia y otros tipos de cáncer relacionados con la irradiación de la médula ósea.<br>Se deposita en el suelo y es absorbido por las plantas.<br>Es bioconcentrado por medio de la cadena alimenticia.<br>Emisor de partículas $\beta$ .     |        |     |     |      | X         | X         | ---            | ---   | ---         | ---   |

**tabla 4.10 propuesta de criterios para la calidad de agua que va a ser empleada como suministro humano  
componentes radiológicos**

| PARÁMETRO | EFECTOS NOCIVOS   | FUENTE |     |     |      |           |           | CUERPO DE AGUA |       |             |       |
|-----------|---|--------|-----|-----|------|-----------|-----------|----------------|-------|-------------|-------|
|           |   | NAT    | MED | IND | AIRE | PL<br>NUC | PR<br>NUC | SUPERFICIAL    |       | SUBTERRÁNEA |       |
|           |   |        |     |     |      |           |           | CRI-1          | CRI-2 | CRI-1       | CRI-2 |
| Iodo-131  | Se desintegra rápidamente, tiene una vida media de 8.1 d.<br>Soluble en agua de lluvia.<br>Es bioconcentrado por medio de la cadena alimenticia.<br>Entra rápidamente al torrente sanguíneo.<br>De la ingesta una tercera parte se aloja en la tiroides, el resto se excreta.<br>Emisor de partículas $\beta$ .<br>En ciertas dosis se aplica para controlar el exceso de la actividad de la glándula tiroides, sin embargo concentraciones mayores pueden destruirla completamente e inducir cáncer. |        |     |     | X    | X         | X         | ---            | ---   | ---         | ---   |
| Radio-226 | Provoca cáncer en los huesos.<br>Contamina las fuentes de agua por el decaimiento de radionúclidos emitiendo partículas $\alpha$ .  | X      |     |     |      | X         | X         | ---            | ---   | ---         | ---   |
| Radio-228 | Provoca cáncer en los huesos.<br>Contamina las fuentes de agua por el decaimiento de radionúclidos emitiendo partículas $\alpha$ .  | X      |     |     |      | X         | X         | ---            | ---   | ---         | ---   |
| Tritio-3  | Vida media de 12.3 años.<br>No es bioacumulable, se excreta después de dos meses.<br>Se distribuye uniformemente en todos los fluidos corporales.<br>La desintegración progresiva del tritio fuera del cuerpo es prácticamente inofensiva.<br>Emisor de partículas $\beta$ .  | X      |     | X   |      | X         | X         | ---            | ---   | ---         | ---   |

Para concluir el estudio de las sustancias, se añade la tabla 4.11, donde se muestra la situación actual de los plaguicidas empleados en México mediante los mismos puntos analizados en las tablas anteriores.

Es importante mencionar que esta tabla se presenta de manera independiente debido a que en México se utilizan algunos plaguicidas que se encuentran actualmente restringidos en otros países y por tanto no están contemplados en los criterios de calidad presentados en las tablas precedentes.

tabla 4.11 análisis de los plaguicidas empleados en México

| PARÁMETRO                              | CARCINOGENICIDAD  | EFECTOS NOCIVOS   | FUENTE |      |     | PRESENCIA EN AGUA |             |
|--|-------------------|---|--------|------|-----|-------------------|-------------|
|  |                   |   | IND    | AGRI | MAN | SUPERFICIAL       | SUBTERRÁNEA |
| Alacloro                               | ---               | Biodegradable y persistente. Se acumula en el suelo         | X      | X    |     |                   | XX          |
| Atrazina                               | 2B                | Móvil y degradable.   | X      | X    |     | X                 | XX          |
| Bentazona                              | ---               | Móvil y persistente.  | X      | X    |     | XX                | X           |
| Bromacil                               | ---               | Riesgo y persistencia en el suelo.                          |        | X    |     |                   | X           |
| Dicamba                                | ---               | Riesgo y persistencia en el suelo.                          |        | X    | X   | X                 | XX          |
| 1,2-dibromo-3-cloropropano             | 2B                | El agua contaminada debe ser tratada con métodos avanzados. | X      | X    | X   |                   | X           |
| Acido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4 D) | 2B                | Presente en suelo y agua en poco tiempo.                    | X      | X    |     |                   | X           |
| Dimetepin                              | ---               | Riesgo y persistencia en el suelo                           |        | X    |     |                   | X           |
| Diuron                                 | ---               | Falta información   |        | X    |     |                   | X           |
| Fomesafen                              | ---               | Falta información   |        | X    |     |                   | X           |
| Hexa meto                              | ---               | Existe riesgo y movilidad                                   |        | X    |     |                   | X           |
| Imazametabenzmetil (MyP)               | ---               | Falta información   |        | X    |     |                   | X           |
| Imazapir                               | ---               | Falta información   |        | X    |     |                   | X           |
| Imazetapir                             | ---               | Falta información   |        | X    |     |                   | X           |
| Metribuzin                             | ---               | Riesgo y persistencia en el suelo                           |        | X    |     |                   | X           |
| Norflurazon                            | ---               | Falta información   |        | X    |     |                   | X           |
| Picloram                               | Falta información | Riesgo y persistencia en el suelo                           |        | X    |     |                   | X           |
| Simazina                               | 3                 | Resistente a los procesos fisicoquímicos de disipación.     |        | X    |     | XX                | X           |
| Tebutron                               | ---               | Existe riesgo en agua subterránea, falta información        |        | X    |     |                   | X           |
| Terbacil                               | ---               | Falta información   |        | X    |     |                   | X           |

#### 4.4 CONCLUSIONES

Una vez presentado el análisis de los elementos y parámetros anteriores, es posible concluir que existe una gran variedad de sustancias que pueden provocar serios problemas a la salud de los seres vivos. El caso más importante se manifiesta con los componentes microbiológicos, cuya importancia radica en que son los que presentan una mayor incidencia de enfermedades hídricas en el país (ver capítulo 2).

En segundo lugar de importancia se encuentran los metales, que aunque algunos son de gran importancia para la salud, una vez excedida su concentración vital, pueden provocar distintos tipos de envenenamiento, malformaciones o cáncer como el As, el Ni, el Cd y el Cr (VI), o bien, pueden provocar diferentes tipos de daños al hígado, riñones, corazón, entre otros órganos, como el Ba, el Pb y el Hg.

El siguiente grupo es el de los plaguicidas, cuyos efectos benéficos van de la mano con diversos efectos nocivos agudos como vómito, diarrea, cefalea, entre otros, y efectos crónicos que van desde esterilidad y malformaciones fetales hasta diversos tipos de cáncer y mutaciones, además del deterioro ambiental que conlleva su aplicación en los suelos, su persistencia en la cadena alimenticia y la contaminación de los recursos hídricos.

Existe otro tipo de elementos que aunque en altas concentraciones no afectan severamente la salud, sí lo hacen con la calidad estética del agua provocando el rechazo de los consumidores, en este rubro se encuentran parámetros como el color y la turbiedad.

Asimismo, se incluyen parámetros radiactivos como una medida de seguridad.

Cabe resaltar que los efectos sobre la salud, a pesar de ser los más importantes, no son el único criterio de decisión ya que muchas de las sustancias analizadas que presentan severos efectos nocivos sobre la salud, no se encuentran de manera importante en los cuerpos de agua nacionales, o bien, su principal fuente de contaminación es el aire, como es el caso de la mayoría de los compuestos orgánicos.

Finalmente, se listan a continuación los componentes del agua que se proponen, como resultado del análisis realizado, es posible concluir que los problemas de contaminación en los cuerpos de agua mexicanos, se deben principalmente a los componentes microbiológicos, seguidos, con bastante distancia, por los metales y los componentes orgánicos, finalmente se encuentran los parámetros físicos (estéticos) y los radiológicos.

|                         |                               |                       |
|-------------------------|-------------------------------|-----------------------|
|                         | <b>microbiológicos</b>        |                       |
| Coliformes fecales      | Estreptococos fecales         |                       |
|                         | <b>Inorgánicos</b>            |                       |
| Arsénico                | Fierro                        | Plomo                 |
| Bario                   | Fluoruros                     | pH                    |
| Boro                    | Manganeso                     | Zinc                  |
| Cadmio                  | Mercurio                      |                       |
| Cianuro                 | Níquel                        |                       |
| Cromo                   | Nitratos                      |                       |
|                         | <b>orgánicos y pesticidas</b> |                       |
| Tetracloruro de carbono | Estireno                      | Bentazona             |
| 1,2-dicloroetano        | Ftalato de di 2 etilhexilo    | Simazina              |
| Cloruro de vinilo       | Alacloro                      | Formaldehído          |
| Tetracloroetano         | Atrazina                      | Ácido tricloroacético |
| Benceno                 |                               |                       |
|                         | <b>radiactivos</b>            |                       |
| Emisiones $\alpha$      | Emisiones $\beta$             |                       |
|                         | <b>físicos</b>                |                       |
| Color                   | Sólidos disueltos totales     | Dureza                |
| Turbiedad               |                               |                       |

# CAPÍTULO 5

## propuesta de los criterios de calidad para fuentes de abastecimiento de agua para uso y consumo humanos

---

En este capítulo, se analizan a profundidad los resultados obtenidos a partir del análisis efectuado en el capítulo 4, estableciendo nuevas variables de estudio para los 36 parámetros seleccionados, que incluyen: el uso, la clasificación convencional, las técnicas analíticas de determinación y los tratamientos de remoción de cada sustancia y/o parámetro.

Finalmente, se establece un valor de la meta de calidad y cuatro niveles de uso posible, que permitirán a los usuarios cumplir la norma de calidad del agua potable utilizando diferentes opciones de tratamientos convencionales.

### **5.1 VARIABLES DE APOYO**

Puesto que en el capítulo 4 se realizó el análisis de las sustancias y parámetros considerando al origen, los efectos nocivos, la posibilidad de una sustancia a presentarse en un cuerpo de agua y los valores propuestos por diferentes organizaciones, en este apartado, se extiende el análisis para aquellos componentes que se eligieron en el capítulo anterior, tomando en cuenta los factores siguientes:

### 5.1.1 Usos

Se menciona cuál es empleo de la sustancia o propiedad analizada en diferentes sectores, como son las diversas áreas de la industria, la agricultura y la minería, entre otras. La relevancia de este apartado consiste en ubicar las fuentes probables de contaminación para cada cuerpo de agua y así poder diseñar una metodología de control de las mismas.

### 5.1.2 CLASIFICACIÓN CONVENCIONAL

Se indica si el compuesto es tóxico, altamente reactivo o no nocivo dentro de un área de trabajo. A partir de estos datos, es posible tomar las medidas de prevención y control en el manejo de estas sustancias.

### 5.1.3 TRATAMIENTO

Se presentan las alternativas de tratamiento para cada sustancia o propiedad analizada, basándose en procesos de remoción convencionales. Lo anterior, considerando los recursos económicos y tecnológicos con los que se cuenta actualmente en nuestro país (Ver anexo 2).

### 5.1.4 TÉCNICAS ANALÍTICAS

Se indican los métodos analíticos que son recomendados por las NMX en materia de agua, así como las técnicas empleadas por la EPA para la determinación de elementos y propiedades del agua.

El análisis realizado con estas variables se presenta en el anexo C.

## 5.2 META DE CALIDAD Y LIMITES PERMISIBLES

Una vez presentada la información anterior, es necesario definir dos niveles de valores:

- (1) La **Meta de calidad**, que es la calidad de un cuerpo de agua, que sin tratamiento alguno, satisface los estándares más altos para el uso y consumo humanos

- (2) Los **Indicadores de Uso Posible**, que permiten, a través de un tratamiento convencional, emplear el cuerpo de agua como fuente de suministro, satisfaciendo la calidad requerida por la NOM-127 para este uso. En esta categoría se definen cuatro niveles de calidad, que emplean desde una simple desinfección hasta la aplicación de procesos fisicoquímicos.

Los niveles de tratamiento contemplados son los procesos convencionales de potabilización definidos por la CNA:

Nivel 1: Desinfección con cloro

Nivel 2: Desinfección con cloro + Sedimentación primaria

Nivel 3: Tratamiento fisicoquímico + Desinfección con cloro

Nivel 4: Tratamiento avanzado + Desinfección con cloro

### 5.2.1 META DE CALIDAD

Para determinar la meta de calidad, se consideró toda la información generada anteriormente, prestando atención especial en los valores guía propuestos por la OMS y los valores vigentes en la NOM-127.

Es así, que las metas de calidad fijadas para cada elemento son como sigue (tabla 5.1):

**tabla 5.1 metas de calidad**

| parámetro                       | meta de calidad |
|---------------------------------|-----------------|
|                                 | mg/L            |
| 1,2-dicloroetano                | 0.030           |
| Ácido tricloroacético           | 0.100           |
| Alacloro                        | 0.020           |
| Arsénico                        | 0.050           |
| Atrazina                        | 0.002           |
| Bario                           | 0.700           |
| Benceno                         | 0.010           |
| Bentazona                       | 0.030           |
| Boro                            | 0.300           |
| Cadmio                          | 0.005           |
| Cianuro                         | 0.070           |
| Cloruro de vinilo               | 0.005           |
| Coliformes fecales              | ND              |
| Color, Pt-Co                    | 20.000          |
| Cromo                           | 0.050           |
| Dureza, mg CaCO <sub>3</sub> /L | 500.000         |
| Emisiones $\alpha$              | 0.100           |

**tabla 5.1 metas de calidad**

| parámetro                  | meta de calidad |
|----------------------------|-----------------|
|                            | mg/L            |
| Emisiones $\beta$          | 1.000           |
| Estireno                   | 20.000          |
| Estreptococos fecales      | ND              |
| Fierro                     | 0.300           |
| Fluoruros                  | 1.500           |
| Formaldehído               | 0.900           |
| Ftalato de di 2 etilhexilo | 0.008           |
| Manganeso                  | 0.150           |
| Mercurio                   | 0.001           |
| Niquel                     | 0.020           |
| Nitratos                   | 50.000          |
| pH                         | 6.5-8.5         |
| Plomo                      | 0.025           |
| Simazina                   | 0.002           |
| Sólidos disueltos totales  | 1000.000        |
| Tetracloroetano            | 0.040           |
| Tetracloruro de carbono    | 0.002           |
| Turbiedad, UTN             | 5.000           |
| Zinc                       | 5.000           |

### 5.2.2 INDICADORES DE USO POSIBLE

Una vez definidos los valores de la meta de calidad, es posible definir los 4 niveles de los indicadores de uso posible por medio de la siguiente fórmula:

$$\eta = \left( \frac{IUP - MC}{IUP} \right)$$

donde

- $\eta$  = eficiencia del proceso de remoción
- IUP = índice de uso posible
- MC = meta de calidad

De la ecuación anterior se deduce que:

$$IUP = \frac{MC}{1 - \eta}$$

esta fórmula permite determinar los valores de los diferentes niveles a partir de la eficiencia comúnmente aceptada para cada proceso y variable, manteniendo siempre constante la meta de calidad. Con respecto a las eficiencias de los procesos, éstas se presentan en las tablas 5.2 a 5.5.

**tabla 5.2 eficiencia de los procesos de tratamiento del agua en la remoción de los principales contaminantes (1)**

| contaminante                       | aeración | coagulación, sedimentación, filtración |          | intercambio iónico |                 | procesos de membrana |                 |     | oxidación química, desinfección | adsorción |                  |     |
|------------------------------------|----------|--|----------|--------------------|-----------------|----------------------|-----------------|-----|---------------------------------|-----------|------------------|-----|
|                                    |          | ablamiento                             | aniónico | catiónico          | ósmosis inversa | ultrafiltración      | electrodíalisis | CAG |                                 | CAP       | alúmina activada |     |
| <b>microorganismos y turbiedad</b> |          |  |          |                    |                 |                      |                 |     |                                 |           |                  |     |
| coliformes totales                 | P        | B-E                                    | B-E      | P                  | P               | E                    | E               | --- | E                               | R         | P                | P-R |
| <i>Giardia lamblia</i>             | P        | B-E                                    | B-E      | P                  | P               | E                    | E               | --- | E                               | R         | P                | P-R |
| virus                              | P        | B-E                                    | B-E      | P                  | P               | E                    | E               | --- | E                               | R         | P                | P-R |
| <i>Legionella</i>                  | P        | B-E                                    | B-E      | P                  | P               | E                    | E               | --- | E                               | P         | P                | P-R |
| turbiedad                          | P        | E                                      | B        | R                  | R               | E                    | E               | --- | P                               | R         | P                | P-R |
| <b>Inorgánicos</b>                 |          |  |          |                    |                 |                      |                 |     |                                 |           |                  |     |
| arsénico (+3)                      | P        | R-B                                    | R-B      | B-E                | P               | R-B                  | ---             | R-B | P                               | R-B       | P-R              | B-E |
| arsénico (+5)                      | P        | B-E                                    | B-E      | B-E                | P               | B-E                  | ---             | B-E | P                               | R-B       | P-R              | E   |
| asbestos                           | P        | B-E                                    | ---      | ---                | ---             | ---                  | ---             | --- | P                               | ---       | ---              | --- |
| bario                              | P        | P-R                                    | B-E      | P                  | E               | E                    | ---             | B-E | P                               | P         | P                | P   |
| cadmio                             | P        | B-E                                    | E        | P                  | E               | E                    | ---             | E   | P                               | P-R       | P                | P   |
| cromo (+3)                         | P        | B-E                                    | B-E      | P                  | E               | E                    | ---             | E   | R                               | R-B       | R                | P   |
| cromo (+6)                         | P        | P                                      | P        | E                  | P               | B-E                  | ---             | B-E | P                               | R-B       | R                | P   |
| cianuro                            | P        | ---                                    | ---      | ---                | ---             | B                    | ---             | B   | E                               | ---       | ---              | --- |
| fluoruro                           | P        | R-B                                    | P-R      | P-R                | P               | E                    | ---             | E   | P                               | B-E       | P                | E   |
| plomo                              | P        | E                                      | E        | P                  | R-B             | E                    | ---             | E   | P                               | R-B       | P-R              | P   |
| mercurio                           | P        | R-B                                    | R-B      | P                  | R-B             | R-B                  | ---             | R-B | P                               | R-B       | R                | P   |
| níquel                             | P        | R-B                                    | E        | P                  | E               | E                    | ---             | E   | P                               | R-B       | P-R              | P   |
| nitrate                            | P        | P                                      | P        | B-E                | P               | B                    | ---             | B   | P                               | P         | P                | P   |
| nitrito                            | P        | P                                      | P        | B-E                | P               | B                    | ---             | B   | B-E                             | P         | P                | P   |
| radio (226 y 228)                  | P        | P-R                                    | B-E      | P                  | E               | E                    | ---             | B-E | P                               | P-R       | P                | P-R |
| selenio (+6)                       | P        | P                                      | P        | B-E                | P               | E                    | ---             | E   | P                               | P         | P                | B-E |
| selenio (+4)                       | P        | R-B                                    | R        | B-E                | P               | E                    | ---             | E   | P                               | P         | P                | B-E |
| <b>Orgánicos</b>                   |          |  |          |                    |                 |                      |                 |     |                                 |           |                  |     |
| COV's                              | B-E      | P                                      | P-R      | P                  | P               | R-E                  | R-E             | R-E | P-B                             | R-E       | P-B              | P   |
| COS's                              | P-R      | P-B                                    | P-R      | P                  | P               | R-E                  | R-E             | R-E | P-B                             | R-E       | P-E              | P-B |
| pesticidas                         | P-R      | P-B                                    | P-R      | P                  | P               | R-E                  | R-E             | R-E | P-B                             | B-E       | B-E              | P-B |
| THM's                              | B-E      | P                                      | P        | P                  | P               | R-B                  | R-B             | R-B | P-B                             | R-E       | P-R              | P   |
| precursores de THM                 | P        | R-B                                    | P-R      | R-B                | ---             | B-E                  | R-E             | B-E | R-B                             | R-E       | P-R              | P-R |
| <b>Otros</b>                       |          |  |          |                    |                 |                      |                 |     |                                 |           |                  |     |
| dureza                             | P        | P                                      | E        | P                  | E               | E                    | B-E             | E   | E                               | P         | P                | P   |
| hierro                             | R-B      | R-E                                    | E        | P                  | B-E             | B-E                  | B               | B-E | B-E                             | P         | P                | P   |
| manganeso                          | P-R      | R-E                                    | E        | P                  | B-E             | B-E                  | B               | B-E | R-E                             | P         | P                | P   |
| color                              | P        | R-B                                    | R-B      | P-B                | ---             | ---                  | ---             | --- | R-E                             | E         | B-E              | B   |
| sabor y olor                       | R-E      | P-E                                    | P-R      | P-B                | ---             | ---                  | ---             | --- | R-E                             | B-E       | B-E              | P-R |
| sólidos disueltos                  | P        | P                                      | P-R      | P                  | P               | B-E                  | P-R             | B-E | P                               | P         | P                | P   |
| <b>totales</b>                     |          |  |          |                    |                 |                      |                 |     |                                 |           |                  |     |

**tabla 5.2 eficiencia de los procesos de tratamiento del agua en la remoción de los principales contaminantes (1)**

| contaminante                 | sedimentación | coagulación, sedimentación, filtración |            | Intercambio iónico |           | procesos de membrana |                 |                 | oxidación química, desinfección | adsorción |     |                  |
|------------------------------|---------------|--|------------|--------------------|-----------|----------------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|-----------|-----|------------------|
|                              |               | ablamiento                             | ablamiento | aniónico           | catiónico | ósmosis inversa      | ultrafiltración | electrodialisis |                                 | CAG       | CAP | alúmina activada |
| cloruro                      | P             | P                                      | P          | R-B                | P         | B-E                  | P               | B-E             | P                               | P         | P   | ---              |
| cobre                        | P             | B                                      | B-E        | P                  | R-B       | E                    | ---             | E               | P-R                             | R-B       | P   | ---              |
| sulfato                      | P             | P                                      | P          | B-E                | P         | E                    | P               | E               | P                               | P         | P   | B-E              |
| zinc                         | P             | R-B                                    | B-E        | P                  | B-E       | E                    | ---             | E               | P                               | ---       | --- | ---              |
| COT                          | R             | P-R                                    | B          | ---                | B-E       | B                    | B-E             | P-G             | B-E                             | R         | R-B | ---              |
| dióxido de carbono           | B-E           | P-R                                    | E          | P                  | P         | P                    | P               | P               | P                               | P         | P   | P                |
| ácido sulfhídrico            | R-E           | P                                      | R B        | P                  | P         | P                    | P               | P               | R E                             | R B       | P   | P                |
| metano                       | B-E           | P-E                                    | P          | P                  | P         | P                    | P               | P               | P                               | P         | P   | P                |
| COV's                        | B-E           | P                                      | P-R        | P                  | P         | R-E                  | R-E             | R-E             | P-B                             | R-E       | P-B | P                |
| COS's                        | P-R           | P-B                                    | P R        | P                  | P         | R-E                  | R-E             | R-E             | P B                             | R-E       | P E | P B              |
| productos de la desinfección | ---           | P-E                                    | P-R        | P-R                | ---       | P                    | R-B             | R-B             | R B                             | R-E       | P-B | .                |
| radón                        | B-E           | P                                      | P          | P                  | P         | P                    | P               | P               | P                               | E         | P-R | P                |
| uranio                       | P             | B-E                                    | B-E        | E                  | B-E       | E                    | ---             | E               | P                               | R         | P R | B E              |
| aluminio                     | P             | R                                      | R B        | P                  | B-E       | E                    | ---             | E               | P                               | ---       | .   | .                |
| plata                        | R B           | B E                                    | P          | B                  | ---       | ---                  | ---             | P               | R B                             | P-R       | .   | .                |

- P: Pobre (remoción de 0 a 20%)
- R: Regular (remoción de 20 a 60%)
- B: Buena (remoción de 60 a 90%)
- E: Excelente: (remoción de 90 a 100%)

fuerite: AWWA, 1990

tabla 5.3 eficiencia de los procesos de tratamiento del agua en la remoción de los principales contaminantes (2)

| contaminante         | S 1*  | LE     | S 2*    | C-F    | F      | OX     | P      | A-CA   | RC   | D      | OI     | II      | E      | UF    | Cl     | O3     |
|----------------------|-------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|------|--------|--------|---------|--------|-------|--------|--------|
| aluminio             |       |        | 20-60   | 20-60  | 20-60  | 0-20   | 40-80  | X      |      | 0-20   | >99    | 90      | 90-100 | X     | 0-20   | 0-20   |
| arsénico (+5)        | 16    | 0      | 90      | 70-99  | 90-98  | 0-20   | 70-100 | 90-100 |      | 0-20   | 90-100 | 90-100  | 90-100 | X     | 0-20   | 0-20   |
| bacterias            | 90-99 | 99-99  | 90-100  | 80-90  |        | 90-100 |        | 20-60  |      | 0-20   | 90-100 | 20-60   | X      | 100   | 90-100 | 90-100 |
| berio                |       |        | 90      | 0-20   | 90     | 0-20   | 95-99  | 7      |      | 0-20   | 95-98  | >99.9   | 90-100 | X     | 0-20   | 0-20   |
| boro                 | 25    | 100    |         |        |        |        | 10     |        |      |        | 38-60  | 90      |        | X     |        |        |
| cadmio               | 20    | 20-45  | 80-100  | >99    | 0-20   | 0-20   | 99.3   | 0-20   |      | 0-20   | >99    | 90-100  | 90-100 | X     | 0-20   | 0-20   |
| cianuro              | 5.8   |        | X       | 23-3   | X      | 99.7   | X      | X      |      | 6.8    | 60-90  | X       | 60-90  | X     | >99.1  | 90-100 |
| cloruro              |       |        | 0-20    | 0-20   | 0-20   | 0-20   | 80     | 0-20   |      | 0-20   | 88-98  | 60-90   | 90-100 | 0-20  | 0-20   | 0-20   |
| cobre                | 19    | 0-70   | 20->99  | 19     | 20-60  | 80-100 | 98.3   |        | 19.1 | 90-100 | 60     | 90-100  | X      | 29.5  | 20-60  | 0-20   |
| califormes totales   |       | 99-999 | 90-100  | 90-100 | 90     | 90-100 |        | 20-60  | 99.6 | 0-20   | 90-100 | 0-20    | X      | 100   | 90-100 | 90-100 |
| color                |       |        | 60-90   | 60-90  | 60-90  | 98.5   | 60-90  | 99     |      | 0-20   | X      | 20-60   | X      | X     | 60-90  | 60-100 |
| compuestos volátiles | 15    | 60-84  |         | 50     |        |        |        |        |      |        |        |         |        |       |        |        |
| chromo (+3)          | 19    | 40-80  | 90-100  | 0-20   | 0-20   | 50-100 | >99.9  | 0-20   |      |        | 90-100 | 90-99.9 | 90-100 | X     | 0-20   | 0-20   |
| dureza               | X     | 19     |         |        |        |        |        |        |      |        |        | 97      |        |       |        |        |
| fluoruro             | 46    | 55     | 60-90   | 0-20   | 60-90  | 0-20   | 0-20   | 90-100 | 23   | 0-20   | 88-98  | 20-40   | 90-100 | X     | 0-20   | 0-20   |
| ftalatos             |       | 79     |         |        |        |        |        |        |      |        |        |         |        |       |        |        |
| HC aromáticos        |       | 90-99  |         |        |        |        |        |        |      |        |        |         |        |       |        |        |
| HC halogenados       |       | 84-92  |         |        |        |        |        |        |      |        |        |         |        |       |        |        |
| hierro               | 43    | 59     | 90      | 60-90  | 60-90  | 80-100 | 90-100 | 0-20   | 71   | 80-90  | 100    | 99-100  | 90-100 | X     | 80-100 | 80-100 |
| manganeso            | 15    | 27     | 90-100  | 60-90  | 60-90  | 60-90  | 100    | 0-20   |      | 20-40  | 100    | 94-100  | 50     | X     | 70     | 20     |
| mercurio             | 90    | 20-75  | 90      | 70-90  | 60-90  | 0-20   | >99.9  | 80-99  |      | 90     | 40-90  | 40-80   | 20-90  | X     | 90     | 0-20   |
| níquel               | 40    | 15-40  | 60-90   | 18.2   | 60-90  | 9.5    | 99     | 99.5   |      | 0-20   | 99.5   | 90-99.9 | 90-100 | X     | 0-20   | 0-20   |
| nitrate              |       |        | 0-20    | 0-20   | 0-20   | 0-20   | 0-20   | 0-20   |      | 0-20   | 90-100 |         | 99     | X     |        | 100    |
| nitrite              |       |        | 0-20    | 0-20   | 95     |        | 0-20   | 0-20   |      | 0-20   | 60-90  | 90-100  | 70-90  | X     | 70-100 | 17     |
| pesticidas           |       | 98     | 20-90   | 20-90  | 99.5   | 99.5   | 90-100 | 30-87  |      | 20-60  | 60-100 | 0-20    | 60-90  | 60-90 | 20-100 | 20-100 |
| plata                | 0     | 44     | 70-90   | 70-90  | 70-100 | 40-80  | 90-99  | 20-40  |      | 40-80  | 90-100 | 91.7    | 90-100 | X     | 20-60  | 20-60  |
| plomo                | 99.6  | 50-90  | 98-99.9 | 99     | 93-98  | 0-20   | 90-100 | 99.5   |      | 0-20   | 90-100 | >99.9   | 90-100 | X     | 0-20   | 0-20   |
| SDT                  | 14    |        | 0-20    | 0-20   | 0-20   | 0-20   | 0-20   | 0-20   |      | 0-20   | 90-98  | 0-20    | 90-98  | 0-60  | 0-20   | 0-20   |
| selenio (+6)         |       |        | 0-20    | 20-84  | 0-20   | 0-20   | 20-40  | 0-20   |      | 0-20   | 90-100 | 95-99.9 | 90-100 | X     | 0-20   | 0-20   |
| SST                  | 66    | 90-95  | 60      | 80-90  | 100    |        |        | 100    |      |        |        |         |        | 100   |        |        |
| sulfato              |       |        | 0-20    | 0-20   | 0-20   | 0-20   | 0-20   | 0-20   |      | 0-20   | 99-100 | 80-100  | 40     | 0-20  | 0-20   | 0-20   |
| turbiedad            |       | X      | 90-100  | 90-100 | 99.4   | 0-20   | 60-90  | 20-60  |      | 0-20   | 90-100 | X       | X      | 99    | 0-20   | 0-20   |
| virus                |       |        | 90-100  | 90-99  | 90     | 90-100 |        | 20-60  |      | 0-20   | 90-100 | 20-60   | X      | 100   | 98     | 90-100 |
| zinc                 | 0     | 35-80  | 20      | 19     | 90     | 0-20   | 0-20   | 94     |      | >99    | 90-100 | 80-100  | 90-100 | X     | 0-20   | 0-20   |

S 1\* Sedimentación primaria  
 F Filtración  
 RC. Recarbonatación  
 E Electrodialisis

LE Lagunas extendidas  
 OX Oxidación  
 D Desorción de amoníaco  
 UF Ultrafiltración

S 2\* Sedimentación secundaria  
 P Precipitación  
 OI Osmosis inversa  
 Cl Cloración

C F Coagulación floculación  
 A-CA Adsorción CA  
 II Intercambio iónico  
 O3 Ozonación

adaptado de: Ramos, 1990

**tabla 5.4 procesos de tratamiento y porciento de remoción microbiológica**

| tratamiento               | <i>Escherichia coli</i> | coliformes fecales termorresistentes | estreptococos fecales |
|---------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| sedimentación primaria    | 0-90                    | 0-90                                 | 0-90                  |
| coagulación/sedimentación | 90-99                   | 90-99                                | 90-99                 |
| lodos activados           | 0-99                    | 0-99                                 | 0-99                  |
| lagunas aeradas           | 0-99                    | 0-99                                 | 0-99                  |
| zanjas de oxidación       | 90-99                   | 90-99                                | 90-99                 |
| filtración rápida         | 90-99                   | 90-99                                | 90-99                 |
| desinfección final        | 99-99.9999              | 99-99.9999                           | 99-99.9999            |
| lagunas de estabilización | 90-99.9999              | 90-99.9999                           | 90-99.9999            |
| almacenamiento            | 90-99.9999              | 90-99.9999                           | 90-99.9999            |

**tabla 5.5 procesos de tratamiento y porciento de remoción microbiológica**

| tratamiento               | radio 226, 228                    | uranio  | radón             |
|---------------------------|-----------------------------------|---|-------------------|
| ablandamiento con cal     | 80-90<br>(pH 9.5-11)              | 85-90<br>(pH 10.6 - 11.5)   |                   |
| coagulación/sedimentación |                                   | 92-93<br>[Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> - pH 10]<br>95<br>[Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> - pH 10] |                   |
| precipitación             | 85-96<br>(pH 9.5 - 11)            |   |                   |
| filtración rápida         | 30-50                             |   |                   |
| adsorción en CAG          | 50<br>(lecho profundo)            | 95<br>(pH < 6.4)  | remoción completa |
| intercambio iónico        | 80-97<br>(resina básica)          | 93 - 97<br>(resinas aniónicas)  |                   |
| ósmosis inversa           | 90-Hiperfiltración<br>(pH 5.5-60) | 99<br>(pH 7)  |                   |
| almacenamiento            | Existe decaimiento                | Existe decaimiento  |                   |

A partir de las eficiencias presentadas en las tablas anteriores se calcularon los índices de uso posible. Cabe mencionar que dichas eficiencias son consideradas convencionales para cada tratamiento. Asimismo, es necesario mencionar que en el momento de seleccionar un tren de tratamiento para un agua determinada se deben realizar consideraciones que no se incluyen este capítulo, pero se hace mención de ellas en el anexo 3.

Finalmente, la tabla 5.6 resume los valores propuestos para la meta de calidad y los cuatro indicadores de uso posible.

**tabla 5.6 criterios de calidad para fuentes de abastecimiento de agua para uso y consumo humanos <sup>(1)</sup>**

| Tipo de parámetro               | Metas de calidad | Indicadores de uso posible |                 |                   |                   |
|---------------------------------|------------------|----------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|
|                                 |                  | Nivel 1                    | Nivel 2         | Nivel 3           | Nivel 4           |
| 1,2-dicloroetano                | 0.030            | 0.05                       | 0.06            | 0.06              | 0.18              |
| Ácido tricloroacético           | 0.100            | 0.24                       | 0.24            | 0.5               | 0.55              |
| Alacloro                        | 0.020            | 0.04                       | 0.04            | 0.06              | 0.19              |
| Arsénico                        | 0.050            | 0.06                       | 0.07            | 0.4               | 2.5               |
| Atrazina                        | 0.002            | 0.003                      | 0.003           | 0.006             | 0.02              |
| Bario                           | 0.700            | 0.78                       | 0.78            | 1                 | 20                |
| Benceno                         | 0.010            | 0.017                      | 0.020           | 0.02              | 0.06              |
| Bentazona                       | 0.030            | 0.05                       | 0.05            | 0.09              | 0.3               |
| Boro                            | 0.300            | 0.3                        | 0.4             | 0.4               | 0.78              |
| Cadmio, mg/L                    | 0.005            | 0.006                      | 0.007           | 0.037             | 0.74              |
| Cianuro, mg/L                   | 0.070            | 1.4                        | 1.5             | 1.5               | 5.6               |
| Cloruro de vinilo               | 0.005            | 0.009                      | 0.01            | 0.01              | 0.03              |
| Coliformes fecales              | ND               | 10 <sup>3</sup>            | 10 <sup>5</sup> | > 10 <sup>7</sup> | > 10 <sup>7</sup> |
| Color, Pt-Co(7)                 | 20.000           | 61                         | 61              | 145               | 145               |
| Cromo, mg/L                     | 0.050            | 0.06                       | 0.07            | 0.07              | 0.4               |
| Dureza, mg CaCO <sub>3</sub> /L | 500.000          | 10 000                     | 10 000          | 11 111            | 222 222           |
| Emisiones $\alpha$              | 0.100            | 0.11                       | 0.11            | 0.5               | 5                 |
| Emisiones $\beta$               | 1.000            | 1.1                        | 1.1             | 1.4               | 20                |
| Estireno                        | 0.020            | 0.035                      | 0.035           | 0.06              | 0.19              |
| Estreptococos fecales           | ND               | 10 <sup>3</sup>            | 10 <sup>5</sup> | > 10 <sup>7</sup> | > 10 <sup>7</sup> |
| Fluoruros                       | 1.500            | 1.67                       | 3               | 3.9               | 78                |
| Formaldehído                    | 0.900            | 2                          | 2.1             | 4.5               | 5                 |
| Ftalato de di 2 etilhexilo      | 0.008            | 0.014                      | 0.014           | 0.024             | 0.074             |
| Hierro                          | 0.300            | 0.7                        | 1.2             | 2                 | 14.5              |
| Manganeso                       | 0.150            | 0.46                       | 0.5             | 1                 | 4                 |
| Mercurio                        | 0.001            | 0.001                      | 0.011           | 0.011             | 0.011             |
| Níquel                          | 0.020            | 0.02                       | 0.04            | 0.05              | 1.05              |
| Nitratos                        | 50               | 56                         | 56              | 62                | 247               |
| OD <sub>5</sub>                 | 4                | 4                          | 4               | 4                 | 4                 |
| pH                              | 6.5-8.5          | 6.5-8.5                    | 6.5-8.5         | 6.5-8.5           | 6.5-8.5           |
| Plomo                           | 0.025            | 0.03                       | 0.56            | 0.6               | 11.111            |
| Simazina                        | 0.002            | 0.003                      | 0.003           | 0.006             | 0.02              |
| Sólidos disueltos totales       | 1000.000         | 1111                       | 1292            | 1235              | 8230              |
| Tetracloroetano                 | 0.040            | 0.07                       | 0.08            | 0.08              | 0.24              |
| Tetracloruro de carbono         | 0.002            | 0.003                      | 0.004           | 0.004             | 0.012             |
| Turbiedad, UTN                  | 5                | 5.6                        | 5.6             | 111               | 2 222             |
| Zinc                            | 5                | 5.6                        | 5.6             | 13                | 261               |

Nivel 1: Desinfección con cloro

Nivel 2: Sedimentación + Desinfección con cloro

Nivel 3: Tratamiento fisicoquímico + Desinfección con cloro

Nivel 4: Tratamiento fisicoquímico + Tratamiento avanzado (procesos de membrana) +  
Desinfección con cloro

ND: No detectable

# CAPÍTULO 6

## Conclusiones y recomendaciones

---

Del estudio realizado se concluye que para elaborar los Criterios de Calidad del Agua (CCA) para Uso y Consumo Humano, debe considerarse como punto de partida a los parámetros que representen un problema real de calidad en los cuerpos de agua del país. Asimismo, debe sustentarse su presencia con un estudio detallado de cada parámetro, tomando en cuenta su presencia y persistencia en el agua, los efectos tóxicos a los seres humanos y las técnicas analíticas y tratamientos de remoción disponibles, cumpliendo así con el objetivo de operar como instrumento indicador de la calidad del agua, que permite establecer si un cuerpo de agua es apto para el uso y consumo humano.

Por lo anterior, en la redefinición de los CCA, dentro del contexto nacional, se debe:

- Acotar el universo de sustancias y propiedades fisicoquímicas y biológicas que pueden encontrarse en el agua, seleccionando los parámetros que representen un problema real de calidad dentro de los cuerpos de agua
- Establecer niveles de parámetros medibles con el desarrollo analítico actual del país
- Definir niveles compatibles con las eficiencias de los métodos de remoción disponibles en el mercado nacional a costos asequibles
- Establecer niveles, considerados como Indicadores de Uso Posible (IUP), que habiliten planes para la recuperación paulatina de la calidad de los cuerpos de agua y al mismo tiempo se permita su uso.

Todo lo anterior es aplicable una vez que sean comparadas las características fisicoquímicas y biológicas del cuerpo de agua en cuestión contra los CCA definidos. De esta manera se pueden presentar dos opciones:

- (1) En caso de que el cuerpo de agua se encuentre dentro del intervalo de la Meta de calidad y el cuarto nivel de los IUP, determinar el tipo de tratamiento que se requiere para adecuar el agua.

(2) En caso de que los valores sean mayores al cuarto nivel de IUP, se concluye que dicho cuerpo hidrológico no es apto para el uso y consumo humano, por lo tanto:

- Debe destinársele otro uso
- Se debe planear un programa de saneamiento

También debe establecerse la revisión periódica de los CCA en función de la evaluación de la calidad del agua, por medio de programas de monitoreo en las regiones hidrológicas para estimar la evolución o degradación de la calidad del agua y definir las medidas a implementar:

|             |   |
|-------------|---|
| EVOLUCIÓN   | <p>¿ Cómo va mejorando la calidad del agua?</p> <p>¿ Qué contaminantes ya no deben monitorearse por no ser un problema de contaminación ?</p> <p>¿ Deben modificarse las concentraciones de los contaminantes en función de los avances científicos y su disminución en los cuerpos de agua ?</p> |
| DEGRADACIÓN | <p>¿ Cómo va empeorando ?</p> <p>¿ Qué contaminantes han aumentado su concentración ?</p> <p>¿ Deben incluirse nuevos parámetros ?</p>  |

En consecuencia, si la calidad de un cuerpo de agua cumple con los CCA, implica que es apta para el uso y consumo humanos, y al mismo tiempo es buena para cualquier otro uso (a excepción del uso industrial que requiere especificaciones para cada tipo de giro). Cabe resaltar que en caso de existir competencia entre los diferentes usos, debe priorizarse el consumo humano y buscar fuentes alternas para el resto de los usos.

Ya que los criterios tienen un enfoque general, pueden emplearse por todo el público en diversas actividades sirviendo como guía, por lo que:

- Existe la posibilidad de que cada región hidrológica defina sus propios criterios adecuando los ya existentes
- En diversos trabajos de remediación de los cuerpos de agua se puede dar seguimiento a la mejora de la calidad del agua (en caso de accidentes como derrames) durante y después del proceso de remediación al comparar las concentraciones en el agua contra los CCA.

# bibliografía

---

- ◆ AIC *et al.*, (1995): [anic.utexas.edu/la/Mexico/water/frontmtresp.html](http://anic.utexas.edu/la/Mexico/water/frontmtresp.html)  
Academia de la Investigación Científica (AIC), Academia Nacional de Ingeniería, Comité de Academias para el Estudio de Suministro de Agua de la Ciudad de México, *Water Science and Technology Board, Commission on Geosciences, Environment and Resources* y *National Research Council* (1995), *El Suministro de Agua de la Ciudad de México, Mejorando la Sustentabilidad*, Ed. *National Academy Press*, 113 pp, Estados Unidos.
  
- ◆ AWWA, *American Water Works Association* (1990), *Water Quality and Treatment, a handbook of community water supplies*, Ed. McGraw-Hill Inc, 4ª edición, 1194 pp, Estados Unidos.
  
- ◆ APHA, AWWA y WEF (1995), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, Editado por Eaton A., Clesceri L. y Greenberg A., 19ª edición, Estados Unidos.
  
- ◆ Barrios O. E. y González M.I. (1999), *Indicadores Ambientales de la Calidad del Agua*, Ed. FEMISCA, *Revista Ingeniería y Ciencias Ambientales*, Año 10, Núm. 42, mayo-junio, pp 6-12, México.
  
- ◆ Borja V. (1998), *Entrevista: Toxicología ambiental y salud: Estrategias de control*, *Ingeniería y Ciencias Ambientales*, Num.39, noviembre-diciembre, año 10, pp 16-18, México.
  
- ◆ Brock T., Madigan M., Martinko J. y Parker J. (1994). *Microbiology of Microorganisms*, Prentice Hall, 7ª edición, pp. 909, Estados Unidos.
  
- ◆ Cáceres L. O. (1990), *Desinfección del Agua*, Ministerio de Salud (OPS/OMS), 369 pp, Peru.

- ◆ Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC), Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPEDES) y Consejo Coordinador Empresarial (CCE) (1998), *Eficiencia y Uso Sustentable del Agua en México*, Ed. CESPEDES, 132 pp, México.
- ◆ Catalán La Fuente J. (1981), *Química del agua*, Ed. Talleres Gráficos Alonso, pp 423, España.
- ◆ CEC, 1998: [www.cec.org](http://www.cec.org)  
Resumen de derecho ambiental en México  
Resumen de derecho ambiental en Canadá  
Resumen de derecho ambiental en Estados Unidos
- ◆ Cheremisinoff Paul (1993), *Water Management and Supply*, Ed. Prentice Hall, 266 pp, Estados Unidos.
- ◆ CICOPLAFEST (Comisión Intersecretarial para el control del proceso y uso de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas), Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. SEMARNAP, Secretaria de Comercio y Fomento Industrial (1997) *Catálogo Oficial de Plaguicidas*, 483 pp, México.
- ◆ CNA-1 (1998): [www.cna.gob.mx/SGT/GIBNT/catnomx.html](http://www.cna.gob.mx/SGT/GIBNT/catnomx.html)  
Catálogo de Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas relacionadas con el sector agua, 3 pp.
- ◆ CNA-2 (1998), *Ley Federal de Derechos en materia de Agua*, Ed. CNA, julio, 113 pp, México.
- ◆ CNA (1996), *Ley de Aguas Nacionales y su reglamento*, Ed. CNA, 2ª edición, 172 pp, México.
- ◆ Degrémont (1979), *Manual Técnico del Agua*, 4ª edición, 1 216 pp, España.
- ◆ *Department of Water Affairs and Forestry (1996), South African Water Quality Guidelines, Vol 1: Domestic Use*, 2a ed, 197 pp.

- ◆ Diario Oficial de la Federación (1989), Miércoles 13 de diciembre de 1989, Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89, 7-23 pp, México.
- ◆ Diario Oficial de la Federación (1996), NOM-127-SSA1-1994, Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización Jueves 18 de enero de 1994, pp 41 - 46. México.
- ◆ Droste Ronald L., (1997). *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*, Ed. John Wiley and Sons, Inc, 800 pp, Estados Unidos.
- ◆ Environment Canada (1998): [www.ec.gc.ca/cwqg/english/default.htm](http://www.ec.gc.ca/cwqg/english/default.htm)  
*The Green Line, Environment Canada's World Wide Web site, Canadian Quality Guidelines.*
- ◆ EPA-1 (1999), *Environmental Protection Agency, Office of Water y Office of Ground Water and Drinking Water (1999), Setting Standards for Safe Drinking Water*, 6 pp, Estados Unidos. [www.epa.gov/OGWDW/standard/setting.html](http://www.epa.gov/OGWDW/standard/setting.html)
- ◆ EPA-2 (1999), *Environmental Protection Agency, Office of Water y Office of Ground Water and Drinking Water (1999), Current Drinking Water Standards*, 2 pp, Estados Unidos. [www.epa.gov/OGWDW/creg.html](http://www.epa.gov/OGWDW/creg.html)
- ◆ EPA, *Environmental Protection Agency (1973), Water Quality Criteria 1972, A report of the Committee on Water Quality Criteria*, Ed. U.S. Government Printing Office, 594 pp, Estados Unidos.
- ◆ EPA, *Environmental Protection Agency (1988), Registro Federal Parte V, Guías para Evaluar Tóxicos Sospechosos de Afectar el Desarrollo*, Editado por el Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, OPS y OMS, pp. 44, Metepec, México.
- ◆ EPA, *Environmental Protection Agency (1999), EPA Guidance Manual, Alternative Disinfectants and Oxidants*, Ed. US EPA, april.
- ◆ EPA (1988), *Environmental Protection Agency (1988), Guía para evaluar tóxicos sospechosos de afectar el desarrollo*, Ed. Centro Panamericanos de Ecología Humana

---

y Salud, Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud, 44 pp, Metepec, México.

- ◆ Europa-1, 1999: [www.europa.eu.int](http://www.europa.eu.int)

Legislación Comunitaria Vigente, Documento 398L0083, Directiva 98/83/CE del Consejo del 3 de noviembre de 1998, Relativa a la calidad de las aguas destinadas al Consumo Humano, Diario Oficial número L 330 del 5 de diciembre de 1998.

- ◆ Europa-2, 1999: [www.europa.eu.int/comm/dg11/guide/part2d.htm](http://www.europa.eu.int/comm/dg11/guide/part2d.htm)

*Guide to the Approximation of European Union: Environmental Legislation, Part 2 Overview of EU environmental Legislation D. Water Quality, 1999.*

- ◆ Garduño (1992), La Protección de la Calidad y el Suministro de los recursos de Dulce, Notas de la Diplomacia Ambiental; México y la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, 14 pp.

- ◆ Gleick P. H. (1993), *Water in Crisis A Guide to the World's Fresh Water Resources*, Ed. Oxford University Press, pp 473, Estados Unidos.

- ◆ Gleick P. H. (1996), *Basic Water Requirements for Human Activities: Meeting Basic Needs*, *Water International - International Water Resources Association*, 21 (1996) 83 - 92.

- ◆ Gray N. F. (1994), *Drinking Water Quality, Problems and solutions*, Ed. John Wiley and Sons, pp 315, Inglaterra.

- ◆ Guerrero (1991), El Agua, Colección La Ciencia desde México, Ed. Fondo de Cultura Económica, México.

- ◆ Hammer M. J. y Hammer M. J. Jr. (1996), *Water and Wastewater Technology*, Ed. Prentice Hall, 3ª edición, 519 pp, Estados Unidos.

- ◆ Harris D. C. (1992), *Análisis Químico Cuantitativo*, Ed. Grupo Editorial Iberoamérica, 886 pp, México.

- ◆ Harte J., Holdren Ch., Schneider R. y Shirley Ch. (1995), *Guía de las sustancias contaminantes. El libro de los tóxicos de la A a la Z*, Ed. Grijalbo, 642 pp, México.

- ◆ Hernández Muñoz A. (1996), Depuración de aguas residuales, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puentes, Colección Señor No. 9, 3ª edición, 987 pp, Madrid.
- ◆ Hofkes (1983), *Small Community Water supplies: technology of small water supply systems in developing countries*, editado por Hofkes-John Wiley and Sons, 442 pp, Gran Bretaña.
- ◆ INDRE (1993) Magnitud y trascendencia de las infecciones gastrointestinales, Medidas de intervención, En: Diagnostico de Laboratorio de Infecciones gastrointestinales, Unidad 1: Aspectos Generales, México
- ◆ INEGI-SEMARNAP (1997), Estadísticas del Medio Ambiente-Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 1995-1996, 461 pp, México.
- ◆ Jiménez B. (1995), Filtración de Agua, Series del Instituto de Ingeniería 572, ISSN 0185-2345, Ed. Instituto de Ingeniería-UNAM, 121 pp, México.
- ◆ Jiménez B. (1999), La Contaminación Ambiental en México y la Energía, en edición.
- ◆ Jiménez B. y Ramos H. J., (1995), Estudio de la disponibilidad de agua en México en función del uso, calidad y cantidad, Vol I, Proyecto 3320, elaborado para la Gerencia de Calidad, Reúso del Agua e Impacto Ambiental de la CNA, Instituto de Ingeniería de la UNAM, México.
- ◆ Jiménez B., Chavez A., Barrios A. y Maya C. (1999), Curso: Determinación y Cuantificación de Huevos de Helminto. Técnica Norma Oficial NOM-001-ECOL/96, Ed. Instituto de Ingeniería de la UNAM, 160 pp., México.
- ◆ Jiménez B. (2000), La Contaminación Ambiental en México y la Energía, Ed. Trillas, México, en edición.
- ◆ Keenan Ch. y Wood J. (1981), Química General Universitaria, Ed. Continental, 4ª edición, 858 pp, México.

- ◆ Leal M., Chávez V. y Larralde L. (1996), *Temas Ambientales, Zona Metropolitana de la Ciudad de México*, Ed. Gobierno del Estado de México, Departamento del Distrito Federal, Fideicomiso Ambiental-Comisión Ambiental Metropolitana, Programa Universitario del Medio Ambiente y SEMARNAP, pp 11-37, México.
- ◆ Lester J. N., (1987), *Heavy Metals in Wastewater and Sludge Treatment Processes*, Vol. I y II, *Sources, Analysis and Legislation*, Ed. CRC Press, Estados Unidos, 183 pp.
- ◆ Metcalf y Eddy, Inc. (1991), *Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse*, Ed. Mc Graw-Hill, 3ª edición, 1334 pp, Estados Unidos.
- ◆ OCDE, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (1998), *Análisis del Desempeño Ambiental, México: Perspectivas*, 230 pp.
- ◆ Olea Franco (1988), *Oparin y el origen de la vida*, Revista Ciencia y Desarrollo, Ed. CONACYT, enero-febrero, No. 78, Año XIII, pp 19-28.
- ◆ OMS (1995), *Guías para la calidad del agua potable (Volumen 1, Recomendaciones)*, Ed. Organización Mundial de la Salud, 2ª edición, 195 pp, Malta.
- ◆ OMS (1993), *Guidelines for drinking-water quality (Volume 2, Health Criteria and Other Supporting Information)*, Ed. Organización Mundial de la Salud-*International programme on Chemical Safety*, 2ª edición, 973 pp, Geneva.
- ◆ OMS (1997), *Guidelines for drinking-water quality (Volume 3, Surveillance and control of community supplies)*, Ed. Organización Mundial de la Salud.
- ◆ Ondarza R. (1988), *Biología Moderna*, Ed. Trillas, 8ª edición, México.
- ◆ Porteus A. 1992, *Dictionary of Environmental Science and Technology*, Ed. John Wiley and Sons, pp 439, Estados Unidos.
- ◆ Programa Hidráulico 1995-2000, Poder Ejecutivo Federal, Ed. Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, 54 pp, México.

- ◆ Ramos J. (1990), Tratamiento de un efluente terciario para su potabilización, Tesis de Licenciatura-UNAM, 229 pp, México.
- ◆ Real Academia Española (1984), Diccionario de la Lengua Española, Tomo I, Ed. Espasa-Calpe, Vigésima edición, España.
- ◆ Rodríguez V. A. y Silva M. A. (1995), Estudio Comparativo de Regulaciones y Normas Obligatorias del Sector Hidráulico en Países Desarrollados, Proyecto 5377, Elaborado para la Comisión Nacional del Agua, Ed. Instituto de Ingeniería de la UNAM, 71 pp, México.
- ◆ Salvato J. A. (1992), *Environmental Engineering and Sanitation*, Ed. John Wiley and Sons, 1418 pp, Estados Unidos.
- ◆ Sayre I. M. (1988), *International Standards for Drinking Water*, Ed. AWWA, *Journal AWWA, Management and Operations*, Enero, pp 53-60.
- ◆ SEMARNAP (1999): [www.semarnap.gob.mx](http://www.semarnap.gob.mx)  
Legislación ambiental, Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, Normas Ecológicas (ECOL).
- ◆ SEMARNAP (1997), Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente-Delitos Ambientales, Ed. SEMARNAP-PROFEPA, 244 pp, México.
- ◆ Snoeyink V. y Jenkins D. (1990), Química del agua, Ed. LIMUSA, 508 pp, México.
- ◆ Soniassy R., y Schlett C. (1997), *Water Analysis, Organic Micropollutants*, Ed. Hewlett Pacard, pp 1-43, Estados Unidos.
- ◆ Soto Félix J. (1999), Los nitratos sustancias de cuidado para la salud humana, Ed. FEMISCA, Revista Ingeniería y Ciencias Ambientales, Año 10, Núm. 42, mayo-junio, pp 22-25, México.
- ◆ Speidel D., Ruedisili L. y Agnew A. (1988), *Perspectives on Water, Uses and Abuses*, Ed. Oxford University Press, 388 pp, Estados Unidos.

- ◆ SSA (1994) Consejo nacional para el control de las enfermedades diarreicas, Informe de actividades 93-94, Salud pública de México, Vol 36, No. 5, pp 1-12.
- ◆ Stewart Cary J. (1990), *Drinking Water Hazards, how to know if there are toxic chemicals in your water and wath to do if there are*, Ed. *Envirographics*, 323 pp, Estados Unidos.
- ◆ Thanh C. N. y Tam M. D. (1990), *Water Quality Management in Environmentally-Sound Water Management*, chap. 8, Ed. by Biswas K. A. y Thanh C. N. Oxford University Press, Estados Unidos.
- ◆ Tchobanoglous G. y Schroeder E. (1985), *Water Quality. Characteristics, Modeling, Modifications*, Ed. Addison-Wesley, 768 pp, Estados Unidos.
- ◆ Tebbut T. H. (1990), *Fundamentos de control de la calidad del agua*, Ed. LIMUSA, 239 pp, México.
- ◆ Thornton I. (199?), *Metals in the Global Environment, Facts and Misconceptions*, Ed. ICME, 103 pp, Estados Unidos.
- ◆ WEF, *Water Environment Federation* (1995), *Wastewater Biology: The Microlife, Special Publication prepared bay task Force on Wastewater Biology, under direction of the Operations and Maintenance Subcommittee, Technical Practice Committee.*, 196 pp.
- ◆ Weber W. Jr. (1975), *Control de la calidad del agua, Procesos Fisicoquímicos*, Ed. Reverté, 600 pp, España.
- ◆ Vargas C., Rojas R. y Joseli J. (1999), *Control y Vigilancia de la Calidad del Agua de Consumo Humano*, Ed. CEPIS, Textos completos CEPIS, 31 pp. [www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/aguabas/control/cotrol.html](http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/aguabas/control/cotrol.html)
- ◆ Viessman W. Jr. y Hammer M. (1993), *Water Supplay and Pollution Control*, Ed. Harper Collins College Publishers, 5ª edición, 860 pp, Estados Unidos.

# ANEXO A

## evaluación del riesgo de carcinogenicidad en los seres humanos

---

Para la evaluación del riesgo de carcinogenicidad para los seres humano, CIIC (Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer) o IARC (*International Agency for Research on Cancer*) considera los datos disponibles en su conjunto a fin de llegar a una evaluación global de la carcinogenicidad de un agente, una mezcla o unas circunstancias de exposición para los seres humanos.

En agente, la mezcla o las circunstancias se describen de acuerdo con la definición de una de las categorías siguientes, indicando el grupo correspondiente. La clasificación de un agente, una mezcla o unas circunstancias de exposición es una cuestión de apreciación científica, que refleja la fuerza de las pruebas resultante de estudios con seres humanos y con animales de experimentación y de los demás datos pertinentes.

**Grupo 1. El agente (o la mezcla) es carcinógeno para los seres humanos. Las circunstancias de exposición implican exposiciones carcinógenas para los seres humanos.**

Esta categoría se utiliza cuando existen pruebas suficientes de la carcinogenicidad para los seres humanos. Excepcionalmente, puede clasificarse en ella un agente (o una mezcla) cuando los datos referentes a seres humanos no llegan a ser suficientes pero existen pruebas suficientes de la carcinogenicidad en animales de experimentación y elementos

de juicio sólidos que indican que en los seres humanos expuestos, el agente (o la mezcla) actúa a través de un mecanismo de carcinogenicidad pertinente.

*Grupo 2.* Esta categoría comprende agentes, mezclas y circunstancias de exposición respecto de los cuales, en un extremo, las pruebas de carcinogenicidad para los seres humanos son casi suficientes y, en el otro extremo, no se dispone de datos sobre seres humanos pero hay pruebas de la carcinogenicidad para los animales de experimentación. Los agentes, mezclas y circunstancias de exposición se incluyen bien en el grupo 2A (probablemente carcinógeno para los seres humanos) o en el grupo 2B (posiblemente carcinógeno para los seres humanos) sobre la base de los datos epidemiológicos y experimentales favorables a la carcinogenicidad y de otros datos pertinentes.

**Grupo 2A. El agente (o la mezcla) es probablemente carcinógeno para los seres humanos. Las circunstancias de exposición implican exposiciones probablemente carcinógenas para los seres humanos.**

Esta categoría se aplica cuando existen pruebas limitadas de la carcinogenicidad para seres humanos y pruebas suficientes de la carcinogenicidad para los animales de experimentación. En algunos casos, se puede clasificar en esta categoría un agente (o una mezcla) cuando se dispone de pruebas insuficientes de la carcinogenicidad para los seres humanos y pruebas suficientes de la carcinogenicidad para los animales de experimentación, así como elementos de juicio sólidos que indican que, en la carcinógenesis, actúa un mecanismo que también existe en los seres humanos. Excepcionalmente, pueden clasificarse en esta categoría un agente, una mezcla o unas circunstancias de exposición únicamente sobre la base de pruebas limitadas de la carcinogenicidad para los seres humanos.

**Grupo 2B. El agente (o la mezcla) es posiblemente carcinógeno para los seres humanos. Las circunstancias de exposición implican exposiciones posiblemente carcinógenas para los seres humanos.**

Esta categoría comprende los agentes, las mezclas y las circunstancias de exposición respecto de los cuales existen pruebas limitadas de la carcinogenicidad para seres humanos y pruebas que no llegan a ser suficientes de la carcinogenicidad para los animales de experimentación. Puede utilizarse también cuando hay pruebas insuficientes de la carcinogenicidad para los seres humanos pero pruebas suficientes de la carcinogenicidad para los animales de experimentación. En algunos casos, pueden clasificarse en este grupo un agente, una mezcla o las circunstancias de exposición respecto de los cuales existen pruebas insuficientes de la carcinogenicidad para los seres humanos pero pruebas limitadas de la carcinogenicidad para los animales de experimentación, junto con otros elementos de juicio pertinentes que corroboran las pruebas.

# ANEXO B

## selección del proceso de potabilización del agua

---

Para la determinación de los procesos de tratamiento se consideró que el objetivo de la potabilización del agua es producir un suministro conveniente y continuo con características químicas, bacteriológicas y estéticas adecuadas. Por lo que el tratamiento debe proveer agua con las siguientes características Gray (1994):

- ◆ Segura, que no contenga compuestos químicos y/o organismos patógenos que pongan en riesgo la salud los consumidores
- ◆ Palatable, que no tenga un sabor desagradable
- ◆ Clara, libre de materia suspendida y turbiedad
- ◆ Incolora e insabora, que sea agradable para beber
- ◆ Razonablemente blanda, es decir, que los usuarios no utilicen grandes cantidades de detergentes y jabones para la ducha, lavar ropa y trastes
- ◆ No corrosiva al sistema de distribución, o bien, que no estimule al lixiviado de los metales de tuberías y tanques
- ◆ Con bajo contenido orgánico, ya que de otra forma se favorece el crecimiento de materia biológica en el sistema de distribución afectando la calidad del suministro de agua.

La elección del proceso de tratamiento comprende diversos factores que involucran tanto la calidad y cantidad de la fuente de agua, así como los recursos tecnológicos y económicos con los que se cuenta. La elección del tren de tratamiento depende básicamente de los factores que se enlistan a continuación (AWWA, 1990):

- La calidad de la fuente de abastecimiento
- La calidad del agua deseada en función del uso al que se va a destinar

- La confiabilidad y rentabilidad del equipo utilizado en el proceso
- Los requerimientos operacionales y de recursos humanos
- La flexibilidad del proceso ante un cambio en la calidad del agua y/o malfunciones del equipo
- El espacio disponible para el tratamiento y la disposición de residuos
- El capital y costos de operación (incluyendo la accesibilidad de los químicos)

Hay que mencionar que cada operación unitaria dentro del proceso se encuentra relacionada con el resto de las operaciones y por consiguiente influye de manera directa con la eficiencia global. Asimismo se debe considerar que aunque existen operaciones que se agrupan de acuerdo con su función, cada tren de tratamiento es único, ya que cada cuerpo de agua tiene características definidas que lo distinguen de los demás y consecuentemente requiere un tratamiento apropiado.

## **1 Selección de la fuente de abastecimiento**

Un factor importante en la selección del proceso de tratamiento del agua, es la caracterización de la fuente de abastecimiento, de esta manera es posible conocer cuáles son los requerimientos de materiales y equipo y también hacer la elección adecuada de tratamiento. Dentro de la caracterización del cuerpo de agua se incluye:

- o La calidad del cuerpo de agua
- o El equipo necesario para su captación (infraestructura para la toma, pozos, etc.)
- o Los requerimientos del tratamiento (material y equipo del proceso, costos y facilidad para la disposición de los residuos)
- o Los requerimientos para los sistemas de distribución

La eficiencia global del proceso de potabilización, será función de la combinación y buen manejo de los factores arriba mencionados, ya que todos ellos llevarán a garantizar un suministro de agua seguro para la población.

Como puede deducirse, la calidad intrínseca de los cuerpos de agua es el factor a partir del cual se derivan los demás aspectos implicados, entre ellos el tren de tratamiento que se aplicará al agua de la fuente de suministro. Como ya se mencionó en el apartado 1.3, las características de un cuerpo de agua varían uno a uno aunque pueden generalizarse en dos tipos de fuentes: las subterráneas y las superficiales. A continuación se presenta un panorama del tratamiento que requieren cada uno de estos dos tipos de cuerpos.

### ***Fuentes de abastecimiento superficiales***

La calidad de las aguas superficiales depende de una combinación de factores tanto climáticos como geológicos (Grey, 1994). Como se mencionó en el apartado 1.3.1 existen básicamente 2 tipos de cuerpos superficiales, los corrientes (ríos) y los estancados (lagos

y embalses). Con respecto a éstos su calidad cambia continuamente durante las lluvias y con los escurrimientos, los cambios en la turbiedad y otros constituyentes tienen un amplio intervalo de variación, por otro lado son susceptibles de sufrir derrames accidentales y transportar diversos contaminantes hacia la planta de tratamiento y el sistema de distribución. Por lo anterior, la selección del tratamiento debe considerar, en la medida de lo posible, los constantes cambios en la composición del agua.

Por otra parte, los lagos y embalses tienen en común cambios estacionales en la calidad del agua a lo largo del año, sin embargo, éstos son graduales y menos extremistas que los cambios en los ríos y corrientes. En contrapartida, durante las épocas de calor, los cuerpos estancados presentan capas estratificadas, donde las zonas más calientes están cerca de la superficie y las más frías en el fondo. Esto puede reducir la cantidad de oxígeno disuelto provocando una mayor solubilidad del Fe y el Mn, asimismo pueden aumentar los problemas por sabor y olor debido a la degradación de la materia orgánica en condiciones anaerobias y/o anóxicas. Por otra parte en la superficie puede haber un crecimiento desmedido de algas si es que hay un exceso de nutrientes y la temperatura es la conveniente. El crecimiento desproporcionado de las algas provocará cambios en el agua aumentando la turbiedad, la alcalinidad, sabor, olor, pH, entre otros.

Otras características que deben considerarse al buscar el tratamiento adecuado son el uso del suelo y sus características, la vegetación y la topografía ya que estos factores pueden influir directamente sobre los costos, p. ej. si se trata de un cuerpo de agua elevado no requerirá de una estructura de bombeo complicada. La tabla 1 presenta los procesos de tratamiento del agua recomendados para diferentes calidades de agua superficial.

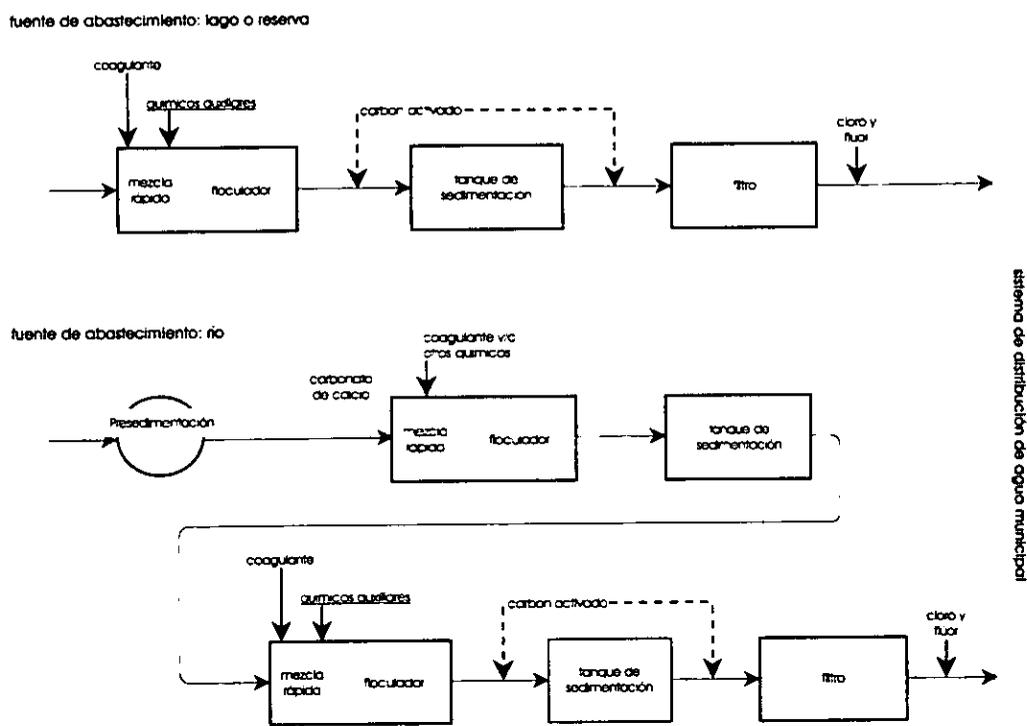
tabla 1 procesos para el agua superficial

| Calidad del agua                              | tratamiento   |                         |               |                   |                           | Pos-cloración |
|---|---------------|-------------------------|---------------|-------------------|---------------------------|---------------|
|   | Pre-cloración | Coagulación-floculación | sedimentación | Filtración rápida | Filtración lenta en arena |               |
| Clara y sin contaminación                     |               |                         |               |                   |                           | ○             |
| Ligeramente contaminada y con baja turbiedad  |               |                         |               | ○                 | ✓                         | ○             |
| Ligeramente contaminada y con media turbiedad |               |                         | ○             | ✓                 | ✓                         | ○             |
| Ligeramente contaminada y con alta turbiedad  |               | ✓                       | ✓             | ✓                 | ✓                         | ○             |
| Ligeramente contaminada con algas             | ✓             | ✓                       | ✓             | ✓                 |                           | ✓             |
| Alta contaminación y ligera turbiedad         | ✓             |                         |               | ✓                 | ✓                         | ✓             |
| Altamente contaminada con gran turbiedad      | ✓             | ✓                       | ✓             | ✓                 |                           | ✓             |

✓= necesario, ○= opcional

adaptado de: Hofkes, 1983

Como se observa en la tabla 1, el agua superficial requerirá principalmente de una clarificación química por medio de coagulación-floculación, sedimentación, y filtración (figura 1).



**figura 1** tren de tratamiento convencional para cuerpos de agua superficiales

fuentes: Grey, 1994

La figura 1 (a) presenta el tratamiento convencional para un lago o un embalse, ya que su calidad es más constante a lo largo del tiempo, su tratamiento será más sencillo que el de un cuerpo corriente. La purificación natural resulta en una reducción de la turbiedad, bacterias coliformes y color, aunque por otro lado el crecimiento de algas puede producir un aumento de la misma turbiedad y problemas para eliminar olores y sabores. Para eliminar la turbiedad se usa la coagulación, el tipo de coagulante utilizado se elegirá en función del tipo de agua y consideraciones económicas. El carbón activado se emplea para eliminar sabor y olor y la adición de cloro sirve para tomar medidas de desinfección del agua.

Con respecto al tratamiento del agua de un río (figura 1), éste requiere de un tratamiento más extenso y con una mayor flexibilidad operacional, que soporte cambios que pueden presentarse en la calidad del agua diariamente. Antes de aplicar un tratamiento químico es necesaria una presedimentación para eliminar sales y materia orgánica depositada. Generalmente, un río tiene dos procesos de coagulación y sedimentación para proveer una mayor eficiencia y flexibilidad en el tratamiento.

### Fuentes de abastecimiento subterráneas

Como ya se mencionó en el apartado 1.3.2, las aguas subterráneas se consideran de mayor calidad a las superficiales por su reducido contenido bacteriológico, baja turbiedad y concentración de compuestos orgánicos. En contrapartida tiene como componentes principales gases disueltos y sales minerales, inclusive en ocasiones se pueden encontrar trazas de químicos orgánicos como son los pesticidas y solventes, aunque en menor frecuencia y concentración que en las aguas superficiales.

Ya que las aguas subterráneas están expuestas a un menor número de contaminantes y su calidad es más constante requerirá de un menor número de etapas en el tratamiento. Sin embargo, cabe mencionar que debido a las dificultades de acceso, los costos del monitoreo y extracción del agua son mayores a los del agua superficial.

La tabla 2 resume el tipo de tratamiento que se aplica en función de diferentes calidades del agua.

tabla 2 tratamiento del agua subterránea

| calidad del agua   | tratamiento                   |                         |               |                        |           |
|--|-------------------------------|-------------------------|---------------|------------------------|-----------|
|  | aeración para                 |                         | sedimentación | filtración<br>(rápida) | cloración |
|  | incrementar<br>O <sub>2</sub> | reducir CO <sub>2</sub> |               |                        |           |
| aeróbica, ligeramente dura, no<br>corrosiva                |                               |                         |               |                        |           |
| aeróbica, blanda y corrosiva                               |                               | ✓                       |               |                        | ○         |
| anaeróbica, ligeramente dura,<br>no corrosiva, sin Fe y Mn | ✓                             |                         |               |                        | ○         |
| anaeróbica, ligeramente dura,<br>no corrosiva, con Fe y Mn | ✓                             |                         | ○             | ✓                      | ○         |
| anaeróbica, blanda, corrosiva,<br>con Fe y Mn              | ✓                             | ✓                       | ○             |                        | ✓         |
| anaeróbica, blanda, corrosiva,<br>con Fe y Mn              | ✓                             | ✓                       | ○             | ✓                      | ○         |

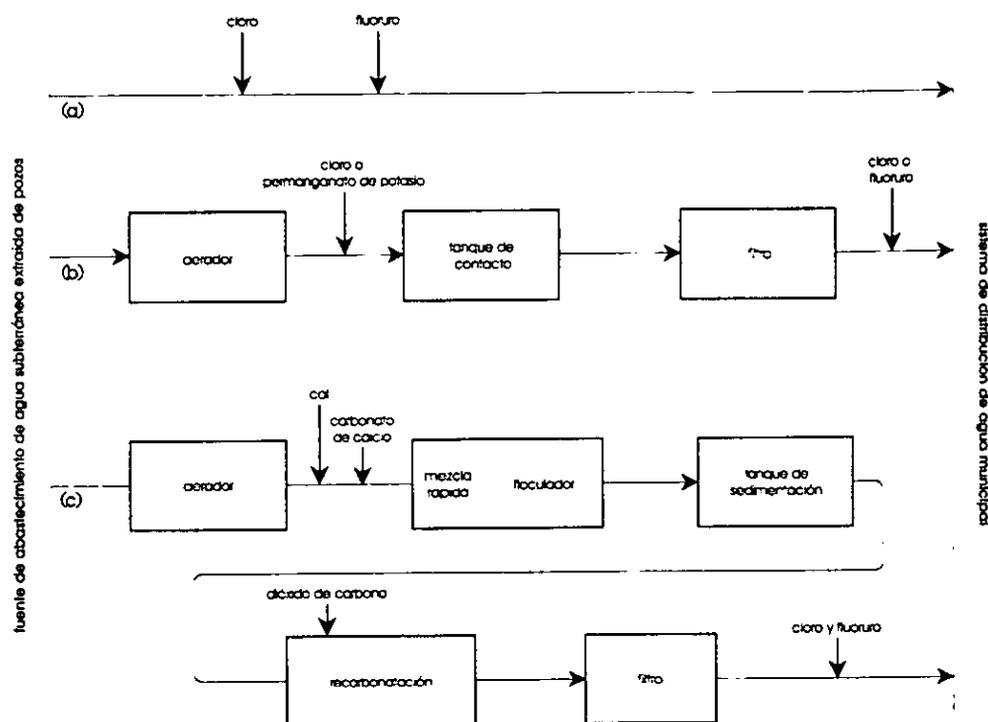
Fe: Hierro; Mn: Manganeso

✓ = necesario, ○ = opcional

adaptado de: Hofkes, 1983

Como puede observarse, los principales tratamientos que recibe el agua subterránea son la aeración y la cloración, éstos permiten liberar al agua de sabores y olores desagradables, así como de los microorganismos patógenos. Con el objetivo de mostrar

una idea más clara del tratamiento al agua subterránea, en la figura 2 se presentan tres diagramas típicos de acondicionamiento:



**figura 2** tratamientos convencionales de potabilización del agua subterránea  
fuente: Gray, 1994

Dependiendo del tipo de fuente de abastecimiento será el tratamiento que se aplique al agua, p. ej. cuándo proviene de un pozo, será generalmente fresca y libre de contaminantes, con una calidad uniforme que será fácilmente tratada. El proceso más simple utilizado es la desinfección y la fluoración (figura 2 a), la primera proveerá protección en la fuente de distribución contra los microorganismos y la fluoración reduce la incidencia de caries dental. Si el agua tuviera gases disueltos, éstos se liberan del agua por medio de la aeración. En el caso de pozos poco profundos recargados con aguas superficiales, la presencia de Fe y Mn disueltos se oxidaría al contacto con el O<sub>2</sub> del aire formando herrumbre que colorea el agua. Su remoción se lleva a cabo por la oxidación del Fe y Mn con cloro (Cl) o con permanganato de potasio (KMnO<sub>4</sub>) y eliminando los precipitados por filtración (figura 2 b). Cuando hay una dureza excesiva, frecuentemente se remueve por precipitación como en la figura 2 (c), el CO<sub>2</sub> se aplica para estabilizar el agua antes de su filtración.

## 2 El tratamiento del agua

Una vez que se han considerado tanto las características fisicoquímicas y biológicas del agua, así como el tratamiento más adecuado, es posible definir cada una de las operaciones que intervienen en el tratamiento del agua.

### *Criterios de selección del tratamiento del agua*

El tratamiento del agua consiste en una sucesión de operaciones unitarias que integran un proceso. En la tabla 3 se presentan las principales operaciones unitarias que se utilizan en el tratamiento del agua, aunque no todas ellas son empleadas en un mismo tren de tratamiento.

**tabla 3 principales operaciones unitarias empleadas para el tratamiento del agua**

|                          |                |                          |                   |
|--------------------------|----------------|--------------------------|-------------------|
| <input type="checkbox"/> | Almacenamiento | <input type="checkbox"/> | Filtración        |
| <input type="checkbox"/> | Aeración       | <input type="checkbox"/> | Ajuste del pH     |
| <input type="checkbox"/> | Coagulación    | <input type="checkbox"/> | Desinfección      |
| <input type="checkbox"/> | Floculación    | <input type="checkbox"/> | Ablandamiento     |
| <input type="checkbox"/> | Clarificación  | <input type="checkbox"/> | Remoción de lodos |

fuelle: Gray, 1994

# ANEXO C

## críterios de calidad para fuentes de abastecimiento de agua para uso y consumo humanos

---

### (1) 1,2-dicloroetano

Registro CAS No. 107-06-2

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| Usos                              | Intermediario en la producción de cloruro de vinilo y otros productos químicos, disolvente, fumigante para granos y como limpiador de alfombras y tapicería.  |
| Ocurrencia                        | Se ha hallado en el agua de bebida y sedimentos en concentraciones de hasta unos pocos $\mu\text{g/L}$ . Es producto de la desinfección del agua con $\text{Cl}_2$ . Está presente en el aire de las zonas urbanas y en los gases de la incineración de residuos y lixiviados.  |
| Clasificación convencional        | Líquido flamable  |
| Carcinogenicidad                  | Grupo 2B (Ver anexo A)  |
| Efectos adversos en el ser humano | En casos de envenenamiento agudo se ha observado hiperamia y lesiones hemorrágicas a lo largo del cuerpo, atribuidas a la reducción del nivel de sangre por taponamiento y también a la trombocitopenia.<br>La exposición ocupacional se asocia con problemas de anorexia, náusea, dolor abdominal, irritación de las membranas mucosas, disfunción del hígado y los riñones así como desórdenes neurológicos.<br>El 1,2-dicloroetano está reportado como inductor de partos prematuros en mujeres expuestas laboralmente y en esposas de trabajadores expuestos. |
| Tratamiento                       | Aeración, Ozonación y C activado.   |
| Determinación analítica           | Ver Tabla 1.  |

tabla 1 métodos de determinación analítica

| método   | límite de detección                                      | aplicaciones   |
|--|--|--|
| <b>métodos recomendados por las normas mexicanas (NMX) y por la EPA</b>  |  |  |
| Determinación de compuestos orgánicos volátiles en agua por Purga y Trampa en una Columna Capilar de Cromatografía de Gases con Fotoionización y Detectores de Conductividad Electrolítica en Serie<br>EPA 502 | No se presenta límite de detección.                      | Aguas para consumo, naturales (la mayoría de las aguas superficiales y subterráneas).      |
| Medida de Compuestos Orgánicos Purgables en Agua en Columnas Capilares CG/MS<br>EPA 524  | Límite de detección: 0.04 µg/L<br>Intervalo: 0.5-10 µg/L | Agua para bebida y aguas naturales (la mayoría de las aguas superficiales y subterráneas). |
| Medida de Compuestos Orgánicos Purgables en Agua en Columnas Capilares CG/MS<br>EPA 524  | Límite de detección: 0.1 µg/L<br>Intervalo: 0.1-10 µg/L  | Agua para bebida y aguas naturales (la mayoría de las aguas superficiales y subterráneas). |
| <b>métodos empleados para diferentes aplicaciones</b>  |  |  |
| Cromatografía de gases con la técnica de concentración de Bellard y Lichtenberg  | No se presenta   | Agua   |
| Cromatografía de gases y espectrometría de masa. Columna empacada con 0.2% de Carbowax 1500 en Carbowax C  | Niveles de microgramos/L                                 | Agua potable, superficial y de efluentes industriales                                      |
| Cromatografía de gases con ionización de flama y detector de captura de electrón   | 0.1 ppb  |  |
| Cromatografía de gases con ionización de flama y detector de captura de electrón en una columna capilar  | 0.1 ppb  | Agua   |

## (2) Ácido tricloroacético

Registro CAS No. 76-03-9

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Usos                       | Se utiliza como herbicida en combinación con el 2,4-D . Es un precipitante de proteínas y se emplea en la síntesis orgánica.  |
| Ocurrencia                 | En los Estados Unidos de América, se han identificado concentraciones de ácido tricloroacético hasta de 0.10 mg/L en el agua de consumo. Se le encuentra en agua natural y como subproducto de la desinfección del agua con CL. |
| Clasificación convencional | Sustancia corrosiva.  |
| Carcinogenicidad           | No existe clasificación del CIIC  |
| Tratamiento                | Ozonación.  |
| Determinación analítica    | Ver Tabla 2   |

tabla 2 métodos de determinación analítica

| Método  | Límite de detección                 | Aplicaciones                  |
|---|-------------------------------------|-------------------------------|
| <b>métodos recomendados por las normas mexicanas (NMX) y por la EPA</b>   |                                     |                               |
| NMX-AA-046-1981<br>Determinación de Plaguicidas organoclorados (método de cromatografía de gases)<br>21-04-1982 | Límite de detección: no determinado | Aguas naturales y residuales. |
| <b>métodos empleados para diferentes aplicaciones</b>   |                                     |                               |
| Cromatografía de gases con detector de captura de electrones  | ≤ 0.0001 mg/L<br>desv est. 5%       | Aguas naturales y residuales  |

**(3) Aiacloro**

Registro CAS No. 15972-60-8

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| Usos                              | Herbicida utilizado para controlar hierbas anuales y malezas de hoja ancha en cultivos de maíz, antes y después de su aparición.  |
| Ocurrencia                        | Se ha detectado en aguas subterráneas y superficiales. En el agua para consumo humano se tienen concentraciones inferiores a 2 µg/L. Desaparece del suelo por volatilización, fotodegradación y biodegradación, pero algunos subproductos de su degradación son persistentes en el suelo. |
| Clasificación convencional        | Tóxico  |
| Carcinogenicidad                  | No existe clasificación del CIIC.   |
| Efectos adversos en el ser humano | La ingestión tolerable diaria para humanos es de 0.1 mg/kg.d.   |
| Tratamiento                       | Los tratamientos recomendados para la remoción de plaguicidas son: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Precipitación química</li> <li>- Osmosis inversa</li> <li>- C activado</li> <li>- Intercambio iónico</li> </ul>   |
| Determinación analítica           | Ver Tabla 3   |

tabla 3 métodos de determinación analítica

| método  | límite de detección   | aplicaciones  |
|---|---|---|
| <b>métodos recomendados por las normas mexicanas (NMX) y por la EPA</b>   |   |   |
| Analisis de Pesticidas organoclorados y Productos Comerciales de Bifenilos Policlorados (PCB's), Productos en Agua por Microextracción y Cromatografía de Gases.<br>EPA 505 | Límite de detección: 0.225 µg/L<br>Intervalo: no determinado. | Aguas para consumo, y naturales (la mayoría de las aguas superficiales y subterráneas). |
| NMX-AA-046-1981<br>Determinación de Plaguicidas organoclorados (método de cromatografía de gases)<br>21-04-1982   | Límite de detección: no determinado                           | Aguas naturales y residuales.   |

tabla 3 métodos de determinación analítica

| método  | límite de detección | aplicaciones |
|---|---------------------|--------------|
| <b>métodos analíticos empleados para diferentes aplicaciones</b>  |                     |              |
| Cromatografía de gases con un detector selectivo de N en una columna empacada con 10% de OV-11 en gas Crom W-HP, 100-120 mesh | 0.2-10 ppb          |              |
| Cromatografía gas-líquida con ionización de detector de flama en una columna empacada con 5% SE-30 en 80/100 Chromosorb W HP. |                     | 5 o 10 µg/L  |

#### (4) Arsénico

Registro CAS No. 7440-38-2

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| Usos                              | Se emplea en metalurgia para endurecer el Cu en aleaciones con Pb y para la manufactura de vidrios. De sus compuestos los más tóxicos son el trióxido y el pentóxido de As ( $As_2O_3$ y $As_2O_5$ ), comercialmente utilizados como raticidas, insecticidas y herbicidas.  |
| Ocurrencia                        | El As es un elemento de color gris y aspecto metálico muy difundido en la naturaleza. Los compuestos de mayor importancia son: el trióxido de As ( $As_2O_3$ o As blanco), el arsenito de Na, el verde paris (mezcla de compuestos de As y Cu), el arsenato básico de Pb, el ácido cacodílico y el ácido metAs. El arsenito de Na comercial es un insecticida y herbicida que se compone de una mezcla de ortoarsenito de Na ( $Na_3AsO_3$ ), metarsenito de Na ( $NaAsO_2$ ) y piroarsenito de Na ( $Na_4As_2O_5$ ).<br>Típicamente la concentración de As en aguas naturales se encuentra entre 1 y 2 µg/L y en aguas marinas se le halla en concentraciones ≈ 4 mg/L. Altas concentraciones de As en el agua son consecuencia de la disolución de minerales y menas, efluentes industriales y el lavado de la atmósfera. En algunas zonas, las concentraciones en el agua subterránea son elevadas debido a la composición geológica del área, donde se han reportado concentraciones de hasta 12 mg/L de As.  |
| Clasificación                     | Sustancia tóxica y carcinogénica  |
| Toxicidad en mamíferos y aves     | La DL (con trióxido de As) para humanos varía en un rango de 1.5-500 mg/kg de peso corporal.<br>Se han reportado intoxicaciones agudas por As asociadas con la ingesta de agua de pozos con concentraciones de 1.2 y 21.0 mg/L.   |
| Carcinogenicidad                  | Grupo 1 (ver ANEXO A).  |
| Efectos adversos en el ser humano | Los compuestos orgánicos del As como arsenatos [As (V)], son más tóxicos que los arsenitos [As (III)] y la Arsenita.<br>Los primeros síntomas de intoxicación aguda incluyen dolor abdominal, vómito, diarrea, dolor muscular y debilidad con enrojecimiento de la piel. Estos síntomas son frecuentemente seguidos por entumecimiento y hormigueo de las extremidades, calambres musculares y la aparición de tumores. En un lapso de un mes los síntomas pueden incluir muerte.<br>Los signos crónicos de intoxicación por As, ingerido en agua contaminada, incluyen lesiones dérmicas, neuropatías periféricas, cáncer en la piel y muerte vascular periférica. Se observaron efectos en el sistema cardiovascular en niños que ingerían agua contaminada con dosis de 0.6 mg/L de As durante un promedio de 7 años.<br>A bajas concentraciones, el As se acumula en el organismo y los efectos que produce no permiten identificar fácilmente el origen del problema.<br>Por ingestión causa dolor abdominal, vómito, disminución del apetito, debilidad, diarrea y estreñimiento alternados, neuritis, dermatitis y caída del pelo. Exposiciones crónicas provocan daños cardíacos. |

Dosis de 5 a 50 mg de trióxido de As es tóxica y 120 mg causan la muerte. Un resumen de los efectos tóxicos del As se muestra en la Tabla 4.

**tabla 4 resumen de efectos tóxicos del As**

| concentración      | comentario   |
|--------------------|--|
| 0 - 10 µg/L        | No se presentan efectos.   |
| 10 - 200 µg/L      | Concentración tolerable, existe bajo riesgo de cáncer en la piel.  |
| 200 - 300 µg/L     | Posibilidad de lesiones en la piel. Se incrementa el riesgo de contraer cáncer en la piel después de un largo periodo de exposición.   |
| 300 - 600 µg/L     | Posibles efectos adversos en personas sensibles; la exposición durante un corto periodo no tiene efectos; lesiones en la piel, incluyen hiperpigmentación que aparecerá después de un largo periodo de exposición. |
| 600 - 1000 µg/L    | Aparecen síntomas de envenenamiento crónico como lesiones en la piel, incluyendo hiperpigmentación que aparecerá después de un largo periodo de exposición.  |
| 1000 - 10 000 µg/L | Puede provocar cáncer o la muerte como resultado del envenenamiento crónico.   |
| > 10 000 µg/L      | Provoca la muerte como efecto del envenenamiento agudo.  |

**Tratamiento** Los principales métodos de remoción son:  
 Precipitación con sulfuros para obtener efluentes con una concentración menor de 0.05 mg/L con pH entre 6 y 7. Es efectiva sólo con arsenatos.  
 Coagulación con hidróxidos metálicos, el sulfato férrico y alumbre con eficiencias de remoción del orden del 98 al 99%. Para altas concentraciones se recomienda una coprecipitación en etapas.  
 Adsorción sobre C activado o alúmina activada  
 Intercambio iónico con resinas de base fuerte y débil para eliminar tanto arsenatos como arsenitos con eficiencias del 82 al 100%.

**Determinación analítica** Debido a su extrema toxicidad es necesario se tomen medidas de seguridad, siendo más recomendable medir el As total, esto es, el As disuelto y el presente en partículas.  
 Ver Tabla 5.

**tabla 5 métodos de determinación analítica**

| método   | límite de detección   | aplicaciones  |
|--|---|---|
| <b>métodos recomendados por las normas mexicanas (NMX) y por la EPA</b>  |   |   |
| Espectrometría de absorción atómica con técnica de horno<br>EPA 206.2  | Límite de detección: 1 µg/L<br>Intervalo: 5-100 µg/L                                      | Agua para consumo, superficial y salina. Agua residual  |
| Espectroscopía de plasma acoplado inductivamente (ICP)<br>EPA 200.7  | Límite de detección: 53 µg/L<br>Intervalo: no determinado                                 | Elemento en estado disuelto, suspendido o total en agua para consumo y superficial y en agua residual doméstica e industrial. |
| NMX-AA-046-1981<br>Determinación de As<br>(método espectrofotométrico)<br>21-04-1982                           | Límite de detección: no determinado   | Es aplicable en aguas naturales, residuales, estuarinas y costeras.   |
| NMX-AA-051-1981<br>Determinación de metales<br>(método espectrofotométrico de absorción atómica)<br>22-02-1982 | Los límites de detección dependen de la sensibilidad del equipo y de cada elemento en sí. | Aguas naturales y residuales.   |
| <b>métodos empleados para diferentes aplicaciones</b>  |   |   |
| Absorción atómica, técnica de horno a una λ 193.7 nm   | 0.005 a 0.50 mg/L   | 0.0001 mg/L   |
| Espectrometría a 535 nm  | > 10 µg/L   | > 10 µg/L   |

Cuando el límite de detección se encuentra arriba del criterio establecido, se requieren procedimientos de concentración de muestra estándar.  
 Al igual que en todas las determinaciones de metales trazas, se debe tener cuidado para no contaminar las muestras de agua.

**(5) Atrazina**

Registro CAS No. 1912-24-9

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Usos                              | Herbicida selectivo empleado antes y después de la aparición de malezas. Actúa como regulador del crecimiento de las plantas.  |
| Ocurrencia                        | Se han detectado residuos de atrazina en agua de distribución, superficial, subterránea y muestras de río.<br>Es relativamente estable, tanto en el suelo como en el medio acuático, aunque en el primero se degrada por fotólisis y acción microbiana. Tiene una vida media del orden de meses. |
| Clasificación convencional        | Tóxico   |
| Carcinogenicidad                  | Grupo 2B (ver anexo A)   |
| Efectos adversos en el ser humano | Los síntomas clínicos por contacto directo incluyen manos rojas, hinchadas, con ampollas y hemorragia entre los dedos.<br>Resumen de efectos Tabla 6.  |

**tabla 6 resumen de efectos tóxicos**

| concentración | comentario   |
|---------------|--|
| 0 - 2 µg/L    | No se observan efectos adversos con esta exposición durante toda la vida.  |
| 2 - 20 µg/L   | No hay riesgo de efectos durante los primeros 7 años de exposición. Por periodos más largos se incrementa el riesgo de incidencia de cáncer. |
| > 20 µg/L     | Posibilidad de inducción de cáncer en un periodo relativamente largo.  |

|             |   |
|-------------|---|
| Tratamiento | Los tratamientos recomendados para la remoción de plaguicidas son: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Precipitación química</li> <li>• Osmosis inversa</li> <li>• C activado</li> <li>• Intercambio iónico</li> </ul> |
|-------------|---|

|                         |             |
|-------------------------|-------------|
| Determinación analítica | Ver Tabla 7 |
|-------------------------|-------------|

**tabla 7 métodos de determinación analítica**

| método   | límite de detección   | aplicaciones  |
|--|---|---|
| <b>métodos recomendados por las normas mexicanas (NMX) y por la EPA</b>  |   |   |
| NMX-AA-046-1981<br>Determinación de Plaguicidas organoclorados (método de cromatografía de gases)<br>21-04-1982  | Límite de detección: no determinado                         | Aguas naturales y residuales.   |
| Análisis de Pesticidas organohaluros y Productos Comerciales de Bifenilos Policlorados (PCB's), Productos en Agua por Microextracción y Cromatografía de Gases.<br>EPA 505 | Límite de detección: 2.4 µg/L<br>Intervalo: no determinado. | Aguas para consumo, y naturales (la mayoría de las aguas superficiales y subterráneas). |
| <b>métodos empleados para diferentes aplicaciones</b>  |   |   |
| Cromatografía de gases con detector específico de N  | 0.4 µg/L  | Agua  |
| Inhibición de la actividad fotolítica de CLplastos aislados directamente en el plato   | 1-0.05 ng/mancha  | Agua superficial  |

tabla 7 métodos de determinación analítica

| método   | límite de detección | aplicaciones |
|--|---------------------|--------------|
| Cromatografía de gases utilizando un detector de ionización de flama alcali y una columna empacada con 2% de NPGS (neopentil glicol succinato) en Crsorb W | 0.001 ppm           | Agua         |

**(6) Bario, Ba**

Registro CAS No. 7440-39-3

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Usos                          | Se emplea en la industria de la cerámica, el vidrio, la electrónica, las computadoras y para radios. Además, se usa en la manufactura de válvulas y aleaciones. Es extintor para incendios de U y Pu.   |
| Ocurrencia                    | <p>El Ba es un elemento común de la naturaleza (el 16<sup>avo</sup>) pero su presencia en agua es sólo al nivel de trazas. Algunas aguas superficiales y marinas contienen Ba y en algunos cuerpos de agua se ha llegado a encontrar concentraciones de hasta 1.6 mg/L. Las sales de Ba frecuentemente provienen de los venenos para ratones.</p> <p>En forma natural, el Ba existe como carbonato. Se encuentra en suelos, rocas y en los depósitos de menas de Pb y Zn, también se halla en tejidos de plantas y animales.</p> <p>Las emisiones de Ba en el aire provienen de mineras, refineras, y del procesamiento de menas de Ba. El uso de combustibles fósiles puede liberar Ba. La detonación de equipo nuclear en la atmósfera es una fuente de Ba radiactivo.</p> <p>La variabilidad de la ocurrencia del Ba en agua embotellada es de 0.007 a 0.660 mg/L y en aguas subterráneas de 0.007 a 1.16 mg/L, mientras que para agua tratada es más homogénea (de 0.013 a 0.140 mg/L). El valor promedio para aguas subterráneas es mayor que la concentración máxima permitida de acuerdo con las guías de la CE. Los niveles de Ba no se afectan de manera significativa durante el transporte del agua.</p> |
| Clasificación convencional    | Sustancia que en contacto con agua emite gas flamable.  |
| Metabolismo y farmacocinética | <p>Las sales insolubles del Ba (sulfato de Ba) no son absorbidas por el intestino y se excretan en las heces fecales del hombre y los animales.</p> <p>En humanos, la mayor cantidad de Ba se encuentra en la médula ósea (cerca del 91%), el resto se localiza en los tejidos blandos como el cerebro, corazón, riñones, bazo, páncreas y pulmones. El metabolismo del Ba en el esqueleto humano es similar al del Ca aunque la incorporación de estos dos elementos es cuantitativamente diferente.</p> <p>Por vía nasal, después de 4 h la dosis de Ba administrada se absorbe en 61% comparado con el 11% de la absorción gástrica. El tiempo de vida media (<math>t_{1/2}</math>) del Ba en el cuerpo es de 50 días.</p>   |
| Efectos en el ser humano      | <p>En pruebas con linfocitos humanos, realizadas <i>in vitro</i>, con Ba y PHA (fotohemaglutina) se obtuvieron resultados negativos induciéndose blastogénesis al usar [3H] timidina.</p> <p>En general, la principal fuente de exposición al Ba son los alimentos. Los efectos tóxicos generados en adultos con dosis menores a 0.2 - 0.5 mg/kg son gastroenteritis aguda y la pérdida de reflejos con parálisis muscular progresiva. La dosis considerada como letal para el ser humano oscila entre 550 y 660 mg, lo que para una ingesta sólo por agua equivale a una concentración de 225 a 330 mg/L.</p> <p>El Ba puede ocasionar efectos severos en el corazón, los vasos sanguíneos y los nervios.</p>  |
| Tratamiento                   | La sedimentación secundaria remueve cerca del 90% de Ba. El Ba puede ser removido por precipitación como sulfato de Ba al agregar sulfuro de Na al  |

agua. También se puede lograr con carbonato de Ca a pH alto (10-10.5). En ambos casos se tienen eficiencias del 98%. El intercambio iónico para el Ba reactivo-140 tiene eficiencias del 99.999%, mientras para Ba no reactivo del 99%. La ósmosis inversa y la electrodiálisis remueven del 99 al 100% de Ba.

Determinación analítica Ver tabla 8

**tabla 8 métodos de determinación analítica**

| método  | límite de detección   | aplicaciones  |
|---|---|---|
| <b>métodos recomendados por las normas mexicanas (NMX) y por la EPA</b>   |   |   |
| Absorción Atómica (AA)<br>Aspiración Directa<br>EPA 7080  | Límite de detección: 0.1 mg/L<br>Intervalo: 1-20 mg/L                                     | Agua de bebida, aguas superficiales y salinas y aguas residuales.                 |
| Técnica de Horno de Espectrometría de Absorción Atómica (AAS)<br>Metales (Totales, Disueltos, Suspendidos)<br>EPA 208.2 | Límite de detección: 2 µg/L<br>Intervalo: 10 - 200 µg/L                                   | Agua de bebida, aguas superficiales y salinas y aguas residuales.                 |
| Espectroscopía de plasma acoplado inductivamente (ICP)<br>EPA 200.7   | Límite de detección: 2 µg/L<br>Intervalo: no establecido                                  | Agua de bebida, aguas superficiales y aguas residuales industriales y domésticas. |
| NMX-AA-051-1981<br>Determinación de metales (método espectrofotométrico de absorción atómica)<br>22-02-1982             | Los límites de detección dependen de la sensibilidad del equipo y de cada elemento en sí. | Aguas naturales y residuales.   |
| <b>métodos empleados para diferentes aplicaciones</b>   |   |   |
| Absorción atómica; horno.   | 0.002   |   |
| Absorción atómica; aspiración directa.  | 0.1   |   |
| Plasma acoplado inductivamente.   | 0.002 (0.001)   |   |

**(7) Benceno**

Registro CAS No. 71-43-2

**Usos** El benceno se utiliza principalmente como materia prima para fabricar otros productos orgánicos (resinas, plásticos, nylon-66, poliamidas y estireno). Interviene en la fabricación de detergentes, explosivos y productos farmacéuticos. Se usa como solvente de grasas, tintas, aceites, pinturas, plásticos y caucho.

**Ocurrencia** El benceno del agua procede de los efluentes industriales y de la contaminación atmosférica siendo la principal fuente la emisión de los vehículos al estar presente en la gasolina. En el agua de bebida, la concentración es por lo general inferior a 0.005 mg/L. Se produce en los combustibles por coquización del C y la aromatización y ciclización de hidrocarburos parafínicos.

**Clasificación convencional** Líquido altamente flamable y tóxico.

**Carcinogenicidad** grupo 1 (ver anexo A)

**Metabolismo y farmacocinética** El benceno es parcialmente eliminado sin alteraciones en la espiración. En la orina de humanos se encuentran productos de su la oxidación como el benceno epóxido, los fenoles y difenoles, el catecol, la hidroquinona, la benzoquinona y el 1,2,4-bencenotriol. Cantidades tóxicas de benceno pueden ser absorbidas a través de la piel.

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Efectos adversos en el ser humano | La exposición aguda de seres humanos a elevadas concentraciones de benceno afecta principalmente al sistema nervioso central. En concentraciones menores, el benceno es tóxico para el sistema hematopoyético, produciendo alteraciones hematológicas, inclusive leucemia.<br>La exposición ocupacional al benceno causa leucemia en humanos y está ligada a la aparición de mieloma múltiple. |
| Tratamiento                       | Teóricamente se obtienen buenas eficiencias de remoción al emplear <ul style="list-style-type: none"> <li>• Extracción con solventes</li> <li>• Ozonación</li> <li>• Carbón activado</li> <li>• Resinas de intercambio iónico</li> </ul>   |
| Determinación analítica           | Ver Tabla 9  |

**tabla 9 métodos de determinación analítica**

| método  | límite de detección                         | aplicaciones  |
|---|---|---|
| <b>métodos recomendados por las normas mexicanas (NMX) y por la EPA</b>   |   |   |
| Compuestos orgánicos volátiles en agua por Purga y Trampa en Columnas Capilares de Cromatografía de Gases con Fotoionización y Detectores en Serie de Conductividad Electrolítica.<br>EPA 502 |   | Aguas para consumo, y naturales (la mayoría de las aguas superficiales y subterráneas). |
| Medida de Compuestos Orgánicos Purgables en Agua por Columnas Capilares GC/MS<br>EPA 524  | Límite: 0.04 µg/L<br>Intervalo: 0.1-10 µg/L | Aguas para consumo, y naturales (la mayoría de las aguas superficiales y subterráneas). |
| <b>métodos empleados para diferentes aplicaciones</b>   |   |   |
| Cromatografía de gases con detector de ionización de flama  | 1 µg/L-45 mg/L                              | Agua superficial y aguas residuales   |
| Cromatografía de gases con la técnica de Bellar y Lichtenberg   |   | Agua  |
| Cromatografía de gases con la técnica de arrastre de gas.   | 4 µg/L                                      | Agua residual   |
| Cromatografía de gases con una columna empacada con propilenglicol en Crsorb W  |   | Agua residual   |
| Cromatografía de gases con detector de ionización de flama  | 0.005-0.05 ppm                              | Agua residual   |
| Cromatografía de gases con conducción electrolítica (EICD) y detección por fotoionización (PID)   | ppb de compuestos orgánicos en agua         | Agua potable y de descargas industriales  |

**(8) Bentazona**

Registro CAS No. 25057-89-0

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Usos                       | Herbicida de amplio espectro utilizado en cultivos diversos.  |
| Ocurrencia                 | Es fotodegradable en el suelo y el agua. Es muy móvil en el suelo y muestra una persistencia moderada en el medio ambiente. Se ha detectado en aguas subterráneas y, en general, tiene una marcada tendencia a presentarse en ella. |
| Clasificación convencional | Sub-clasificación: Tóxico.  |
| Tratamiento                | Los tratamientos recomendados para la remoción de plaguicidas son:<br>- Precipitación química   |

- Osmosis inversa
- C activado
- Intercambio iónico

Determinación analítica Ver Tabla 10.

**tabla 10 métodos de determinación analítica**

| método   | límite de detección  | aplicaciones  |
|--|--|---|
| <b>métodos recomendados por las normas mexicanas (NMX) y por la EPA</b>  |  |   |
| Herbicidas clorados por GC utilizando metilación o pentafluAubenzilación derivación: Técnica de columnacapilar. EPA 8151                 | Límite de detección: $\approx 0.2 \mu\text{g/L}$<br>Intervalo: no determinado. | Incluye una amplia variedad de matrices acuosas y sólidas. Aguas para consumo, subterráneas, residuales industriales, superficiales, suelos y sedimentos. |
| <b>métodos analíticos empleados para diferentes aplicaciones</b>   |  |   |
| Cromatografía de gases con recombinación continua de la tasa del detector y una columna empacada con silicón SE-30 en Cromaton N-AW-DMCS | 10 ppm   | Aguas   |

**(9) Boro, B**

Registro CAS No.

**Usos** El B es importante por su participación en la utilización de la energía y para el desarrollo y mantenimiento del cuerpo.

**Ocurrencia** Es un mineral traza esencial para las plantas, los humanos y los animales. Ha sido demostrado que sus efectos bioquímicos en la sangre cambian el metabolismo mineral y energético. Su presencia en el agua se debe más a factores naturales que a descargas antropogénicas, aunque se encuentra en algunos detergentes, sobre todo industriales. En agua potable rara vez excede 1 mg/L y en agua de mar alcanza hasta 5 mg/L. En agua de riego, 2 mg/L son dañinos e incluso 1 mg/L afecta especies sensibles, como los cítricos. El B en el agua se encuentra como anión borato. Para el hombre, la fuente principal de B es el agua de consumo, en la que su concentración varía considerablemente en función de la ubicación geográfica. También proviene de frutas, vegetales, legumbres y nueces (plantas dicotiledóneas). Cantidades inferiores se encuentran en granos, pan y cereales (plantas monocotiledóneas), carne de res, puerco, pescado y leche.

**Efectos adversos en el ser humano** Casi todo el B que entra al cuerpo humano a través de la dieta o por absorción de la piel es excretado en la orina. Sin embargo, se debe tener cuidado pues el consumo de cantidades importantes pueden causar toxicidad aguda con náusea, vómito, dolor de cabeza, diarrea, hipotermia, ansiedad, daño a los riñones y muerte por colapso respiratorio. Los síntomas de toxicidad crónica incluyen la pérdida de apetito, náusea, pérdida de peso y decremento de la actividad sexual, del volumen seminal y de la cantidad de espermas. La muerte por envenenamiento con B es rara y probablemente se deba a los cambios que provoca en el balance electrolítico y al mal funcionamiento del riñón. A pesar de ser un elemento esencial, concentraciones del orden de 30 mg/L tienen efectos fisiológicos sensibles, afectando al sistema nervioso central. Una ingestión constante causa borismo, pero a las concentraciones usualmente encontradas en agua no requiere control. La dieta de un adulto en Estados Unidos contiene de 1 a 2 mg B/d. El uso de B suplementario no es recomendado. La dosis letal mínima para humanos no se conoce, aunque dosis de 18 a 20 g ha sido observada como fatal en adultos.

**Tratamiento** Los procesos de ósmosis inversa con membranas de acetato de celulosa a pH 5 eliminan del 38 al 60% de B total. Las resinas de intercambio iónico presentan una alta selectividad para la remoción del B como borato y ácido bórico, el porcentaje de remoción es del 90%. La Amberlita IRA-943 presenta una gran selectividad. La presencia de otras sales inorgánicas no interfiere con la capacidad de la resina y su eficiencia es independiente del pH y la fuerza iónica.

**Determinación analítica** Ver Tabla 11

**tabla 11 métodos de determinación analítica**

| método  | límite de detección  | aplicaciones  |
|---|--|---|
| <b>métodos recomendados por las normas mexicanas (NMX) y por la EPA</b>   |  |   |
| Espectroscopía de plasma acoplado inductivamente (ICP) EPA 200.7          | Intervalo: no determinado.<br>Límite de detección 5 µg/L   | Presencia de elementos disueltos, suspendidos o totales en agua de bebida, aguas superficiales o en aguas residuales domésticas e industriales. |
| NMX-AA-063-1981<br>Determinación de B (método potenciométrico) 08-12-1981 | intervalo de concentración de 0.10 a 5.00 mg/L<br>El intervalo se puede ampliar mediante dilución o concentración de la muestra. | Método es aplicable en aguas naturales y residuales.  |

**(10) Cadmio, Cd**

Registro CAS No. 7440-43-9

**Usos** Forma aleaciones con Al, Cu, Ni, Au, Ag, Bi y Zn para facilitar su fundición. Interviene en fabricación de electrodos de baterías alcalinas, en reactores nucleares para atrapar neutrones, en amalgamas dentales, en la manufactura de lámparas fluorescentes, en semiconductores, en plásticos, fotoceldas, joyería y en la industria automovilística.

**Ocurrencia** Se encuentra en las menas de Zn como greenockita (CdS) y otavita (CdCO<sub>3</sub>). Forma fuertes ligaduras con partículas del suelo, los sedimentos y la materia orgánica. La actividad volcánica es la principal fuente natural de liberación de Cd. De origen antropogénico, se encuentra en los desechos líquidos del electroplatinado o de la industria galvanoplástica, la corrosión de tubería galvanizada, descargas de refinerías. Es componente de fertilizantes y arrastrado por la lluvia como contaminación local del aire.

**Clasificación convencional** Dañino

**Carcinogenicidad** Grupo 2A (ver anexo A)

**Teratogenicidad y efectos reproductivos** Dosis de 10 mg/L de Cd administrado en ratones por medio del agua de consumo durante 2 años induce mortalidad fetal, enanismo y malformaciones.

**Efectos adversos en el ser humano** El Cd es un compuesto sumamente tóxico que ataca principalmente los riñones, destruye el tejido testicular y los glóbulos rojos. La absorción de los compuestos del Cd depende de su solubilidad. Este elemento se acumula principalmente en los riñones y tiene una vida media en los seres humanos prolongada, de 10 a 35 años. La concentración crítica es aproximadamente de 200 mg/kg que se alcanza con un consumo diario de 0.175 mg en 50 años. Los primeros síntomas que provoca son parecidos a los del reumatismo y de la neuritis, los huesos se ablandan y duelen mucho. Con frecuencia ocurren

fracturas y los pacientes se ven obligados a permanecer en cama.  
La ingesta diaria por vía oral es de 0.010 a 0.035 mg/L. Se ha demostrado que la ingestión cotidiana de agua con 0.047 mg/L de Cd durante un largo periodo no provoca alteraciones.  
Resumen de los efectos Tabla 12.

**tabla 12 resumen de efectos del Cd**

| concentración  | comentario   |
|----------------|--|
| 0 - 5 µg/L     | No se han observado efectos adversos para la salud.  |
| 5 - 10 µg/L    | No se han observado efectos adversos para la salud.<br>En fumadores y personas con un nivel de Zn bajo se han observado efectos subclínicos después de un largo periodo de exposición.               |
| 10 - 20 µg/L   | Umbral para el daño a la salud con exposición continua.<br>Exposiciones accidentales no tienen efectos sobre la salud.   |
| 20 - 1000 µg/L | Peligro de daños en los riñones con exposiciones durante periodos prolongados.<br>Exposiciones breves durante una semana no causan daños evidentes. La exposición no debe exceder más de una semana. |
| > 1000 µg/L    | Daño por envenenamiento agudo con Cd, con la posibilidad de fatalidades.   |

**Tratamiento** Precipitación con hidróxidos metálicos con pH entre 9.5 y 12.5. Si hay agentes acomplejantes (p. ej. cianuros) es difícil su precipitación por lo que se requiere eliminarlos previamente, para ello se usan sulfuros. El proceso se lleva a cabo a pH altos y en dos etapas. La primera involucra la neutralización del agua residual con cal a pH 5.0 y la segunda consiste en ajustar el pH a 6.5 y agregar sulfuro de Na para precipitar Cd y otros metales pesados. La coprecipitación con hidróxido férrico a pH de 8.5 mejora la remoción de Cd.  
El intercambio iónico aparte de eliminarlo, permite la recuperación del metal. También se aplica la ósmosis inversa, la electrodiálisis y la congelación.

**Determinación analítica** El establecimiento de los criterios para el Cd se basa en la toxicidad del Cd disuelto. Debido a la extrema toxicidad, se deben considerar medidas de prevención y en tal caso se aconseja el empleo de métodos que midan Cd total, esto es, que midan las formas disueltas y particuladas.  
Ver Tabla 13.

**tabla 13 métodos de determinación analítica**

| método  | límite de detección   | aplicaciones  |
|---|---|---|
| métodos recomendados por las normas mexicanas (NMX) y por la EPA  |   |   |
| Absorción atómica<br>EPA 7130   | 0.005 mg/L<br>Intervalo 0.05 - 2 mg/L   | Agua para consumo, superficial y salina, Agua residual.   |
| Espectroscopia de plasma acoplado inductivamente<br>EPA 200.7   | 4 µg/L  | Elemento en estado disuelto, suspendido o total en agua para consumo y superficial y en agua residual doméstica e industrial. |
| NMX-AA-051-1981<br>Determinación de metales (método espectrofotométrico de absorción atómica)<br>22-02-1982 | Los límites de detección dependen de la sensibilidad del equipo y de cada elemento en sí. | Aguas naturales y residuales.   |
| NMX-AA-060-1981<br>Determinación de Cd (método colorimétrico de la ditizona)<br>26-04-1981                  | Límite de detección: 0.01 mg/L  | Aplica en aguas naturales y residuales  |

## (11) Cianuros, CN<sup>-</sup>

Registro CAS No. 57-12-5

**Usos** Los cianuros de Na y K son usados para la extracción de minerales, en la galvanoplastia. También se emplean para fabricar ácido cianhídrico y fumigantes, para limpiar metales y en la elaboración de colorantes y pigmentos.

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Ocurriencia                       | Entra al agua por descargas de fábricas que emplean metales y fábricas de plásticos y fertilizantes.   |
| Clasificación convencional        | Sustancia tóxica y dañina  |
| Efectos adversos en el ser humano | <p>Los cianuros interfieren con la disponibilidad de oxígeno en las células por la inhibición de la oxidasa, una enzima necesaria para transportar el oxígeno celular.</p> <p>Los efectos sistémicos incluyen constricción del tórax, náusea, vómito, mareo, dolor de cabeza, palpitaciones, hiperanea y disnea, bradicardia, inconciencia, convulsiones y muerte.</p> <p>Tienen efectos sobre la tiroides y en el sistema nervioso cuando es consumido en bajas concentraciones por largos periodos.</p> <p>La dosis letal en humanos es aproximadamente de 50 mg de HCN o de 250 mg como cianuros.</p> <p>El envenenamiento humano puede ocurrir por inhalación de vapor, la ingestión o la absorción a través de la piel.</p> <p>Se ha comprobado que 4.7 mg de CN<sup>-</sup> al día no hay efecto alguno por lo que se considera que se puede beber 2 L de agua por día con un valor máximo permisible de 2.35 mg/L de cianuros sin riesgo.</p> |
| Tratamiento                       | <p>La cloración alcalina oxida parcialmente los cianuros a cianato (CNO<sup>-</sup>), que son 20 veces menos tóxicos que el compuesto original, o completamente a CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>. El principal problema asociado con la eliminación del cianuro es la presencia del Fe soluble que actúa como interferencia.</p> <p>Las aguas residuales con alta concentración de cianuros son tratadas preferencialmente por descomposición electrolítica y recuperación evaporativa.</p>  |
| Determinación analítica           | Tablas 14  |

**tabla 14 métodos de determinación analítica**

| método  | límite de detección  | aplicaciones   |
|---|--|--|
| <b>métodos recomendados por las normas mexicanas (NMX) y por la EPA</b> |  |  |
| Colorimetría EPA 9012   | No se establece  | Se emplea para determinar la concentración de cianuro inorgánico en agua, agua residual o lixiviados.  |
| NMX-AA-058-1982<br>Determinación de cianuros<br>14-12-1982              | Método titulométrico: se aplica para concentraciones superiores a 1 mg/L.<br>Método colorimétrico: se aplica para concentraciones inferiores a 20 ug/L. Para concentraciones mayores, deberán hacerse las diluciones correspondientes. | Aplicación de los métodos titulométrico y colorimétrico para la determinación de cianuros en aguas naturales (superficiales y marinas) y a aguas residuales. |

**(12) Cloruro de vinilo**

Registro CAS No. 75-01-4

|             |  |
|-------------|--|
| Usos        | Se utiliza como intermediario en la producción de compuestos clorados, principalmente para el cloruro de polivinilo. Es empleado como gas refrigerante y en la industria de los plásticos.   |
| Ocurriencia | <p>El cloruro de vinilo puede formarse en el agua a partir del tricloroeteno y tetracloroeteno.</p> <p>Se estima que la concentración básica de cloruro de vinilo en el aire en Europa Occidental oscila entre 0.1 y 0.5 µg/m<sup>3</sup>. Las concentraciones residuales presentes en animales son inferiores a 10 µg/kg.</p> <p>Este compuesto ha sido hallado en el agua para consumo humano en concentraciones de hasta unos microgramos/L y, en ocasiones, se han</p> |

observado concentraciones muy superiores en las aguas subterráneas.  
El cloruro de vinilo es metabolizado produciendo compuestos muy reactivos y mutagénicos.

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Clasificación convencional        | Gas flamable y tóxico  |
| Carcinogenicidad                  | Grupo 1 (ver anexo A)  |
| Efectos adversos en el ser humano | Estudios epidemiológicos muestran una relación entre la exposición al cloruro de vinilo y el angiosarcoma del hígado. Asimismo, confirman que la exposición al cloruro de vinilo causa otras formas de cáncer, p. ej. carcinoma hepatocelular, tumores cerebrales, tumores del pulmón y tumores malignos del sistema linfático y hematopoyético. |
| Tratamiento                       | La ozonación es el método de tratamiento que mejor eficiencia de remoción ofrece.  |
| Técnicas analíticas               | Ver Tabla 15   |

**tabla 15 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

| Método  | Límite de detección                         | Aplicaciones  |
|---|---|---|
| Compuestos orgánicos volátiles en agua por Purga y Trampa en Columnas Capilares de Cromatografía de Gases con Fotoionización y Detectores en Serie de Conductividad Electrolytica.<br>EPA 502 |   | Aguas para consumo, y naturales (la mayoría de las aguas superficiales y subterráneas). |
| Medida de Compuestos Orgánicos Purgables en Agua por Columnas Capilares GC/MS<br>EPA 524  | Límite: 0.04 µg/L<br>Intervalo: 0.1-10 µg/L | Aguas para consumo, y naturales (la mayoría de las aguas superficiales y subterráneas). |
| Concentración con la técnica de Ballard y Lichtenberg<br>Cromatografía de gases   | --  |   |
| Polarografía utilizando un electrodo de gota de Hg  | Nivel mínimo de 0.5 mg/L<br>Error 5%        |   |

### (13) Coliformes fecales

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Usos                              | Son microorganismos indicadores, ya que su presencia revela la contaminación del agua con heces fecales y la posible existencia de patógenos. Se escogen debido a que los patógenos son menos abundantes en el agua residual y no siempre encuentran en el agua su hábitat ideal. Además, su manipulación es menos peligrosa para el analista.   |
| Ocurrencia                        | Los coliformes fecales son un componente normal de la flora y fauna del intestino humano, donde se encuentran en grandes cantidades, ya que no son patógenos. El grupo coliformes fecales constituye aproximadamente el 90% de los coliformes totales en las excretas humanas e incluye al género <i>Escherichia coli</i> y algunas cepas de <i>Klebsiella pneumoniae</i> .<br>La concentración de coliformes fecales del agua residual descargada en cuerpos naturales oscila entre $10^7$ y $10^8$ NMP/100 mL. |
| Clasificación convencional        | Organismo indicador de patógenos   |
| Efectos adversos en el ser humano | La sintomatología de las enfermedades originadas por <i>Escherichia Coli</i> incluye diarrea, calambres, náusea y, posiblemente, ictericia. También se asocia con dolores de cabeza y fatiga.  |

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| <b>Tratamiento</b>             | La filtración elimina el 80% de las bacterias coliformes termorresistentes. La cloración al final de un sistema de tratamiento presenta eficiencias de remoción superiores al 99.9%.  |
| <b>Determinación analítica</b> | Existen dos técnicas de laboratorio: conteo de colonias sobre membrana y tubos múltiples. En ambos casos se seleccionan las bacterias mediante medios específicos de cultivo y se incuban por 24 h a una temperatura de 44°C. Un medio de cultivo específico es una preparación sintética donde se ponen los nutrientes que necesitan sólo la cepa buscada. Debido a que el procedimiento de la técnica de membrana emplea la retención de microorganismos para conteo por medio de un filtro de 0.45 µm, esta técnica no se recomienda para agua con turbiedad. Sin embargo, es posible aceptar una correlación. Posteriormente, se determina el número de organismos coliformes presentes contando el número de colonias en 100 mL (No. de colonias/100 mL), que se suponen provienen de un microorganismo si la dilución de la muestra fue la suficiente. El método de conteo de colonias sobre membrana es altamente reproducible y puede ser utilizado en el monitoreo del agua de bebida y en diversas fuentes de agua. Cuando se utiliza la técnica de tubos múltiples, los resultados se expresan en términos del Número más probable (NMP) de organismos presentes en 100 mL (NMP/100 mL). Este número estima la densidad de coliformes en la muestra. Su precisión se basa en el número de tubos empleados. |

**tabla 16 métodos de determinación analítica**

| Método  | Límite de detección               | Aplicaciones  |
|---|-----------------------------------|---|
| NMX-AA-042-1987<br>Determinación del Número más Probable (NMP) de Coliformes Totales, Coliformes Fecales (termotolerantes) y <i>Escherichia coli</i> Presuntiva<br>22-06-1987<br>Determinación mediante el cultivo en un medio líquido en tubos múltiples y cálculo de sus números más probables en la muestra. | Límite de detección: no reportado | Aplicable a todo tipo de agua, inclusive aquellas que contienen una cantidad apreciable de materia en suspensión. |

**(14) Color**

|  |  |
|--|--|
| <b>Usos</b>                              | El color es muy importante en agua potable, ya que puede dar una indicación rápida de la calidad del agua. Además, junto con el olor, determina la aceptación por parte del consumidor.  |
| <b>Ocurrencia</b>                        | Hay dos tipo de color: el verdadero, producido por sustancias disueltas y que es el parámetro que se aplica para agua potable; y el aparente, definido por los sólidos en suspensión más el color verdadero de la muestra. El color en el agua de abastecimiento puede ser originado por la presencia de iones metálicos como el Fe y el Mn, las sustancias húmicas, el plancton o las algas. En el agua residual, el color se debe principalmente a procesos industriales como los de teñido de telas, fabricación de pinturas, procesamiento de alimentos, minería, refinación, etc. |
| <b>Efectos adversos en el ser humano</b> | Cuando el agua tiene 15 unidades de color verdadero (con un umbral de 3 para ciertas personas) no es aceptada por el público. El color afecta la efectividad del proceso de desinfección con CL e incrementa el mal olor y sabor si están presentes fenoles.   |
| <b>Tratamiento</b>                       | La coagulación seguida por sedimentación es el método más apropiado para la remoción del color aparente. La dosificación del coagulante depende de la concentración inicial del color y del pH óptimo (generalmente ácido). Para el color verdadero es necesario emplear procesos de oxidación.  |

Determinación analítica Ver Tablas 17

**tabla 17 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

| Método  | Límite de detección   | Aplicación  |
|---|---|---|
| NMX-AA-017-1980<br>DETERMINACIÓN DEL COLOR<br>11-07-1980                    | El método se basa en medir la transmisión de la luz producida a través de una muestra de agua.  | Método de prueba espectrofotométrico para la determinación de color en aguas.   |
| NMX-AA-045-1981<br>DETERMINACIÓN DE COLOR (ESCALA PLATINO-CO)<br>30-11-1981 | El color se determina por comparación visual de la muestra con soluciones coloridas de Pt-Co de concentraciones conocidas y también se puede determinar con discos-patrón, la unidad de color es la producida por 1 mg/L de platino en forma de ion CL platinato. | Aplicable en aguas de cuerpos receptores superficiales, estuarinas, costeras y subterráneas no es aplicable en descargas de aguas residuales. |
| Comparación visual  | El reporte del color está en función de los tubos Nessler empleados   |   |
| Filtro Tristimulus.   | Determina el valor de luminosidad como porcentaje del valor de transmitancia  |   |

**(15) Cromo, Cr**

Registro CAS No. 7440-47-3

- Usos Se emplea para la manufactura de aleaciones y pigmentos y en el platinado.
- Ocurrencia El Cr está ampliamente distribuido en la corteza terrestre con valencias de 2<sup>+</sup> a 6<sup>+</sup>. En general, los alimentos parecen ser la principal fuente de ingesta de este elemento. Todas las plantas contienen cerca de 0.19 mg/kg de Cr (como sales). Las principales fuentes de Cr en el agua es la industria de cromado (trióxido de Cr), el empleo de conexiones cromadas en circuitos de enfriamiento de agua y de acondicionamiento de aire, los catalizadores de síntesis orgánica y la industria fotográfica. Además, hay una cantidad significativa las corrientes de agua, la lluvia y el mar. Las concentraciones totales en el agua de bebida son habitualmente inferiores a 0.002 mg/L, aunque se han notificado concentraciones de hasta 0.120 mg/L.
- Carcinogenicidad El CIIC lo clasifica en el grupo 3
- Sensibilidad Se han reportado reacciones alérgicas en humanos al Cr durante la colocación de prótesis dentales.
- Efectos adversos en el ser humano La toxicidad del Cr es función de su estado de oxidación, ya que el trivalente no es tóxico, en tanto que el hexavalente sí lo es. En agua potable, agua clorada o aerada el Cr VI es la forma predominante y el Cr III rara vez se encuentra. Aun cuando se sabe que el Cr inhalado provoca cáncer, el efecto por su consumo es desconocido. La absorción de Cr tras la exposición por vía oral es relativamente baja y depende del estado de oxidación. El Cr (VI) se absorbe más fácilmente a través del tracto gastrointestinal que el Cr (III) y puede atravesar las membranas celulares. Ver el resumen de efectos tóxicos en la Tabla 18.

tabla 18 resumen de efectos tóxicos

| Concentración   | Comentario   |
|-----------------|--|
| 0 - 0.05 mg/L   | No se observan efectos adversos con esta exposición, no hay presencia de efectos estéticos.<br>Riesgo mínimo de inducción de cáncer. |
| 0.05 - 1.0 mg/L | Posible riesgo de inducción de cáncer gastrointestinal después de una larga exposición.  |
| 1.0 - 5.0 mg/L  | Sabor desagradable, náuseas y se incrementa el riesgo de inducción de cáncer.  |
| > 5.0 mg/L      | Riesgo de toxicidad aguda.   |

**Tratamiento** Para eliminar el Cr hexavalente frecuentemente se reduce al estado trivalente y se separa por precipitación con hidróxidos. Esto se logra con sosa cáustica o cal a pH entre 8.5 y 9.5, con eficiencias del 99 a 99.5%. El intercambio iónico es eficiente y económico si se emplean para recuperar el metal. Las resinas catiónicas eliminan Cr trivalente, mientras que las aniónicas remueven cromatos y dicromatos. El pH debe ser menor de 4, ya que el poder oxidante del ácido crómico puede atacar la resina.

**Determinación analítica** Los criterios se establecen en función de la concentración de Cr (III) y (VI) disuelto, en unidades de µg/L.  
Ver Tablas 19.

tabla 19 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA

| Método   | Intervalo de trabajo  | Aplicación  |
|--|---|---|
| Coprecipitación<br>Espectroscopía de emisión atómica con técnica de horno<br>EPA 7195                        | Límite: No establecido<br>Intervalo: muestras con > 5 µg/L                                | Agua superficial y subterránea, y algunas aguas residuales. |
| Polarografía de pulso diferencial.<br>EPA 7198   | Límite: 10 µg/L<br>Intervalo: 1.0 - 5.0 mg/L (mayor con dilución)                         | Extractos, agua natural y residual.                         |
| NMX-AA-044-1981<br>Determinación de Cr hexavalente (método colorimétrico)<br>22-06-1982                      | Límite: no establecido.   | Se aplica en aguas naturales residuales e industriales.     |
| NMX-AA-051-1981<br>Determinación de metales (método espectrofotométrico de absorción atómica)<br>22-02--1982 | Los límites de detección dependen de la sensibilidad del equipo y de cada elemento en sí. | Aguas naturales y residuales.                               |
| Absorción atómica con técnica de horno a λ 357.9 nm  | 1 µg/L<br>5 a 100 µg/L  |   |
| Absorción atómica de aspiración directa a λ 357.9 nm con flama de oxido nitroso de acetileno                 | 0.05 µg/L<br>0.5 a 10 µg/L  |   |
| Absorción atómica de extracción quelante a λ 357.9 nm con flama de acetileno                                 | <1 µg/L<br>1 a 25 µg/L  |   |

\*Cr (III) se calcula por diferencia

Cuando el límite de detección está por arriba de los valores del criterio, se requiere concentrar la muestra.

Al igual que en cualquier determinación de metales traza, se debe tener cuidado en no contaminar las muestras de agua. Las botellas de polietileno, deben ser limpiadas previamente para remover los contaminantes de metal presentes.

**(16) Dureza**

- Usos** La dureza es un parámetro para agua potable y agua de uso industrial. Representa la concentración de cationes metálicos multivalentes presentes en el agua.
- Ocurrencia** Los constituyentes de la dureza más comunes son el Ca y el Mg. La dureza se clasifica en: dureza carbonatada, y en dureza no carbonatada. La primera es sensible al calor, precipita a altas temperaturas y se denomina temporal. Es equivalente a la alcalinidad. Cuando la dureza se encuentra en cantidad importante se dice que el agua es "dura" y significa que contiene sales incrustantes, dificulta la cocción de legumbres e impide la formación de espuma con el jabón. La dureza adquiere valores de cero a cientos de mg/L en función de la fuente de abastecimiento o el procesamiento que se haya dado al agua. Las aguas duras contienen de 150 a 300 mg/L como CaCO<sub>3</sub>.
- Tratamiento** Se pueden utilizar diferentes métodos para el ablandamiento del agua. El más usado es la precipitación del Mg<sup>2+</sup> y del Ca<sup>2+</sup> como hidróxidos y carbonatos a pH alto agregando cal y carbonato de Na. Por medio del intercambio iónico se logra un ablandamiento total. La dureza permanente requiere métodos más sofisticados de remoción que la simple elevación de la temperatura.
- Determinación analítica** En la determinación de la dureza en el laboratorio se debe tomar en cuenta la concentración total de iones de Ca y Mg expresada como su equivalente en CaCO<sub>3</sub>, por ser los constituyentes más comunes. Los métodos para determinar la dureza son:  
 Método de cálculo de iones  
 Método volumétrico del EDTA  
 En la técnica del EDTA, se emplea como indicador el negro de erioCr T, el que al ser agregado a una solución que contenga iones de Ca y Mg, reacciona formando complejos de un color rojo vino. Después se adiciona la solución del E.D.T.A. que remueve los iones de Ca y Mg de los complejos coloridos formando complejos solubles. Cuando ha sido agregada suficiente solución de E.D.T.A., para liberar todos los iones de Ca y Mg, el indicador regresa a su color azul original.  
 Ver Tabla 20.

**tabla 20 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

| Método   | Límite de detección   | Aplicaciones   |
|--|---|--|
| NMX-AA-072-1981<br>Determinación de Dureza-<br>Método del EDTA<br>04-08-1982 | Límite: no indicado.  | Bajo ciertas restricciones este método es aplicable para aguas naturales y residuales. |
| Propiedades Físicas<br>Colorimétrico-EDTA<br>EPA 130.1                       | Límite de detección: no establecido<br>Intervalo: 10-400 mg/L CaCO <sub>3</sub>         | Agua de bebida, superficial, salina y residual.  |
| Propiedades Físicas<br>Titulométrico-EDTA<br>EPA 130.2                       | Límite de detección: no establecido.<br>Intervalo: Todas las concentraciones de dureza. | Agua de bebida, superficial, salina y residual.  |

**(17) Estireno**

Registro CAS No. 100-42-5

- Usos** El estireno se utiliza principalmente como solvente y para fabricar plásticos (principalmente poliestireno) y resinas.
- Ocurrencia** Se han hallado trazas de estireno en las aguas superficiales, el agua de bebida y los alimentos. El estireno se encuentra en la savia de árboles *styraceous*, en el C bituminoso, el aceite de esquistos y los derivados del fraccionamiento del petróleo. En las zonas industriales, los niveles de exposición a partir del aire

pueden alcanzar niveles de centenares de microgramos.

Se encuentra también en efluentes de aguas residuales, en comida contenida en recipientes de poliestireno y en el humo del cigarro (el hábito de fumar puede multiplicar por 10 la exposición).

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Clasificación convencional | Líquido flamable y tóxico  |
| Carcinogenicidad           | El CIIC clasificó este compuesto en el grupo 2B (ver anexo A)  |
| Tratamiento                | Teóricamente se obtienen buenas eficiencias de remoción al emplear<br>Extracción con solventes<br>Ozonación<br>C activado<br>Resinas de intercambio iónico |
| Determinación analítica    | Ver Tabla 21   |

**tabla 21 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

| Método  | Límite de detección                           | Aplicaciones  |
|---|---|---|
| Compuestos orgánicos volátiles en agua por Purga y Trampa en Columnas Capilares de Cromatografía de Gases con Fotoionización y Detectores en Serie de Conductividad Electrolytica.<br>EPA 502 |   | Aguas para consumo, y naturales (la mayoría de las aguas superficiales y subterráneas). |
| Medida de Compuestos Orgánicos Purgables en Agua por Columnas Capilares GC/MS<br>EPA 524  | Límite: 0.04 µg/L<br>Intervalo: 0.1-100 µg/L  | Aguas para consumo, y naturales (la mayoría de las aguas superficiales y subterráneas). |
| Determinación de VOC's Aromáticos e Insaturados en agua<br>EPA 503  | Intervalo: 2.2-600 µg/L<br>Límite: 0.008 µg/L | Agua de bebida y aguas naturales  |
| Polarografía utilizando un electrodo de gota de Hg  | Nivel mínimo de detección 0.05 mg/L           | Agua residual   |

## (18) Estreptococos fecales

|            |  |
|------------|--|
| Usos       | <p>Pueden considerarse como indicadores específicos de la contaminación fecal de origen humano. También pueden aislarse en las heces animales y algunas especies y subespecies donde se encuentran principalmente en las materias vegetales.</p> <p>En exámenes de la calidad del agua, algunos estreptococos sirven como indicadores suplementarios de la eficiencia del tratamiento. Además, estos microorganismos son muy resistentes al secado y pueden ser útiles para realizar controles sistemáticos después de la colocación de nuevas tuberías maestras o la reparación de los sistemas de distribución, así como para detectar la contaminación de aguas subterráneas o superficiales por escorrentía superficial.</p> |
| Ocurrencia | <p>El hábitat normal de los estreptococos fecales es el tracto gastrointestinal de animales de sangre caliente. Las especies <i>S. faecalis</i> y <i>S. faecium</i> son prácticamente específicas del ser humano en comparación con otras especies de estreptococos que pueden encontrarse en otros organismos.</p> <p>De manera análoga, especies como <i>S. bovis</i>, <i>S. equinus</i> y <i>S. avium</i> no se presentan exclusivamente en animales.</p>   |

|  |   |
|--|---|
| <b>Efectos adversos en el ser humano</b> | Los efectos de algunas cepas de <i>Streptococcus</i> fecales son malestares estomacales como la diarrea, vómito, náuseas, entre otros.  |
| <b>Tratamiento</b>                       | El proceso de la filtración elimina el 80% de estos organismos. La cloración como procedimiento final de un tren de tratamiento presenta eficiencias de remoción de hasta 99.99%.   |
| <b>Determinación analítica</b>           | Al igual que en los coliformes fecales, para la determinación analítica de los <i>Streptococcus</i> se pueden emplear las técnicas de conteo de colonias sobre membrana y tubos múltiples.<br>En ambos casos se seleccionan las bacterias mediante medios específicos de cultivo y se incuban por 24 h a una temperatura de 44°C. Un medio de cultivo específico es una preparación sintética donde se ponen los nutrientes que necesita sólo la cepa buscada.<br>Debido a que el procedimiento de la técnica de membrana emplea la retención de microorganismos para conteo por medio de un filtro de 0.45 µm, esta técnica no se recomienda para agua con turbiedad. Sin embargo, es posible aceptar una correlación. Posteriormente, se determina el número de organismos coliformes presentes contando el número de colonias en 100 mL (No. De colonias/100 mL), que se suponen provienen de un microorganismo si la dilución de la muestra fue la suficiente. El método de conteo de colonias sobre membrana es altamente reproducible y puede ser utilizado en el monitoreo del agua de bebida y de diversas fuentes de agua.<br>Cuando se utiliza la técnica de tubos múltiples, los resultados se expresan en términos del Número más probable (NMP) de organismos presentes en 100 mL (NMP/100 mL). Este número estima la densidad de coliformes en la muestra. Su precisión se basa en el número de tubos empleados. Este procedimiento puede ser empleado en agua cruda y aguas residuales cloradas y sedimentos, también puede utilizarse en aguas frescas y marinas. |

**(19) Hierro, Fe**

Registro CAS No. 7439-89-6

|  |  |
|--|--|
| <b>Usos</b>                              | Se emplea en las aleaciones con C, Mn, Cr y Ni y otros elementos para formar aceros.   |
| <b>Ocurrencia</b>                        | Cerca del 5% se encuentra en la corteza terrestre. También se localiza en las menas de hematitas, magnetitas, limonita y siderita. El cuerpo humano contiene aproximadamente 0.60-0.70 mg/g.   |
| <b>Efectos adversos en el ser humano</b> | Casos de dosis altas de sales de Fe se presentan en pacientes que reciben transfusiones de sangre continuas, preparaciones orales para combatir la anemia y comida fortificada con sales de Fe.<br>El envenenamiento oral agudo por tabletas de Fe es frecuente en niños. La dosis letal promedio para niños de 2 años es de 3 g (equivalente a aproximadamente 50 tabletas). Dosis de 600 mg son fatales para niños en general.   |
| <b>Tratamiento</b>                       | Se acostumbra oxidarlo por aeración a pH de 7 a 7.5, para posteriormente, precipitarlo.  |
| <b>Determinación analítica</b>           | Los CCA se establecen en función de la concentración de Fe disuelto. Debido a que el Fe puede existir en diferentes formas en el agua, por ejemplo, en el estado reducido u oxidado, en el estado disuelto, como partículas suspendidas y como complejos con otras sustancias, el análisis debe tomar en cuenta las proporciones relativas de cada uno de ellos. Los métodos por lo general determinan Fe inorgánico total y ferroso (Fe <sup>2+</sup> ), obteniendo el Fe férrico (Fe <sup>3+</sup> ) por diferencia.<br>Ver tablas 22. |

**tabla 22 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

| Método  | Límite de detección   | Aplicación   |
|---|---|--|
| Colorimetría (fenantrolina)<br>EPA 315 B  | 10 µg/L   | Fe ferroso total disuelto en agua natural o tratada.   |
| Espectrometría de emisión de plasma inductivamente acoplado<br>EPA 200.7                                    | 7 µg/L  | Elemento total, disuelto o suspendido en agua de consumo y superficial y agua residual industrial. |
| Absorción atómica. Técnica del horno<br>EPA 236.2   | 1 µg/L<br>Intervalo: 5-100 µg/L   | Agua de consumo, superficial y salina. Agua residual.  |
| NMX-AA-051-1981<br>Determinación de metales (método espectrofotométrico de absorción atómica)<br>22-02-1982 | Los límites de detección dependen de la sensibilidad del equipo y de cada elemento en sí. | Aguas naturales y residuales.  |
| Absorción atómica con la técnica de horno a λ 248.3 nm  | 0.001 mg/L<br>0.005 a 0.10 mg/L   |  |
| Colorimetría (Fenantrolina)   | En función de la lectura del tubos Nessler  |  |

**(20) Fluoruros, F<sup>-</sup>**

Registro CAS No. 7782-41-4 como (F<sub>2</sub>).

|  |   |
|--|---|
| <b>Usos</b>                              | Sus compuestos inorgánicos se utilizan en la producción de Al y la fabricación de fertilizantes fosfatados.   |
| <b>Ocurrencia</b>                        | El flúor representa aproximadamente 0.3 g/kg de la corteza terrestre. Está presente en las menas de minerales fluorados como son la fluorita, la criolita y la fluoroapatita. En los dientes se halla en concentraciones traza. La concentración máxima presente en forma natural en el agua de abastecimiento rara vez excede de 5 mg/L.   |
| <b>Clasificación convencional</b>        | Gas tóxico y sustancia oxidante.  |
| <b>Carcinogenicidad</b>                  | El CIIC lo clasifica en el grupo 3  |
| <b>Irritabilidad</b>                     | Exponer el cuerpo humano a agua con 25 mg/L de flúor durante 5 min causa irritación ligera en los pulmones, no se especifica vía de administración. El contacto dérmico a 100 mg/L durante 1 min causa irritación ligera.   |
| <b>Efectos adversos en el ser humano</b> | Se recomienda para el hombre consumir F a razón de 0.7 a 3.4 mg/d en la comida o con el agua. La concentración óptima para evitar las caries en la población infantil es de 0.7 a 1.2 mg/L. Pero, concentraciones superiores a 4.0 mg/L provocan fluAusis dental (oscurecimiento del esmalte). El consumo de 8 a 20 mg/L de fluoruro durante un período largo afecta al sistema óseo. Con base en un consumo de 2 litros de agua por día, se considera que una dosis de 2000 mg/L es letal. |
| <b>Tratamiento</b>                       | Se emplean esencialmente dos métodos:<br>La precipitación, que puede realizarse con cal, compuestos de Mg (como dolomitas) y alumbre.<br>La adsorción, que se usa para concentraciones bajas de fluoruros. Se emplea la hidroxilapatita, resinas de intercambio iónico o la alúmina activada.   |
| <b>Determinación analítica</b>           | Los criterios de calidad se basan en concentraciones de flúor disuelto. Tablas 23.  |

**tabla 23 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

| Método  | Límite de detección  | Aplicación   |
|---|--|--|
| Cromatografía de iones<br>EPA 340.1                         | Intervalo: 0.1 a 2.5 mg/L  | Agua para consumo, superficial y salina. Agua residual.  |
| Colorimetría inversa.<br>EPA 340.3                          | Límite: no establecido<br>Intervalo: 0.5 a 1.5 mg/L<br>Desviación estándar: $\pm 0.018$<br>aconcentraciones de 0.06, 0.15 y 1.8 mg/L de F <sup>-</sup> | Agua para consumo, superficial y salina. Agua residual.  |
| Potenciométrico.<br>Electrodo ion selectivo<br>EPA 340      | Límite: no establecido.<br>Intervalo: 0.1 - 1000 mg/L;<br>Desviación estándar: $\pm 0.03$  | Se aplica para determinar fluoruro total o disuelto en agua para consumo, superficial y salina y agua residual doméstica e industrial. |
| Potenciométrico.<br>Electrodo ion selectivo<br>EPA 340.2    | Límite: no establecido.<br>Intervalo: 0.1-1000 mg/L<br>Desviación estándar: $\pm 0.03$   | Aguas para bebida, superficial, salina y residual.   |
| NMX-AA-077-1982<br>Determinación de fluoruros<br>01-06-1982 | Intervalo: 0.05-1.4 mg/L<br>Puede ampliarse el intervalo por medio de diluciones.  | Aguas potables, naturales, y residuales (con algunas interferencias).  |
| Cromatografía de iones                                      | 0 a 1.40 mg/L  |  |
| Destilación manual; Color.<br>SPADNS                        | 0.1 a >10 mg/L   |  |
| Electrodo manual  | 0.42 a 0.82 mg/L; $\pm 0.03$ mg/L  |  |

Cuando el límite de detección este por abajo de los valores del criterio, se requiere concentrar la muestra.

## (21) Formaldehído

Registro CAS No. 50-00-0

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| Usos                              | Bactericida y fungicida para diversos propósitos, incluyendo el agrícola, el cosmético, esterilizador y embalsamador. El formaldehído sirve también como intermediario químico y para la producción de textiles.<br>En fuentes naturales se encuentra como metabolito en la producción de las algas verde-azules y como intermediario del metabolismo de mamíferos.   |
| Ocurrencia                        | El formaldehído está presente en los efluentes industriales y se encuentra en el aire como resultado de emisiones procedentes de materiales plásticos y colas de resina así como del humo del cigarro, efluentes de fábricas como los de la industria de la confección, la del cartón y la de los plásticos. En el agua de bebida se presenta como resultado de la oxidación de materias orgánicas naturales durante la ozonación y la cloración, así como por su liberación de accesorios de plástico. En agua ozonada se han hallado concentraciones de hasta 0.030 mg/L. |
| Clasificación convencional        | Líquido flamable y tóxico, sustancia corrosiva (soluciones), sustancia corrosiva (soluciones con $\geq 25\%$ de formaldehído).  |
| Carcinogenicidad                  | Existe evidencia limitada sobre la carcinogenicidad en humanos y suficiente en animales, CIIC lo clasifica en el grupo 2A.  |
| Irritabilidad                     | Es un irritante severo para los ojos, piel y mucosas. Puede causar hipersensibilidad con una gran variedad de manifestaciones.  |
| Efectos adversos en el ser humano | Los efectos por vía oral no se han establecido.   |
| Tratamiento                       | La ósmosis inversa es el tratamiento que ofrece la remoción del compuesto.  |
| Medición                          | Ver Tabla 24  |

**tabla 24 métodos de determinación analítica para diferentes aplicaciones**

| Método   | Límite de detección        |
|--|----------------------------|
| Cromatografía de gases utilizando una columna empacada con 22% de Etofat 60/25 en Crsorb 101 | 1-5 mg/L                   |
| Cromatografía de gases   | 0.01 mg/L                  |
| Cromatografía de gases de alta resolución, captura de electrones y espectrometría de masas   | Del orden de microgramos/L |

**(22) Ftalato de di(2-etilhexilo)**

Registro CAS No. 117-81-7

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Usos                              | El ftalato de di(2-etilhexilo) (FDEH) se utiliza principalmente como plastificante y lubricante.   |
| Ocurrencia                        | Se encuentra en las aguas superficiales y subterráneas en concentraciones de unos pocos microgramos por litro. En las aguas superficiales y subterráneas contaminadas se han notificado concentraciones de centenares de microgramos por litro.<br>Se han detectado residuos de este compuesto en los sedimentos de los procesos de manufactura de plásticos y en los lixiviados de los residuos de éstos productos.<br>La exposición individual puede variar considerablemente debido a la amplia gama de productos que contienen FDEH. En general, la principal vía de exposición son los alimentos. |
| Carcinogenicidad                  | El CIIC ha llegado a la conclusión de que el FDEH es posiblemente carcinógeno para los seres humanos (grupo 2B).   |
| Efectos adversos en el ser humano | En un solo caso estudiado de ingestión de 10 g de FDEH se tuvieron como efectos gastritis y purga.<br>Se ha detectado FDEH en sangre almacenada en bolsas de cloruro de polivinilo en niveles ≤ 250 mg/L así como en tejidos corporales de sujetos sometidos a hemodiálisis o transfusiones de sangre.   |
| Tratamiento                       | Se elimina eficientemente mediante:<br>C activado<br>Intercambio iónico<br>Cepas adaptadas de bacterias (en estudio)   |
| Medición                          | Ver Tablas 25  |

**tabla 25 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

| Método  | Límite de detección | Aplicaciones   |
|---|---------------------|--|
| Determinación de ésteres de Ftalato por cromatografía capilar de gases con captura de electron (GC/ECD). EPA 8061 |                     | Matrices acuosas y sólidas que incluyen agua para beber, agua subterránea, agua residual industrial, aguas superficiales, suelos, sólidos y sedimentos |

**tabla 25 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

|   |                           |   |
|---|---------------------------|---|
| Cromatografía de gases utilizando un detector de ionización de flama y una columna empacada con 4% de OV-101 en Crsorb W (HP); o cromatografía líquida con detector UV a 233 nm y columna de sílica gel, mezcla hexano-diCLmetano (1/2) + 0.1-0.2% de etanol como la fase móvil | 0.3-1.0 ppb               | Agua de ríos                                |
| HPLC  | Trazas<br>desv. est. 4-6% | Agua de ríos, agua mineral y aguas blandas. |

**(23) Manganeso, Mn**

Registro CAS No. 7439-96-5

**Usos** Interviene en la manufactura del acero y de aleaciones no ferrosas.

**Ocurrencia** No se encuentra como metal libre sino en forma de óxidos, sulfuros, carbonatos y silicatos en la corteza terrestre (donde constituye el 0.85%), los sedimentos, los nódulos del fondo del mar, las plantas y los animales. La forma divalente es de 2.5 a 3 veces más tóxica que la trivalente y se presenta sólo en las formas biodisponibles.

El Mn es un contaminante ambiental de las fábricas de Fe y acero, las minas, la producción de agroquímicos, la elaboración de baterías de celda seca y la generación del óxido de Mn.

Las concentraciones de Mn disuelto en las aguas subterráneas y superficiales pobres en oxígeno pueden alcanzar varios miligramos por litro. En aguas oxigenadas, el Mn forma sólidos insolubles que provocan la aparición de depósitos indeseables que causan problemas de color en los sistemas de distribución.

El Mn se asocia con cloruros, nitratos y sulfatos.

**Carcinogenicidad y efectos a largo plazo** No se han encontrado compuestos que sean carcinógenos.

**Efectos en el ser humano** El Mn es un oligoelemento indispensable para la formación de tejido conectivo, el metabolismo de carbohidratos y el de lípidos, la reproducción y el crecimiento. El requerimiento diario es de 2 a 3 mg en adultos. Los efectos neurológicos que se presentan por la inhalación de polvo de Mn no han sido observados por su consumo en agua.

**Determinación analítica** El criterio se establece en función del Mn disuelto. El Mn por lo común se presenta como Mn<sup>2+</sup> o en suspensión en la forma de óxidos hidratados. Ver tablas 26.

**tabla 26 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

| Método  | Límite de detección  | Aplicación   |
|---|--|--|
| Espectrometría de emisión óptica de plasma inductivamente acoplado<br>EPA 200.7 | Límite de detección: 2 µg/L<br>Intervalo: no determinado.<br>Desviación estándar: 2.7% | Elemento total, disuelto o suspendido en agua de consumo y superficial y agua residual municipal e industrial. |
| Espectrometría de flama de absorción atómica<br>EPA 7460                        | Límite de detección: 0.01 mg/L<br>Intervalo: 0.1-3 mg/L                                | Agua de consumo, superficial y salina. Agua residual.  |
| NMX-AA-051-1981<br>determinación de metales (método espectrofotométrico de      |  |  |

**tabla 26 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

| Método   | Límite de detección               | Aplicación |
|--|-----------------------------------|------------|
| absorción atómica)<br>22-02-1982                               |                                   |            |
| Absorción atómica con la técnica de horno a $\lambda$ 279.5 nm | 0.0002 mg/L<br>0.001 a 0.030 mg/L |            |

Para obtener datos ambientales confiables es importante que la medición sea apropiada comprendiendo el método de muestreo, el almacenamiento de la muestra, los análisis de laboratorio y la interpretación de datos.

## (24) Mercurio, Hg

Registro CAS No. 7439-97-6

|  |  |
|--|--|
| Usos                                     | <p>El Hg se usa como cátodo en la electrólisis del cloruro de Na. Interviene en la industria eléctrica y en la fabricación de instrumentos de control médicos y de laboratorio. También participa en la extracción de Au y en la elaboración de amalgamas dentales.</p> <p>Los compuestos del Hg orgánico son usados para tratar semillas. Aunque, como fungicidas sus compuestos están prohibidos en muchos países.</p>   |
| Ocurrencia                               | <p>El Hg natural se deposita en la corteza terrestre en cantidades de 2500 a 12 500 ton por año debido a la deposición de gases volcánicos y a la evaporación y de condensación de agua de mar. Las fuentes antropogénicas también contribuyen a la deposición atmosférica. Las fuentes, en este caso, incluyen incineradores de residuos, rellenos sanitarios, sitios para la disposición de residuos peligrosos, plantas de tratamiento de agua residual, plantas de combustión de C y plantas productoras de CL-álcalis.</p> <p>Las tres principales especies de Hg son: Hg elemental <math>Hg^0</math>; el Hg inorgánico <math>Hg^{2+}</math>; y el Hg metílico <math>CH_3Hg^+</math>. El 99% del Hg atmosférico existe en la forma de <math>Hg^0</math>, sin embargo, el Hg del suelo está en todas las formas químicas.</p> <p>El contenido de Hg inorgánico en las aguas superficiales y subterráneas, generalmente es inferior a 0.0005 mg/L. En el aire se tiene del orden de 2 a 10 ng/m<sup>3</sup>. El Hg se encuentra normalmente presente en aguas marinas en dosis muy bajas. El Hg metálico acumulado en el fondo de ríos o lagos se convierte lentamente en metilHg (<math>CH_3Hg</math>) y dimetil Hg (<math>(CH_3)_2Hg</math>), que son muy tóxicos. Su principal vía de ingestión es por consumo de peces contaminados con este elemento ya que lo acumulan.</p> <p>Los efectos biológicos del Hg dependen de la relación dosis-respuesta entre el metilHg y los organismos que lo ingieren. Para prevenir efectivamente el riesgo en el hombre y otros organismos se debe considerar a la atmósfera como una fuente además de las otras posibles.</p> |
| Carcinogenicidad y efectos a largo plazo | <p>La OMS no considera al Hg metálico como carcinógeno. El CIIC no ha revisado este elemento.</p>  |
| Irritabilidad                            | <p>El Hg metálico causa dermatitis por contacto. Genera la enfermedad de Pink en los niños y sus vapores provocan la enfermedad de Kawasaki.</p>   |
| Efectos adversos en el ser humano        | <p>Una ingestión diaria de 0.25 mg de metilHg causa trastornos en el sistema nervioso central. En cambio, el Hg que se encuentra en forma inorgánica, generalmente en el agua potable, se absorbe de manera deficiente, afectando sólo al riñón. La forma inorgánica tiene una afinidad muy especial por las enzimas del cuerpo humano, comportándose como un tóxico fuerte que destruye los Crsomas, afecta los sentidos, provoca parálisis y, finalmente, la muerte.</p> <p>La dosis a partir de la cual se comienzan a manifestar síntomas en el organismo es de 0.5 mg/L y se tienen problemas serios a partir de 6 mg/L. La ingesta alimentaria media de Hg en varios países oscila entre 0.002 y 0.02 mg diarios por persona.</p>  |

**Tratamiento**

El tratamiento depende de la naturaleza y concentración inicial de Hg, la presencia de interferencias y el grado de remoción que debe ser alcanzado. El intercambio iónico se usa para remover al Hg inorgánico. Para ello, primero se forma el complejo de cloruro de Hg por adición de CL (para oxidar el Hg metálico) y, posteriormente, se remueve dicho complejo en una resina de intercambio aniónico. La precipitación se logra al agregar sulfuros y obtener sulfuro de Hg, el cual es una sal insoluble. Se debe incluir unidades de separación ya sea por sedimentación, filtración o flotación. Este método se usa para altos niveles de Hg y se tienen remociones del 99.99% a pH alcalino (8.5 como óptimo). La coagulación/floculación utiliza reactivos como el sulfato de Al y las sales de Fe. Se aplica para remover Hg orgánico e inorgánico con remociones del orden del 99%. El Hg iónico inorgánico se puede convertir a la forma metálica por reducción la cual es separada por filtración. Los agentes reductores pueden ser el Al, el Zn, la hidrazina, el cloruro estanoso y el Bhidruro de Na. La principal ventaja de este método es la recuperación del Hg metálico, sin embargo, su eficiencia de remoción es baja (<50%). La eficiencia del tratamiento con C activado depende de la concentración y forma del Hg, dosis y tipo de C, así como del tiempo de contacto entre el C y el agua residual. Al incrementar este último se mejora la remoción de Hg orgánico e inorgánico; se llega a eliminar el orgánico con eficiencias de 85 a 99% cuando las concentraciones de Hg son altas (0.01 a 0.10 mg/L). Sin embargo, para concentraciones menores de 0.001 mg/L la eficiencia decae hasta 70%.

**Determinación analítica**

El criterio se establece en función de los datos de toxicidad del Hg disuelto. Sin embargo, debido a su extrema toxicidad se deben tomar medidas de precaución, por lo que se recomienda emplear métodos de medición de Hg total, esto es, disuelto y particulado. Ver tablas 27.

**tabla 27 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

| Método  | Límite de detección   | Aplicación  |
|---|---|---|
| Espectrometría de absorción atómica<br>EPA 7470   | Límite de detección: 0.2 µg/L<br>Intervalo: no determinado.                               | Es aplicable para determinar Hg en extractos de procedencia móvil, residuos acuosos y aguas subterráneas. |
| NMX-AA-064-1981<br>Determinación de Hg-Método colorimétrico de ditizona<br>03-03-1982                         |   |   |
| NMX-AA-051-1981<br>determinación de metales-<br>Método espectrofotométrico de absorción atómica<br>22-02-1982 | Los límites de detección dependen de la sensibilidad del equipo y de cada elemento en sí. | Aguas naturales y residuales.   |
| Absorción atómica en horno a una λ 313.3 nm   | .001 µg   |   |
| Espectrofotometría fluorescente de rayos X  | 0.0005 <5%  |   |

Cuando los valores estén por debajo del límite de detección, se requieren procesos para concentrar la muestra. Las técnicas de preservación debe ser empleadas como la acidificación y/o el uso de un oxidante. Debido a que el Hg puede estar presente en diferentes formas en el agua (disuelto, en partículas suspendidas y como complejos con otras sustancias) tanto el método de análisis como el tratamiento del agua antes del análisis deben determinar al Hg en sus tres formas. Es crucial que el método seleccionado pueda medir uno o más estados del Hg, o el Hg total.

**(25) Molibdeno, Mo**

Registro CAS No. 7439-98-7

- Usos** Se emplea para la reducción del tungsteno. Es un aditivo lubricante en forma coloidal y en la forma de ferromolibdeno es útil para la manufactura de aceros especiales empleados en herramientas, cañón de rifles, flechas, etc.
- Ocurrencia** El molibdeno se encuentra en menas de molibdenita y wulfenita y en la corteza terrestre se tiene de 1 a 5 mg/kg.  
La concentración de molibdeno en el agua de consumo generalmente es inferior a 0.01 mg/L. No obstante, las zonas próximas a minas, pueden tener concentraciones de hasta 0.20 mg/L.
- Efectos adversos en el ser humano** Se considera que el molibdeno es un elemento indispensable y que un adulto requiere de 0.1 a 0.3 mg diarios.
- Determinación analítica** Ver tablas 28

**tabla 28 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

| Método   | Límite de detección                                      | Aplicaciones  |
|--|--|---|
| Espectroscopía de plasma acoplado inductivamente (ICP) EPA 200.7   | Límite de detección: 8 µg/L<br>Intervalo: no determinado | Elemento en estado disuelto, suspendido o total en agua para consumo y superficial y en agua residual doméstica e industrial. |
| Absorción Atómica (AA) EPA 7480  | Límite de detección: 0.1 mg/L<br>Intervalo: 1-40 mg/L    | Agua para bebida, superficial y aspiración directa de aguas salinas. Aguas residuales.  |
| NMX-AA-051-1981<br>Determinación de metales (método espectrofotométrico de absorción atómica) 22-02-1982 |  |   |
| Absorción atómica con la técnica de horno a λ 279.5 nm   | 0.0002 mg/L<br>0.001 a 0.030 mg/L                        |   |

**(26) Níquel, Ni**

Registro CAS No. 7440-02-0

- Usos** El Ni es empleado para el electroplatinado, en instrumentos dentales, para la elaboración de cerámica y vidrio de color, en la hidrogenación catalítica de aceites y grasas, en reacciones químicas y como intermediario en la síntesis de ésteres acrílicos para la elaborar plásticos. También interviene en la elaboración de amalgamas con Cu, Mn, Zn, Cr, Fe, molibdeno y para la producción de acero inoxidable.  
Se emplea en la aleación de Ni-Cu (66% y 32%, respectivamente) para la elaborar monedas.
- Ocurrencia** El Ni se presenta en forma libre en meteoritos. Abunda en la corteza terrestre, a razón de 0.018%. Se encuentra en menas de sulfuros, arsenuros, antimonios, óxidos o silicatos, siendo muy abundante en las menas de pentlandita y garnierita.  
Los suelos y los volcanes son una fuente importante de Ni en el aire (40 a 50% del total de las fuentes naturales). Mientras que las fuentes generadas por el Hombre, como la combustión de aceites y la incineración de residuos, contribuyen con el 70%, mientras que la minería y la refinación del Ni con el 17%.  
El Ni está presente en el agua superficial de manera natural. Proviene de tres fuentes: el agua de lluvia, la disolución de minerales y la erosión del suelo.  
La concentración de este metal en el agua de consumo generalmente es

inferior a 0.02 mg/L. La contribución de grifos y accesorios puede ser hasta de 1 mg/L. En casos especiales de liberación de depósitos naturales o industriales, la concentración en el agua de consumo puede ser mayor.

|  |   |
|--|---|
| <b>Clasificación</b>                     | Dañino  |
| <b>Carcinogenicidad</b>                  | El CIIC lo clasifica en el grupo 1 (ver anexo A)  |
| <b>Sensibilidad</b>                      | La hipersensibilidad por contacto con el Ni es un problema que va en aumento, debido a que se encuentran rastros del metal en joyas, collares, cierres y utensilios de cocina.  |
| <b>Genotoxicidad</b>                     | Las pruebas <i>in vitro</i> en células de humanos muestran cambios débiles en los linfocitos y aberraciones Crsomales.  |
| <b>Efectos adversos en el ser humano</b> | En pacientes tratados con diálisis renal se encontró envenenamiento por Ni cuando el metal fue lixiviado del tanque de agua caliente. Los síntomas observados fueron náusea, vómito, debilitamiento, dolor de cabeza y palpitaciones. La recuperación ocurrió después de 3 a 13 h después que cesó la diálisis.<br>La ingesta diaria normalmente es de 0.1 a 0.3 mg de Ni, pero puede alcanzar 0.9 mg si se consumen determinados artículos alimentarios. |
| <b>Tratamiento</b>                       | El Ni es un metal valioso por lo que es importante su recuperación. Se emplea la precipitación del hidróxido de Ni con cal a pH 9.5 para alcanzar niveles de 0.5 mg/L. Cuando se desea recuperar, el Ni se precipita en forma de carbonato básico y es necesario filtrar para obtener una calidad constante del efluente. El intercambio iónico también es útil pero requiere que no existan interferencias (cianuros). Alcanza eficiencias del 90%.      |
| <b>Determinación analítica</b>           | Ver tablas 29.  |

**tabla 29 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

| Método  | Límite de detección   | Aplicaciones   |
|---|---|--|
| Espectroscopía de plasma acoplado inductivamente (ICP) EPA 200.7  | Límite de detección: 0.04 mg/L<br>Intervalo: 0.3-5 mg/L                                   | Agua de bebida, superficial y aspiración directa de aguas salinas. Aguas residuales. |
| NMX-AA-076-1982<br>Determinación de Ni 04-05-1982   | Intervalo: 0.050-250 µg/L   | Aplica en aguas potables, naturales y residuales.                                    |
| NMX-AA -051-1981<br>Determinación de metales (método espectrofotométrico de absorción atómica) 22-02-1982 | Los límites de detección dependen de la sensibilidad del equipo y de cada elemento en sí. | Aguas naturales y residuales.  |
| Absorción atómica; horno  | 0.001   |  |
| Absorción atómica; Agforma  | 0.0006  |  |
| Plasma acoplado   | 0.01  |  |
| inductivamente  | 0.01  |  |
| Espectrometría de masa-ICP  |   |  |

**(27) Nitratos, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**

Registro CAS No. 7439-92-1

|                   |  |
|-------------------|--|
| <b>Usos</b>       | Los nitratos se utilizan como fertilizantes en forma de nitrato de amonio o como explosivos cuando se mezclan con derivados del petróleo. Los nitratos son un elemento esencial para los organismos autótrofos fotosintéticos y se les considera con frecuencia como un nutriente limitante del crecimiento. |
| <b>Ocurrencia</b> | Los nitratos son iones presentes en la naturaleza que forman parte del ciclo del N. En las aguas superficiales y subterráneas, las concentraciones de nitratos   |

naturales ascienden generalmente a unos pocos miligramos por litro. Debido a las prácticas agrícolas su concentración puede llegar a centenares de miligramos por litro. Los nitratos no se encuentran o son muy escasos en aguas residuales, pero en efluentes de depuradoras con nitrificación alcanzan hasta 30 mg N/L.

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| Clasificación convencional        | Tóxico.   |
| Efectos adversos en el ser humano | Comúnmente se señala que el agua o la leche materna que contiene altas concentraciones de nitratos (>10 mg N/L) usada en la alimentación de infantes menores de 6 meses puede provocar metahemoglobinemia (asfíxia). Pero, de acuerdo con la OMS (1995) no ha habido ningún caso de metahemoglobinemia al consumir agua con más de 10 mg/L y se ha podido constatar en varias ocasiones que concentraciones hasta de 20 mg/L no tienen efectos en lactantes.  |
| Tratamiento                       | Existen diferentes métodos para eliminar los nitratos como la nitrificación/desnitrificación biológica, la desorción de amoníaco con aire ( <i>stripping</i> ), el intercambio iónico, la cloración hasta el punto de ruptura y la ósmosis inversa. En la actualidad, sólo la nitrificación/desnitrificación biológica es considerada como relativamente rentable. Sus tasas de conversión son de 95% de amoníaco a nitrato y 86% de nitrato a N. El proceso se lleva a cabo en dos etapas: la primera es la de nitrificación donde se oxida el amoníaco a nitritos y nitratos, mientras que la segunda –desnitrificación– consiste en la reducción de los compuestos oxidados a N <sub>2</sub> (gaseoso), forma que se caracteriza por ser inocua al medio ambiente. |
| Determinación analítica           | La concentración de las especies de N inorgánico en el agua se obtiene sumando las concentraciones individuales de amoníaco (NH <sub>3</sub> + NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), más nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) y el nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ). No existe una sola técnica analítica que de una medida del N inorgánico.<br>Ver tablas 30.   |

**tabla 30 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

| Método   | Límite de detección  | Aplicación  |
|--|--|---|
| Determinación de aniones inorgánicos en agua<br>NMX-AA-079-1986  | Límite de detección: 0.013 mg/L<br>Intervalo: no determinado   | Agua de bebida, superficial y residual mezclada.  |
| Determinación de N de nitrato (método de sulfato de brucina)<br>14-04-1986   | Intervalo: 0.1-2 mg/L  | Aplica en agua potable, natural, residual y residual tratada.                           |
| NMX-AA-082-1986<br>Determinación de N de nitrato (método espectrofotométrico ultravioleta)<br>14-04-1986   | Límite de detección:<br>0.01 mg/L  | Agua potable que no presente turbiedad, color y con bajo contenido de materia orgánica. |
| Método espectrofotométrico ultravioleta mide la absorbancia del nitrato a 220 nm   |  | Agua no contaminada o con baja materia orgánica   |
| Método de cromatografía iónica. Este método se aplica después de una filtración y remueve partículas de 0.2 µm   | 3.20s representan 10 mg/L  | Agua superficial, subterránea, agua residual y agua para consumo humano.                |
| Método del electrodo de nitrato  | Se determina por la solubilidad del líquido del intercambiador iónico<br>0.14-1400 mgNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/L |   |
| Método de reducción de Cd, o bien, Método automatizado de reducción de Cd.   | niveles inferiores de 0.1 mgN/L<br>0.01-1.0 mgNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/L  | Bajo contenido materia suspendida.  |
| Método de reducción de cloruro de titanio. Es un método potenciométrico que usa un electrodo de gas NO <sub>3</sub> sensible después de la reducción de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> a NH <sub>3</sub> . | 0.1-20 mgNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/L   |   |

**tabla 30 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

| Método   | Límite de detección | Aplicación  |
|--|---------------------|---|
| Método automatizado de reducción de hidrazina. | 0.01-10mgN/L        | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> en agua potable y superficial y en agua residual doméstica e industrial |

El análisis de N inorgánico en el laboratorio debe realizarse lo antes posible después de colectada la muestra para minimizar los efectos de la transformación bacteriana y los cambios de pH. Las muestras de agua no deben ser preservadas con ácido antes del análisis; resulta más apropiado mantenerlas a temperatura baja (< 4°C). Las concentraciones se expresan en miligramos por litro de muestra de agua (mgN/L).

Cuando las muestras están turbias es necesario filtrarlas, debido a que se presentan problemas en la medición del N por estar adsorbido en la superficie del material suspendido o asociado con los sedimentos.

**(28) Oxígeno disuelto**

**Usos** El contenido de OD influye en la temperatura y en la composición del agua no tratada, el tratamiento y los procesos químicos o biológicos que tienen lugar en el sistema de distribución. El agotamiento del OD puede facilitar la reducción microbiana de nitrato a nitrito y del sulfato a sulfuro, creando problemas de olor. Puede provocar también un aumento de la concentración de Fe ferroso disuelto.

El OD es uno de los factores que más influye en la tasa de corrosión. Participa directamente en la reacción y, en la mayor parte de los casos, cuanto es mayor la concentración de OD, mayor es la tasa de corrosión.

**Ocurrencia** Las descargas de agua y agua residual en una corriente ejercen una demanda de oxígeno, la cual es satisfecha por el OD del agua. Para mantener un balance normal de formas biológicas en un río o lago, éste debe tener cierta cantidad de materia orgánica y nutrimentos. Así pues si la carga contaminante en una corriente es menor a la capacidad de asimilación del cuerpo de agua, tanto la flora y fauna son predominantemente aerobias. Si por el contrario, la descarga excede la capacidad de asimilación de la corriente puede causar un exceso en el crecimiento de bacterias las cuales, en turno, pueden consumir todo el OD, creando condiciones anaerobias. En el decaimiento del OD y el exceso de bacterias se tiene como resultado una completa desaparición de las formas deseables de vida como son los protozoarios y los peces.

**Criterios de calidad** No se recomienda un valor guía basado en criterios sanitarios, no obstante, un contenido de oxígeno disuelto considerablemente inferior al nivel de saturación puede indicar una mala calidad del agua.

**Interrelaciones** El nivel de oxígeno disuelto en una corriente de agua o agua residual diluida depende de las actividades físicas, químicas y biológicas prevalecientes, pero la velocidad a la cual el oxígeno decae depende principalmente de la actividad microbiana en el agua. La reaeración ocasionada por un flujo rápido en corrientes poco profundas puede ocurrir rápidamente debido a una gran turbulencia y mezclado que ocurre en ríos, por lo que se expone una nueva superficie al aire. En cuerpos profundos, el movimiento de los ríos es lento presentando dificultad en la recuperación del cuerpo bajo sobrecargas. También debe observarse que el oxígeno soluble decrece conforme aumenta la temperatura ya que la actividad bacteriana aumenta. De esta manera, la capacidad de asimilación de una corriente demandante de oxígeno es menor en el verano que durante los periodos fríos del año.

**Tratamiento** Aeración

**Determinación analítica** Existen dos métodos para medir el OD:

- Iodométrico. Es el más empleado y utiliza el método Winkler para su determinación
- Membrana. Los electrodos de membrana son capaces de dar mediciones instantáneas permitiendo un monitoreo rápido y completo.

En caso de aguas residuales donde estén presentes compuestos orgánicos no se recomienda el método iodométrico por posibles interferencias.

**tabla 31 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

| Método                                | Límite de detección | Aplicación   |
|---------------------------------------|---------------------|--|
| Método de Winkler simple o modificado |                     | Medición de oxígeno disuelto en aguas naturales (superficiales y subterráneas) |

**(29) pH**

El valor de pH de una solución es el cologaritmo de la concentración de los iones hidronio es decir,  $(-1 \times \log [H^{+}])$ . La escala de pH varía entre 0 y 14 siendo el valor de 7 el de la neutralidad.

**Usos** El pH se emplea para caracterizar un agua, dar seguimiento a un proceso (neutralización, biológico anaerobio, corrosión), o bien, para controlar las condiciones de operación (precipitación, floculación, sistemas biológico anaerobios, desinfección). La velocidad de las reacciones que intervienen en estos procesos depende de el pH.  
En sistemas de abastecimiento uno de los principales propósitos de la regulación del pH es reducir al mínimo la corrosión, que es consecuencia de las complejas relaciones entre el pH, el CO<sub>2</sub>, la dureza, la alcalinidad y temperatura; en general, se mantiene el pH < 7 para evitar este efecto. También, se estima que un pH > 8 interfiere con la desinfección con CL.

**Ocurrencia** Todas las aguas poseen un pH, en general tanto los cuerpos de agua como el agua residual doméstica son ligeramente alcalinos por la presencia de bicarbonatos, carbonatos y metales alcalinos. En las descargas industriales es posible encontrar pH ácidos.

**Efectos adversos en el ser humano** Valores superiores a 11 se relacionan con irritación ocular y agravación de trastornos cutáneos.

**Tratamiento** La neutralización es el proceso que se emplea para ajustar el pH. Los reactivos y las cantidades que intervienen dependen de las características del agua .

**Determinación analítica** Ver Tabla 32

**tabla 32 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

| Método  | Límite de detección                             | Aplicaciones   |
|---|---|--|
| Método electrométrico EPA 150.1                       | Límite: ≈ 0.1 unidades de pH<br>Intervalo: 0-14 | Agua de bebida, superficial, salinas y residuales      |
| NMX-AA-008-1980<br>Determinación del pH<br>24-10-1980 | Límite: ≈ 0.1 unidades de pH<br>Intervalo: 0-14 | Aguas residuales y naturales (superficiales y marinas) |

**(30) Plomo, Pb**

Registro CAS No. 7439-92-1

|   |   |
|---|---|
| <b>Usos</b>                                     | El Pb se usa en la fabricación de tanques de almacenamiento, pipas tuberías, soldaduras y equipos resistentes a la corrosión. En la industria química se emplea en la refinación de petróleo, en la automovilística para la elaboración del tetraetilo de Pb y en la de pigmentos para elaborar pinturas y barnices. El Pb forma parte de baterías, vidrio, cristal y cerámica vidriada. También se usa en metalurgia, en varias aleaciones y como protección de la radiactividad y de rayos X.   |
| <b>Ocurrencia</b>                               | Se encuentra en menas de galena, sulfuro de Pb, anglesita, lancarksite, massicot y matlockite. Su presencia en la corteza terrestre es aproximadamente de 0.017 g/ton o 0.002%.<br>El Pb en forma de sales es un tóxico agudo para invertebrados; afortunadamente sus sales son poco solubles y la presencia de otras reduce su biodisponibilidad por precipitación.<br>El Pb es un desecho en la combustión del C y del petróleo, de la industria metal mecánica y de la cementera. Otra fuente de Pb es la minería.<br>En el agua de lluvia se puede encontrar por arrastre de contaminantes atmosféricos y en el agua de bebida por disolución de la tubería cuando el agua es suave y ácida. En zonas de alta densidad automovilística, el agua de lluvia puede contener hasta 40 mg/L y la bruma 300 mg/L. En las fuentes de abastecimiento rara vez excede 5 mg/L. En los océanos el Pb ha ido en aumento de 0.01 mg/L a 0.07 en 75 años.<br>Las fuentes comunes de ingestión del Pb son la comida, el aire, el humo de tabaco y el empleo de losa de barro vidriado. |
| <b>Clasificación convencional</b>               | Muy tóxico.   |
| <b>Carcinogenicidad y efectos a largo plazo</b> | El CIIC clasificó al Pb y sus compuestos inorgánicos en el grupo 2B.  |
| <b>Teratogenicidad y efectos reproductivos</b>  | En humanos, se encontró como parámetro común en abortos espontáneos, así como en el retardo del crecimiento intrauterino.   |
| <b>Metabolismo y farmacocinética</b>            | El Pb atraviesa la placenta.<br>El Pb se distribuye en los tejidos blandos, hígado y riñones y se asocia con los eritrocitos en la sangre. Se acumula en el cuerpo, depositándose en los huesos, el cabello y los dientes. Se excreta en las heces, la orina, sudor y leche.  |
| <b>Efectos adversos en el ser humano</b>        | El Pb se considera como un veneno fuerte y acumulativo. Los efectos de toxicidad aguda son: anorexia, vómito, malestar general y convulsiones (debido al incremento de la presión intercraneal). Niños con toxicidad crónica muestran pérdida de peso, debilidad y anemia.<br>El envenenamiento de Pb en adultos es de tipo ocupacional y principalmente por la inhalación de Pb en polvo o humo. Varios estudios muestran que para trabajadores de vidrieras, el riesgo de morir de cáncer estomacal y pulmonar, así como de tener desórdenes cardiovasculares es elevado.<br>El envenenamiento por Pb orgánico afecta al sistema nervioso central, asimismo tiene efectos gastrointestinales y cardiovasculares; daño renal y hepático.<br>Se puede ingerir durante varias semanas, agua que contenga de 2 a 4 mg/L de Pb sin presentar ningún síntoma, pero su empleo durante tres meses resulta dañino. El consumo de 15 mg/L de Pb durante varias semanas puede ser fatal. Concentraciones de 0.05 mg/L se consideran fisiológicamente seguras para el hombre.         |

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Tratamiento             | <p>La precipitación del Pb se realiza a pH entre 9.2 y 9.5, la eficiencia para la formación de precipitados decrece rápidamente a valores de pH extremos. Los reactivos empleados son la cal o los hidróxidos, las cenizas de sosa y los fosfatos. El tratamiento con cal produce un lodo de buena sedimentación mientras que con sosa cáustica se requiere filtración. La eficiencia por precipitación más sedimentación excede del 99%. La forma orgánica del Pb no es fácil de eliminar por precipitación por lo que debe previamente transformarse con cloración.</p> <p>El intercambio iónico se usa para Pb orgánico e inorgánico. El efluente se trata a un pH entre 5.0 y 5.2 eliminando el Pb hasta en un 99.9%. El Pb orgánico se remueve con resinas de intercambio catiónico de ácido fuerte.</p> |
| Determinación analítica | El criterio se establece en función del Pb disuelto.<br>Ver tablas 33.  |

**tabla 33 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

| Método  | Límite de detección   | Aplicación   |
|---|---|--|
| Espectrometría de emisión óptica de plasma inductivamente acoplado<br>EPA 200.7   | Límite: 42 µg/L<br>Intervalo: no determinado.   | Elemento total, disuelto o suspendido en agua de consumo y superficial y agua residual municipal e industrial. |
| Espectrometría de flama de absorción atómica (para bajas concentraciones se requiere un proceso de extracción)<br>EPA 7420        | Límite: 0.1 mg/L<br>Intervalo: 1-20 mg/L  | Agua de consumo, superficial y salina. Agua residual.  |
| Espectrometría de absorción atómica electrotérmica (más sensible para bajas concentraciones y no requiere extracción)<br>EPA 7421 | Límite: 1 µg/L<br>Intervalo: 5-100 µg/L   | Agua de consumo, superficial y salina. Agua residual.  |
| NMX-AA-057-1981<br>Determinación de Pb (método colorimétrico de la ditizona)<br>29-09-1981  | Intervalo de concentración:<br>0.02 a 0.4 mg/L  | Aplicable en aguas naturales y residuales  |
| NMX-AA-051-1981<br>Determinación de metales- Método espectrofotométrico de absorción atómica<br>22-02--1982                       | Los límites de detección dependen de la sensibilidad del equipo y de cada elemento en sí. | Aguas naturales y residuales.  |
| Absorción atómica, técnica de horno a $\lambda$ 283.3 nm  | 0.005 a 0.100 mg/L  |  |

Cuando el límite de detección sea mayor que las concentraciones obtenidas en el criterio, la muestra debe someterse a un proceso de concentración.

### (31) Radiológicos

|            |  |
|------------|--|
| Ocurrencia | <p>Los compuestos radiológicos pueden entrar al agua por causas naturales o por fuentes antropogénicas. Muchos arroyos y pozos recogen la radiactividad al contacto con los minerales que la contienen y después percolan a las aguas subterráneas. Las pruebas nucleares efectuadas en la atmósfera han ocasionado la "lluvia radiactiva" que sirve de fuente al Sr-90, Cs-137 y I-131. Por lo regular son pocos los casos de niveles alarmantes de radiactividad en el agua y ello sucede en un número limitado de acuíferos bien identificados. En consecuencia, una concentración elevada se relaciona con una contaminación de tipo accidental.</p> <p>La contribución del agua potable a la exposición total es muy reducida y se debe, en gran medida, a radionúclidos de origen natural pertenecientes a la serie de degradación del titanio y el torio.</p> |
|------------|--|

|  |   |
|--|---|
| <b>Efectos adversos en el ser humano</b> | <p>Los efectos de la exposición a la radiación reciben el nombre de somáticos cuando se manifiestan en el individuo expuesto, y de hereditarios si afectan a sus descendientes.</p> <p>Como los distintos tipos de radiación tienen efectos biológicos diferentes y los diversos órganos y tejidos no muestran la misma sensibilidad a las radiaciones, el CIPR (Comisión Internacional para la Protección de la Radiactividad) ha introducido factores de ponderación según el tipo de radiación y el tejido, a fin de establecer medidas equivalentes del efecto. La suma de la dosis doblemente ponderada recibida por todos los tejidos y órganos proporciona una medida del daño total, que se denomina dosis efectiva. Además, los radionúclidos que penetran en el organismo pueden persistir en él y, en algunos casos, la exposición resultante puede prolongarse durante muchos meses o años.</p> |
| <b>Tratamiento</b>                       | <p>En forma natural existe decaimiento en depósitos de almacenamiento.</p> <p>El radón es eliminado completamente mediante absorción en C activado granular.</p> <p>El ablandamiento con cal elimina el radio 226 y 228 en un 80 a 90% (pH 9.5-11) y el uranio en un 85 a 90% a pH 10.6-11.5</p> <p>La coagulación -floculación combinada con sedimentación remueve del 92 a 95% de uranio dependiendo del tipo de coagulante.</p> <p>La precipitación remueve entre el 85 y 96% de radio 226 y 228 a pH de 9.5 a 11</p> <p>El intercambio iónico remueve el Radio 226 y el 228 en un 80-97% con resinas básicas y el Uranio, del 93-97%, con resinas aniónicas</p> <p>La ósmosis inversa elimina el 99% de uranio a pH 7 y la hiperfiltración el 90% de radio 226 y 228 a pH 5.5 a 6.</p>  |
| <b>Determinación analítica</b>           | <p>Los niveles de radiactividad en el agua son medidos en unidades de picoCuries/L, (un picoCurie es <math>3.7 \times 10^{-2}</math> desintegraciones por s). La medición de radionúclidos específicos es determinada por la energía de radiación emitida, técnicas químicas, vida media o combinación de éstas. Los radionúclidos que emiten rayos gamma se miden rápidamente y con una pequeña cantidad de muestra usando un espectrómetro gamma.</p> <p>Los resultados de emisiones alfa y beta no proveen una información aproximada acerca de los radionúclidos ya que contienen diferentes energías por la calibración del aparato. Durante la concentración de muestras de agua por evaporación, los radionúclidos se presentan en forma elemental o como compuestos, los cuales se pueden liberar por volatilización.</p>   |

## **(32) Simazina**

Registro CAS No. 122-34-9

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| <b>Usos</b>                       | Herbicida que se utiliza en varios cultivos, antes de la aparición de las malezas, así como en zonas no cultivadas.   |
| <b>Ocurrencia</b>                 | En el suelo es bastante resistente a los procesos físicos y químicos de desaparición. Su persistencia y movilidad son tales que se ha detectado con frecuencia en aguas subterráneas y superficiales en concentraciones de hasta algunos microgramos por litro. |
| <b>Clasificación convencional</b> | Compuesto nocivo  |
| <b>Carcinogenicidad</b>           | El CIIC ha clasificado este compuesto en el grupo 3.  |
| <b>Determinación analítica</b>    | Ver Tablas 34   |

**tabla 34 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

| Método  | Límite de detección   | Aplicaciones  |
|---|---|---|
| Análisis de Pesticidas organohaluros y Productos Comerciales de Bifenilos Policlorados (PCB's), Productos en Agua por Microextracción y Cromatografía de Gases. EPA 505 | Límite de detección: 6.8 µg/L<br>Intervalo: no determinado. | Aguas para consumo, y naturales (la mayoría de las aguas superficiales y subterráneas). |
| Determinación de N y P Contenidos en pesticidas en agua Por GC/NPD EPA 507  | Límite de detección: no determinado                         | Agua para bebida y agua subterránea   |
| NMX-AA-046-1981 Determinación de Plaguicidas organoclorados (método de cromatografía de gases) 21-04-1982   | Límite de detección: no determinado                         | Aguas naturales y residuales.   |
| Cromatografía con detector específico de N  |   | 0.4 µg/L  |
| Inhibición de la actividad fotolítica de CLplastos aislados directamente en el plato  | 1-0.05 ng/mancha  |   |

### (33) Sólidos disueltos

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| Usos                              | La determinación de los sólidos se emplea para el seguimiento de procesos biológicos y fisicoquímicos y frecuentemente es un parámetro contenido en la reglamentación.  |
| Ocurrencia                        | Se entiende por sólido todo residuo que queda después de la evaporación del agua a 103°C. La prueba de sólidos evalúa compuestos muy variados por lo que se dice que es una prueba global. Los sólidos incluyen tanto las sales inorgánicas (carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos de Na, K, Ca, Mg y Fe) como la materia orgánica.<br>El intervalo usual de sólidos disueltos en agua de abastecimiento es de 25 a 5,000 mg/L. La concentración normalmente deseable es de 200 mg/L.<br>En la industria, el empleo de agua altamente mineralizada daña la mayor parte de los procesos. En estos casos la concentración deseable de residuo filtrable es de 200 mg/L. |
| Clasificación convencional        | Sólidos disueltos (filtrables). Son los sólidos que atraviesan un filtro con poro de 0.45 µm. Se componen de sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal está compuesta de partículas con diámetros entre 10 <sup>-3</sup> y 1 µ. Los sólidos disueltos son moléculas y iones, que se encuentran presentes en disolución en el agua.<br>La concentración de sólidos disueltos en el agua se debe a la presencia de minerales, gases, productos de la descomposición de materia orgánica, metales y compuestos químicos orgánicos que dan color, olor, sabor y, eventualmente, toxicidad al agua que los contiene.  |
| Efectos adversos en el ser humano | Las concentraciones elevadas afectan el sabor del agua. Asimismo los sólidos disueltos aumentan la conductividad eléctrica, la cual está relacionada con los procesos de corrosión.   |
| Tratamiento                       | La fracción coloidal se elimina mediante coagulación u oxidación biológica, seguida de sedimentación.<br>Cuando el agua tiene iones (Na, Mg o sulfato, por ejemplo) la reducción de los Sólidos Disueltos Totales (SDT) requiere métodos más selectivos y costosos como la ósmosis inversa, la electrodiálisis, la destilación y el intercambio iónico. Tanto el intercambio iónico y la electrodiálisis son aplicables para concentraciones por arriba de 5,000 mg/L de SDT, mientras que la destilación y la ósmosis para valores inferiores.   |

Determinación analítica Ver tablas 35.

**tabla 35 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

| Método  | Límite de detección              | Aplicaciones  |
|---|----------------------------------|---|
| NMX-AA-020-1980<br>Determinación de sólidos disueltos totales<br>17-09-1980 | Sin límite de detección          | Abarca cualquier tipo de aguas de origen natural, industrial, agropecuario y municipal. |
| Sólidos disueltos totales secados a 180°C                                   | Intervalo superior a 20 000 mg/L |   |

**(34) Tetracloroetano**

Registro CAS No. 127-18-4

Usos El tetraClLeteno se ha utilizado principalmente como disolvente para la limpieza en seco y, en menor medida, como desengrasante. Es utilizado como antihelmíntico en el tratamiento de faciopsiasis.

Ocurrencia El tetraClLeteno está muy difundido en el medio ambiente y se encuentran trazas de él en el agua, los organismos acuáticos, el aire, los alimentos, los animales marinos y en tejidos humanos. Las concentraciones ambientales más altas se hallan en los sectores de limpieza en seco y desengrasado de metales. Las emisiones pueden a veces dar lugar a elevadas concentraciones en las aguas subterráneas, las cuales si están en condiciones anaerobias dan lugar a la degradación del compuesto para formar otros más tóxicos, en particular el cloruro de vinilo.

Clasificación convencional Sustancia tóxica

Carcinogenicidad El CIIC lo clasifica en el grupo 2B (ver anexo A)

Efectos adversos en el ser humano A grandes dosis, el tetraClLeteno es un depresor del sistema nervioso central. Se ha informado de que concentraciones menores provocan lesiones en el hígado y los riñones. Puede provocar dependencia por la inhalación habitual de pequeñas cantidades de vapores y ocasionar coma, arritmias cardíacas y muerte. Es un narcótico a altas concentraciones.

Tratamiento La Ozonación es el único método de tratamiento que remueve eficientemente el compuesto a través de la oxidación.

Determinación analítica Ver Tablas 36

**tabla 36 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

| Método  | Límite de detección | Aplicaciones  |
|---|---------------------|---|
| Compuestos orgánicos volátiles en agua por Purga y Trampa en Columnas Capilares de Cromatografía de Gases con Fotoionización y Detectores en Serie de Conductividad Electrolítica.<br>EPA 502 |                     | Aguas para consumo, y naturales (la mayoría de las aguas superficiales y subterráneas). |

**tabla 36 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

|   |   |   |
|---|---|---|
| Medida de Compuestos Orgánicos Purgables en Agua por Columnas Capilares GC/MS EPA 524   | Límite: 0.04 µg/L<br>Intervalo: 0.1-100 µg/L  | Aguas para consumo, y naturales (la mayoría de las aguas superficiales y subterráneas). |
| Determinación de VOC's Aromáticos e Insaturados en agua EPA 503   | Intervalo: 2.2-600 µg/L<br>Límite: 0.008 µg/L | Agua de bebida y aguas naturales  |
| Cromatografía de gases con detector de captura de electrones en una columna empacada con 20% de SP-2100 (0.1%) Carbowax 1500 en Supelcort | ≤ 0.1 µg/L<br>desv. est. 5%                   |   |
| Cromatografía de gases con detector de captura de electrones en una columna empacada con 3% de SE-52 en Crsorb W (AW DMCS)                | 0.5-18.5 µg/L                                 |   |
| Cromatografía de gases con detector de captura de electrones en una columna empacada con SE-30, Xe-60 o Carbowax 400                      | Niveles de microgramos/L                      |   |
| Cromatografía de gases con detector de captura de electrones en una columna empacada con 15% de Dexsil 300 en Diatomea C                  | 0.01-10 µg/L                                  |   |
| Cromatografía de gases con detector de captura de electrones en una columna empacada con Crsorb 101                                       | 2 µg/L  |   |
| GC-MS de purga y trampa   | Límites de detección<br>< 1 µg/L              |   |

### (35) Tetracloruro de carbono

Registro CAS No. 56-23-5

|  |   |
|--|---|
| <b>Usos</b>                                    | Solvente industrial y de laboratorio. Se emplea en la manufactura de clorofluorocarbonos incluyendo el triclorofluorometano y el diclorofluorometano. También se usa en la producción de refrigerantes, aerosoles y propelentes. Es un agente de limpieza en seco y extintor de fuego, además de ser un antihelmíntico veterinario. Se emplea como disolvente de aceites, grasas, lacas, barnices, caucho, ceras y resinas. El tetracloruro de carbono también se emplea en la fabricación de pinturas y plásticos. |
| <b>Ocurrencia</b>                              | Se libera en el aire y el agua durante la fabricación y uso de refrigerantes de clorofluorocarbono.<br>La concentración en agua para consumo es generalmente inferior a 5 µg/L.   |
| <b>Clasificación convencional</b>              | Sustancia tóxica.   |
| <b>Carcinogenicidad</b>                        | el CIIC lo clasifica en el grupo 2B.  |
| <b>Teratogenicidad y efectos reproductivos</b> | Se sospecha teratogenicidad en humanos, aunque la evidencia disponible no es suficiente. Altos niveles pueden causar daños en testículos y ovarios.   |

|  |  |
|--|--|
| <b>Irritabilidad</b>                     | El contacto con la piel puede causar dermatitis.   |
| <b>Efectos adversos en el ser humano</b> | La toxicidad en humanos se observa como el resultado de su absorción a través de la inhalación, la ingestión o la exposición dérmica. Los efectos sistémicos de una exposición aguda incluyen náusea, vómito, diarrea, dolor de cabeza, estupor, daño renal y hepático. Los efectos crónicos causan daño al hígado, al riñón y problemas visuales.<br>Aunque los datos disponibles sobre su concentración en los alimentos son limitados, se prevé que la ingesta del tetracloruro de carbono procedente del aire resulte mucho mayor que la de alimentos y agua de consumo. |
| <b>Tratamiento</b>                       | La ozonación es el único método de tratamiento que remueve eficientemente el tetracloruro de carbono a través de la oxidación.   |
| <b>Determinación analítica</b>           | Ver Tabla 37   |

**tabla 37 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

| Método  | Límite de detección  | Aplicaciones  |
|---|--|---|
| Compuestos orgánicos volátiles en agua por Purga y Trampa en Columnas Capilares de Cromatografía de Gases con Fotoionización y Detectores en Serie de Conductividad Electrolítica.<br>EPA 502 |  | Aguas para consumo, y naturales (la mayoría de las aguas superficiales y subterráneas). |
| Medida de Compuestos Orgánicos Purgables en Agua por Columnas Capilares GC/MS<br>EPA 524  | Límite: 0.21 µg/L<br>Intervalo: 0.5-10 µg/L  | Aguas para consumo, y naturales (la mayoría de las aguas superficiales y subterráneas). |
| Cromatografía de gases con detector de captura de electrones en una columna empacada con 20% de SP-2100/0.1% de carbowax 1500 en supelcoport  | Límite de detección: < 0.1 µg/L<br>Intervalo de trabajo: 0.1-10 µg/L<br>Desviación estándar: 5 % | Agua potable, superficial e industrial  |
| Cromatografía de gases con detector de captura de electrones en una columna empacada con 10% OV-1 y gas crom Q  | Intervalo de trabajo: 0.5-18.5 µg/L  | Agua superficial  |
| Cromatografía de gases con captura de electrones en una columna empacada con 3% de SE-52 en Crsorb W (AW DMCS)  | Intervalo de trabajo: 1-100 µg/L<br>Límite de detección: 5 µg/L<br>Desviación estándar: 3.5%     | Agua superficial  |
| Cromatografía de gases-espectrometría de masa y detección de ión. Columna empacada con 10% de diglicerol en gaschrom G:NAW:   | Límite de detección: Niveles de microgramos/L  | Agua potable  |
| Cromatografía de gases con detector de captura de electrones en una columna empacada con SE-30, XE-60 o carbowax 400  | Intervalo de trabajo: 0.01-10 µg/L   | Agua fresca y de mar  |
| Cromatografía de gases con detector de captura de electrón en una columna empacada con 15% de Dexsil 300 en diatomea C  | Límite de detección: < 1 ppb   | Agua potable  |

**tabla 37 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

|  |                              |              |
|--|------------------------------|--------------|
| Cromatografía de gases y espectrometría de masa en una columna de cromatografía capilar empacada con 10% de GE SF-96 y Igepal CO 880 | Límite de detección: 2 µg/L  | Agua potable |
| Cromatografía de gases con detector de captura de electrón en una columna empacada con Cromosorb 101                                 | Límite de detección: 0.1 ppb | Agua potable |

### (36) Turbiedad

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Usos                              | Es un rápido indicador de la presencia de material particulado.  |
| Ocurrencia                        | La causa de la turbiedad en el agua de bebida es la presencia de partículas, que pueden deberse a que el tratamiento ha sido insuficiente, el sedimento ha vuelto a quedar en suspensión en el sistema de distribución, o bien, ocurrió alguna reacción química de precipitación. En el caso de algunas aguas subterráneas puede deberse también a la presencia de partículas de materia orgánica. |
| Efectos adversos en el ser humano | Niveles elevados de turbiedad pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y estimular la proliferación de bacterias.   |
| Tratamiento                       | El tratamiento de la turbiedad resulta en la remoción de patógenos y algunos químicos, especialmente aquellos que se adsorben sobre las partículas.  |
| Determinación analítica           | Ver Tabla 38   |

**tabla 38 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

| Método  | Límite de detección  | Aplicaciones  |
|---|--|---|
| Determinación de Propiedades físicas<br>Método Nefelométrico<br>EPA 180.1 | Límite de detección: no reportado<br>Intervalo: 0-40 UNT     | Agua para consumo, superficial y salina.  |
| NMX-AA-038-1981<br>Determinación de turbiedad<br>07-04-1982               | Valor mínimo detectable de 25 unidades de turbiedad Jackson. | Aguas de origen natural y residual por el método turbidimétrico de la bujía patrón. |

### (37) Zn, zn

Registro CAS No. 7440-66-6

|            |   |
|------------|---|
| Usos       | El cloruro de Zn se usa para preservar la madera, refinar aceite, elaborar cemento dental, en la síntesis química, la manufactura de pergamino y la elaboración de C activado, desodorantes, desinfectantes, tintes y soluciones para embalsamar.   |
| Ocurrencia | Abunda en la corteza terrestre en el orden de 0.02% en peso.<br>De 64 minerales del Zn, los más importantes son: la esfarelita (blenda de Zn), Znita, smithsonita, wurtzita, calamina y gloslarita.<br>El Zn entra al agua de consumo por el deterioro de tuberías de Fe galvanizado y por la dezincificación del latón, en tales casos se encuentra además Pb y Cd, como parte de las impurezas de la materia prima. |

El agua de bebida que contiene Zn en concentraciones superiores a 5 mg/L, puede no ser aceptada por los consumidores, ya que da un sabor astringente y una apariencia opalescente.

El Zn es un metal anfótero cuya solubilidad se incrementa a pH bajos y altos. Es un elemento esencial para el metabolismo de mamíferos.

|  |   |
|--|---|
| <b>Clasificación convencional</b>        | Altamente flamable (como polvo fino).   |
| <b>Carcinogenicidad</b>                  | No existe clasificación del CIIC  |
| <b>Irritabilidad</b>                     | La aplicación en piel humana de 0.3 mg Zn/día durante 3 días causan una ligera irritación.  |
| <b>Efectos adversos en el ser humano</b> | <p>Algunos estudios reportan que la dosis excesiva de Zn puede tener efectos sobre el páncreas, sin embargo, no causa daño al hígado o a los riñones. En pruebas realizadas con un número no especificado de sujetos donde se suministraron 300 mg de Zn elemental por día durante 6 semanas se observaron daños en el sistema inmunológico. Esto aún está en discusión debido a la deficiencia de Cu generada por el exceso de Zn. También, el Zn altera la absorción intestinal de Fe.</p> <p>Algunos estudios muestran que un incremento de Zn en la dieta interfiere con la absorción y empleo del selenio produciendo deficiencia de este compuesto. El requerimiento de Zn en la dieta del hombre es de 2 a 20 mg/d dependiendo del consumo de proteínas y fósforo.</p> <p>La deficiencia de Zn causa dermatitis pústular bulboide, diarrea, alopecia, problemas mentales, y desórdenes inmunológicos. Una deficiencia moderada genera retardo en el crecimiento, hipergonadismo en mujeres, cambios en la piel, poco apetito, letargia mental, retardo en la cicatrización de heridas y adaptación anormal a la obscuridad. Una deficiencia marginal se caracteriza por cambios neurosensoriales, oligospermia y decremento de testosterona en mujeres, hiperanemia, decremento en la producción de IL2, en la respuesta inmunológica y daño de las funciones neurofisiológicas.</p> <p>La evidencia clínica muestra que las anomalías neurológicas no ocurren de forma regular en animales y hombres expuestos a dosis de Zn mayores a las normales ya sea por medio del aire, el agua o los alimentos.</p> |
| <b>Tratamiento</b>                       | <p>El Zn se remueve por la precipitación en condiciones alcalinas, los reactivos comúnmente empleados son los hidróxidos metálicos. La adición de cal es el método más generalizado y funciona a un pH de 10; tiene el inconveniente de que también precipita sulfatos de Ca lo que incrementa la cantidad de lodos producida.</p> <p>La clarificación y/o filtración requiere la determinación del valor óptimo de pH para cada tipo de agua y la remoción previa de los sólidos suspendidos. El intercambio iónico y la recuperación evaporativa se emplean para recuperar el metal.</p>  |
| <b>Determinación analítica</b>           | Ver tablas 39   |

**tabla 39 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

| RECOMENDADOS POR LAS NORMAS MEXICANAS (NMX) Y LA EPA  |   |   |
|---|---|---|
| Método  | Límite de detección   | Aplicaciones  |
| Absorción Atómica (AA)<br>EPA 7950  | Límite de detección: 0.005 mg/L<br>Intervalo: 0.05-1 mg/L                                 | Agua para consumo, superficial y salina. Agua residual  |
| Espectroscopia de plasma acoplado inductivamente (ICP)<br>EPA 200.7   | Límite de detección: 2 µg/L<br>Intervalo: no determinado                                  | Elemento en estado disuelto, suspendido o total en agua para consumo y superficial y en agua residual doméstica e industrial. |
| NMX-AA-051-1981<br>Determinación de metales (método espectrofotométrico de absorción atómica)<br>22-02-1982 | Los límites de detección dependen de la sensibilidad del equipo y de cada elemento en sí. | Aguas naturales y residuales.   |

**tabla 39 métodos de determinación analítica recomendados por las normas mexicanas (NMX) y la EPA**

| RECOMENDADOS POR LAS NORMAS MEXICANAS (NMX) Y LA EPA  |  |   |
|---|--|---|
| Método  | Límite de detección  | Aplicaciones  |
| NMX-AA-078-1982<br>Determinación de Zn<br>12-07-1982<br>Método colorimétrico de la ditizona I y II                                      | Límite de detección: 1 mg/L  | Ditizona I: Aguas potable o no contaminada.<br>Ditizona II: Aguas residuales o contaminadas |
| Espectrometría de absorción atómica de extracción con flama aire - acetileno  |  | 2-6 µg/L  |
| Espectrometría de absorción atómica de aspiración directa con flama aire, acetileno   | 0.005 mg/L   | 0.05-2 mg/L   |
| Espectrometría de absorción atómica por inducción de plasma acoplado (ICP) con $\lambda=213.86$ nm                                      | 2 µg/L   | 7-7 076 µg/L  |
| Método de la ditizona I y II (Reacción que genera compuestos coordinados coloridos extractables en solventes orgánicos a pH de 4 a 5.5) | 0 µg: verde<br>1 µg: azul<br>2 µg azul violeta<br>3 µg: violeta<br>4 µg rojo violeta<br>4 µg rojo violeta<br>Se reporta como 4 µg/L dividiendo entre el volumen de la muestra. |   |