

15
29.



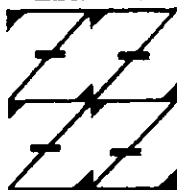
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

PROPUESTA PARA LA INSTALACION DE UN
SISTEMA DE PURIFICACION DE AGUA
(BEBEDEROS) EN LA F.E.S.
ZARAGOZA CAMPUS II

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A N :
JERONIMO HONORIO GARCIA PEREZ
JESUS PRADO VAZQUEZ

UNAM
FES
ZARAGOZA



LO HUMANO EJE
DE NUESTRA REFLEXIÓN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SEPTIEMBRE, 1998.

265847



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

JEFATURA DE CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/0016/98

ASUNTO: Asignación de Jurado

C. Jerónimo Honorio García Pérez
Jesús Prado Vázquez.
Presente

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado para el Examen Profesional, le comunico que la Jefatura a mi cargo ha propuesto la siguiente designación:

Presidente: I.B.Q. Lorenzo Rojas Hernández
Vocal: I.Q. Andrés Aquino Canchola
Secretario: Biol. Eloisa A. Guerra Hernández
Suplente: Biol. Jorge Manuel López Reynoso
Suplente: I.Q. Dominga Ortiz Bautista

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D.F., 21 de Mayo de 1998

EL JEFE DE LA CARRERA

I.Q. Magín Enrique Juárez Villar

lrm

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

Porque siempre me han brindado su apoyo incondicionalmente, y animándome a seguir siempre adelante.

A MIS HERMANOS:

Por el apoyo que me brindaron para seguir superándome.

Jerónimo H. García Pérez.

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

Por haberme dado la luz de la vida y en el transcurrir de los años de su vida propia la educación, las ganas de superación en todos los aspectos de mi vida, tanto en el aspecto humano como en el aspecto profesional.

A MIS HERMANOS:

Por la ayuda que me brindaron para seguir adelante por el camino de la superación humana y profesional.

A MIS ABUELOS:

Por haberles dado la vida a mis padres, y las ganas de luchar contra cualquier adversidad para salir avante en la vida.

Jesús Prado Vázquez.

RECONOCIMIENTO

Al ing. Andrés Aquino Canchola por su valiosa cooperación y la asesoría brindada para el desarrollo de este trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, por habernos dado una formación profesional.

ÍNDICE

RESUMEN	8
----------------	---

OBJETIVO GENERAL	10
-------------------------	----

INTRODUCCIÓN

1. Generalidades	12
2. Estándares Revisados por la Organización Mundial de la Salud	14
2.1. Valores Guía para la Calidad Bacteriológica del Agua Potable	15
2.2. Valores Guía de Productos Químicos en el Agua Potable	15
2.2.1. <i>Inorgánicos</i>	16
2.2.2. <i>Alcanos Clorados</i>	16
2.2.3. <i>Etenos Clorados</i>	17
2.2.4. <i>Hidrocarburos Aromáticos</i>	17
2.2.5. <i>Clorobencenos</i>	17
2.2.6. <i>Varios Orgánicos</i>	18
2.2.7. <i>Pesticidas</i>	18
2.2.8. <i>Desinfectantes</i>	19
2.2.9. <i>Subproductos de Desinfección</i>	19
2.3. Valores Guía para Componentes Radiactivos en el Agua Potable	20

CAPÍTULO I PROPIEDADES DEL AGUA

1. Propiedades Físicas del Agua	23
1.1. Densidad y Viscosidad	23
1.2. Presión de vapor y Tensión Superficial	24
1.3. Solución y Suspensión de Sólidos	25
1.4. Absorción de la Luz	25
2. Química del Agua	26
2.1. Solución y Suspensión de Impurezas	27
2.2. Soluciones y Solubilidad	28
2.3. Soluciones de Solutos Ionizados	28
2.3.1. <i>Independencia de los Iones</i>	28
2.3.2. <i>Conductancia</i>	29
2.3.3. <i>Concentración Iónica</i>	29
2.4. Reacciones Químicas de los Iones	29

CAPÍTULO II

FUENTES DE ABASTO DE AGUA POTABLE

1. Fuentes de Agua	32
1.1. Abastecimientos Subterráneos	32
1.2. Abastecimientos Superficiales	32
2. Principales Problemas en el Agua	33
2.1. El Problema del Limo en el Agua	33
2.2. El Problema de la Evaporación del Agua	34
2.3. Las Bajas Temperaturas Dificultan el Tratamiento del Agua	34
2.4. Las Algas Afectan los Niveles de O ₂	34
2.5. CO ₂ y Minerales	34
3. Causas del Olor y Sabor	35
4. Desinfección del Agua	36

CAPÍTULO III

TIPOS DE TRATAMIENTO PARA POTABILIZAR EL AGUA

1. Formas Antiguas de Tratamiento de Agua	39
2. Tipos de Tratamiento	39
3. Métodos	40
3.1. Precipitación	40
3.1.1. <i>Ablandamiento por Precipitación</i>	40
3.1.2. <i>Ablandamiento Parcial con Cal</i>	41
3.1.3. <i>Ablandamiento Completo con Cal</i>	41
3.1.4. <i>Ablandamiento más Completo a Temperaturas Elevadas</i>	42
3.1.5. <i>Eliminación de los Metales Pesados</i>	42
3.1.6. <i>Eliminación del Silice</i>	43
3.2. Intercambio Iónico	43
3.2.1. <i>Intercambio de Aniones</i>	45
3.2.2. <i>Intercambio del Ciclo de Sodio (Ablandamiento con Zeolita)</i>	45
3.2.3. <i>Intercambio del Ciclo de Hidrógeno</i>	46
3.3. Separación Mediante una Membrana	46
3.3.1. <i>Filtración</i>	46

3.3.2. Ultrafiltración	47
3.3.3. Electrodialisis	47
3.3.4. Ósmosis Inversa	47
3.4. Adsorción	49
3.4.1. Polvos o Gránulos	49
3.4.2. Control del Sabor y del Olor	50
3.4.3. Remoción de la Materia Orgánica	50
3.4.4. Grado de Recuperación	50
3.4.5. Naturaleza de los Adsorbentes	51
3.5. Control de la Actividad Microbiana	52
3.5.1. Factores Físicos que Afectan el Crecimiento de los Microorganismos	54
3.5.2. Factores Químicos que Afectan el Crecimiento de los Microorganismos	55
3.5.3. Métodos para Controlar la Actividad Microbiana	55
3.5.4. Biocidas Oxidantes	55
3.5.5. Biocidas no Oxidantes	58
3.5.6. Biocidas Catiónicos	59
3.5.7. Organometálicos	59
3.5.8. Tratamientos Físicos	59
3.5.9. Iones Metálicos	59
3.5.10. Alcalis y Ácidos	60
3.5.11. Productos Químicos Tensoactivos	60
3.6. Tratamiento del Olor	61
3.6.1. Destrucción de Olores	61
3.6.2. Eliminación del Olor	61

CAPÍTULO IV

CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA . Y NORMATIVIDAD NACIONAL

1. Control de la Calidad del Agua	66
1.1. Agua Potable	66
1.2. Infecciones Bacterianas	67
1.2.1. Fiebre Tifoidea y Cólera	67
1.2.2. Fiebre Paratifoidea y Disentería Bacilar	67
1.3. Infecciones por Protozoarios	67
1.4. Infecciones por Helmintos	68
1.5. Infecciones por Virus	68
1.6. Venenos Transportados por el Agua	68
1.7. Otras Propiedades del Agua Relacionadas	69
1.8. Características Apetecibles del Agua	70
1.8.1. Color y Turbidez	70
1.8.2. Sabores y Olores	70
1.9. Normas de las Aguas Potables	71

1.9.1. Fuente y su Protección	71
1.9.2. Calidad Bacteriológica	71
1.9.3. Características Físicas	72
1.9.4. Características Químicas	72
1.9.5. Fluoruros	73
1.10. Plantas de Tratamiento y Normas de Calidad	74
2. Especificaciones Sanitarias Publicadas en el Diario Oficial de la República Mexicana	74
2.1. Especificaciones Sanitarias	74
2.1.1. Organolépticas y Físicas	74
2.1.2. Fisicoquímicas	75
2.1.3. Microbiológicas	75
2.1.4. Plaguicidas	76

CAPÍTULO V

PROPUESTA DE UN TREN DE POTABILIZACIÓN

1. Estudio Técnico-Económico	79
1.1. Precipitación	79
1.2. Intercambio Iónico	81
1.3. Separación Mediante una Membrana	83
1.4. Métodos para el Control de Microorganismos	85
1.4.1. Biocidas Oxidantes	85
1.4.2. Biocidas no Oxidantes	86
1.4.3. Biocidas Catiónicos	86
1.4.4. Organometálicos	86
1.4.5. Iones Metálicos	86
1.4.6. Alcalis y Ácidos	86
1.4.7. Productos Químicos Tensoactivos	86
1.4.8. Tratamientos Físicos	87
1.5. Métodos para el Control del Olor y Sabor	87
2. Selección del Sistema de Purificación	87
2.1. Diagrama de Flujo del Sistema de Purificación	89
3. Costos	90
4. Conclusión	93

APÉNDICE

1. Objetivo	97
2. Referencias	97
3. Definiciones	97
4. Especificaciones Sanitarias	101
4.1. Organolépticas y Físicas	101
4.2. Físicoquímicas	101
4.3. Microbiológicas	102
4.4. Plaguicidas	102
4.5. Radiactivas	103
5. Métodos de Prueba	103
6. Tratamientos para la potabilización del Agua	103
6.1. Contaminación Biológica	103
6.2. Características Físicas y Organolépticas	103
6.3. Constituyentes Químicos	104
7. Observancia de la Norma	104

REFERENCIAS

1. Bibliográficas	107
2. Hemerográficas	108

RESUMEN

El agua es un elemento vital para todos los seres vivos; el hombre ha dependido del agua a través del tiempo y de la historia para poder cultivar y calmar la sed, tanto de él como de los animales domesticados, por esta razón para las antiguas culturas el agua representaba un elemento importante en su desarrollo. La mayor parte del planeta es agua, pero sólo una porción total del agua es dulce y está distribuida en los ríos, lagos y pozos, son las fuentes de abastecimiento a que se recurren para satisfacer la demanda del hombre.

El agua para beber debe ser adecuada para el consumo humano, es decir, potable. Para que se clasifique como potable debe de estar libre de materia suspendida visible, color excesivo, sabor y olor, materia disuelta desagradable, sustancias peligrosas y microorganismos.

El hombre ha estudiado, desarrollado y mejorado métodos para la potabilización del agua, además de estándares que nos indican la cantidad de contaminantes permisibles en el agua y que no afectan al hombre. La ciencia y la tecnología del agua es un tema interdisciplinario que comprende la aplicación de principios biológicos, químicos y físicos. Con la revisión continua de la calidad del agua es posible erradicar las enfermedades hídricas.

Para la propuesta sobre la instalación de un sistema de purificación de agua (bebederos) en la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza Campus II, se revisaron los diferentes métodos que existen para la potabilización de agua, las ventajas y los inconvenientes de cada método para su instalación.

De los métodos estudiados, el sistema de luz ultravioleta es el método que cumple con las mejores condiciones de instalación, operación y mantenimiento para la instalación de los bebederos, además de cumplir con las normas de calidad establecidas en el Diario Oficial de la Nación. La inversión del sistema y la instalación del mismo es muy bajo comparado con los diferentes métodos analizados, como el sistema no emplea productos químicos, no necesita de equipo extra para el tratamiento de los desechos provocados por la purificación de agua, tampoco requiere de grandes dimensiones de terreno, el costo de operación y mantenimiento es mínimo y el costo por mantenimiento del sistema dependerá de la calidad de agua de entrada al equipo de purificación.

El costo del agua a través del sistema de purificación es muy bajo, comparado con el costo del agua comercial; y, además, se tiene la seguridad de que el agua proveniente del bebedero está purificada, mientras que el agua comercial se desconoce si realmente es purificada o no.

Para revisar si realmente el agua de este sistema de purificación cumple con las normas establecidas en el Diario Oficial de la Nación, es recomendable que exista un laboratorio de control donde se analice la calidad del agua que abastece.

OBJETIVO

Proponer para la F.E.S. Zaragoza Campus II un sistema de purificación de agua para consumo humano, que cumpla con las normas de calidad del agua purificada que técnica y económicamente sea factible.

INTRODUCCIÓN

1. GENERALIDADES

El agua, como el hombre, tiene su historia; ha sido muy importante en el desarrollo de grandes culturas. Los antiguos egipcios edificaron un sistema muy extenso de depósitos para poder almacenar las aguas del río Nilo. La Biblia hace también referencia a los abastecimientos de agua, por ejemplo, la lucha de los pastores de Isaac con los habitantes de los manantiales del Valle de Gerar por la posesión de dichos manantiales y a la construcción de un depósito para llevar agua a la ciudad de Jerusalén por el rey Ezequias, entre algunos ejemplos de la Historia.

Los romanos no hubieran alcanzado la grandeza de su imperio sin la asistencia de los ingenieros hidráulicos, las aguas del río Tíber estaban demasiado contaminadas para que fueran potables y, por esta razón, los ingenieros construyeron alrededor de 650 kilómetros de acueductos que llevaban el agua a la ciudad desde diferentes fuentes. En Arizona y Nuevo México (Estados Unidos de América), los arqueólogos todavía están explorando los sistemas de irrigación que construyeron los ingenieros indígenas.

El agua, considerada en la antigüedad como un elemento, es una combinación de oxígeno e hidrógeno. Cavendish reconoció (1781) que se formaba en la combustión del hidrógeno. Los trabajos de Lavoisier, Carlisle y Nicholson (análisis electrolítico del agua, 1800), Gay-Lussac y Humboldt (síntesis eudiométrica, 1805), y finalmente Dumas (síntesis ponderal, 1834), establecieron su composición. El agua está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno; su fórmula es H_2O . Puede tomar forma sólida, líquida o gaseosa; a presión atmosférica (1 atm.) se solidifica cuando se enfría a $0^{\circ}C$ y ebulle a $100^{\circ}C$; cuando es pura, no es ácida ni alcalina; disuelve numerosas sustancias. A los $2500^{\circ}C$ se descompone en hidrógeno y oxígeno, y a temperaturas ordinarias se descompone cuando es atravesada por una corriente eléctrica.

El agua debe de transportarse desde la fuente hasta los hogares, fábricas, oficinas y en los demás lugares en donde se utiliza. A fin de obtener agua para los sistemas de abastecimiento, se recurre, principalmente a los ríos y lagos; y en ocasiones de los pozos. Hay dos maneras de hacer llegar el agua a una ciudad. El más antiguo y sencillo -empleado por los romanos- es manejado por gravedad. Los ingenieros eligen un río claro y constante en las colinas, lo más cercano a la ciudad, y comienzan a construir en el río una represa para poder recoger el agua. La calidad del agua puede ser muy diferente de la corriente en movimiento. Sobre la represa, el agua se extiende formando un lago artificial (llamado depósito de reserva y el agua adquiere las características de un lago), donde el agua fluye cuesta abajo por una enorme tubería (llamado acueducto) y que va a parar a depósitos de reserva menores que alimentan las tuberías maestras de abastecimiento de la ciudad. Estos existen bajo casi todas las calles y que distribuyen el agua a cada casa, edificio, etc. El sistema se llama de gravedad, porque el agua viaja todo el tiempo por los conductos que la llevan, sin recibir impulso mecánico hacia abajo. Algunas ciudades no tienen colinas para construir una represa, por eso se emplea bombas para llevar el agua a la ciudad desde algún río, lago, manantial, o pozo profundo que se inyecta de forma directa a las tuberías maestras. Otras las almacenan en un gran tanque elevado en forma de torre (llamado *columna de alimentación*), desde donde el agua puede fluir a las tuberías maestras por gravedad y del mismo modo que si el tanque estuviera sobre la colina.

El agua potable debe ser limpia, incolora, inodora, tiene que ser pobre en materias orgánicas, cloruros, nitratos, nitritos, amoníaco y estar libre de microorganismos patógenos; el agua potable es la apta para la alimentación, lavado y usos industriales, debe de ser fresca y aireada; contener menos de 2 mg/lit de oxígeno o permanganato; tener un grado hidrométrico inferior a 30 (lo cual corresponde a 170 mg de CaO/lit); el cloro y el ácido sulfúrico no deben de exceder respectivamente a 40 y 60 mg/lit. Por lo que se refiere a los microorganismos, si contiene mas de 1,000 por cm^3 el agua es de mala calidad y si contiene más de 10,000 el agua está demasiado contaminada para ser potable.

La evaporación del agua de los mares, ríos, lagos producen vapor de agua que al condensarse forman las nubes; éstas restituyen a la superficie de la tierra en forma de lluvia o nieve, el agua que recuperarán los ríos y arroyos, o que formarán las fuentes y capas freáticas subterráneas (aguas de infiltración). Éstas actúan sobre las rocas, cuyos elementos solubles disuelven. Pueden contener principalmente carbonato y sulfuro de calcio; según la proporción de sales disueltas, estas aguas se llaman *dulces* (menos de 0.6 g de sales/lit) o *duras*. Se reserva el nombre de *aguas minerales* a las que contienen una proporción notable de sales útiles en terapéutica. El agua de lluvia es relativamente pura, ya que casi no contiene sales disueltas.

La apreciación de potabilidad se efectúa mediante un examen organoléptico seguido de un análisis químico-bacteriológico. No existe uniformidad internacional en la fijación de las condiciones que debe reunir un agua potable, pero en general se admiten las siguientes:

Color	Incolora
Sabor	Insípida o de sabor agradable
Aireación	Aireada
Limpidez	Límpida
Dureza	No debe cortar el jabón (hasta 18° alemanes, 22.5° franceses ó 32.2° ingleses)
Examen bacteriológico	Ausencia de E. coli fecal y de gérmenes patógenos, no más de dos gérmenes coliformes por cada 100 cm^3
PH	Neutro o ligeramente alcalino (pH < 7.07)
Materia orgánica	No debe necesitarse más de 12 mg de permanganato de potasio por litro

Los límites en miligramos por litro de agua (Ref.(6)).

Ácido sulfúrico (en sulfato de calcio)	60.0
Residuo fijo por evaporación	500.0
Amoníaco libre	0.0
Amoníaco por destilación	0.02
Ácido nítrico (en N_2O_5)	30.0
Cinc	5.0
Flúor	1.2
Plomo + vanadio	0.3

Hierro

0.3

Se permitirá superar de estos niveles en ciertos casos, como por ejemplo, cuando un agua de manantial atraviese terrenos yesíferos. En el caso de México, se debe revisar las Normas Oficiales de Calidad de Agua para uso y consumo humano.

Desde el punto de vista del público, el agua es un elemento esencial. El agua forma, aproximadamente, el 70% del peso total del cuerpo humano; debe reponerse constantemente, a medida que se evapora de los pulmones, de la piel y que sale a través del cuerpo en forma de desechos.

2. ESTÁNDARES REVISADOS DE LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD

Las directrices de la O.M.S. para el agua de consumo son quizá los estándares más importantes relativos a la calidad del agua. Se usan universalmente y son la base para la legislación de la Comunidad Europea y de la Agencia del Medio Ambiente Americana (U.S.E.P.A.). Las directrices existentes se basan en las evidencias toxicológicas disponibles hasta 1987, con unas últimas nuevas directrices añadidas en Ginebra en septiembre de 1992. Las nuevas directrices incluyen parámetros microbiológicos, químicos y radiológicos. Los parámetros químicos incluyen 17 inorgánicos, 27 orgánicos, 33 pesticidas y 17 desinfectantes y subproductos asociados. Las directrices están basadas en exposiciones de por vida (todas las directrices y evidencias científicas están incluidas en los tres volúmenes de estándares de la O.M.S.).

Algunos valores guía se han designado en forma provisional debido a la falta de información toxicológica (por ejemplo, el ácido tricloroacético), a la ausencia de métodos analíticos fiables y sensibles (por ejemplo, el bromuro) y el valor guía del plomo ($10 \mu\text{g} / \text{lt}$) que va resultar muy conflictivo y costoso para su implementación tanto en los países desarrollados como no desarrollados.

Las directrices microbiológicas están todavía basadas en la *Escherichia coli* o en coliformes termorresistentes como indicadores de la contaminación fecal. Se recomienda coliformes totales solamente como indicador de la eficiencia del tratamiento y la integridad del sistema de distribución, no como indicador de la presencia o ausencia de patógenos. No se han establecido valores guía para virus, protozoos o bacterias patógenas específicas debido a la falta de métodos analíticos adecuados para el trabajo rutinario. La O.M.S. consideró innecesario recomendar valores guía basados en la salud para el asbesto, estaño o plata ya que son considerados como *no nocivos* para la salud en las concentraciones que normalmente se encuentran en el agua potable.

2.1. VALORES GUÍA PARA CALIDAD BACTERIOLÓGICA DEL AGUA POTABLE

Estos valores fueron revisados por la Organización Mundial de la Salud en 1993.

Organismos	Directriz
<i>Todas las aguas destinadas para consumo</i> E. coli o bacterias coliformes termorresistentes**	No deben ser detectables en ninguna muestra de 100 ml
<i>Agua tratada entrando en el sistema de distribución</i> E. coli o bacterias coliformes termorresistentes' Bacterias coliformes totales	No deben ser detectables en ninguna muestra de 100 ml No deben ser detectables en ninguna muestra de 100 ml
<i>Agua tratada en el sistema de distribución</i> E. coli o bacterias coliformes termorresistente' Bacterias coliformes totales	No deben ser detectables en ninguna muestra de 100 ml No deben ser detectables en ninguna muestra de 100 ml. En el caso de grandes suministros donde se examinan suficientes muestras, no deben estar presentes en el 95% de las muestras tomadas durante cualquier periodo de 12 meses.

Ref.(13).

Se deben tomar acciones inmediatas de investigación tanto si se detectan bacterias E. coli o coliformes totales. La acción mínima en el caso de coliformes totales es repetir la toma de muestra; si estas bacterias se detectan en la muestra repetida, la causa se debe de determinar por una inmediata y complementaria investigación.

* Aunque la E. coli es el indicador más preciso de la contaminación fecal, el conteo de bacterias coliformes termorresistentes es una alternativa aceptable. Si es necesario, se puede llevar a cabo un test de confirmación adecuado. El total de bacterias coliformes no es un indicador aceptable de la calidad sanitaria de los suministros rurales de agua, específicamente en áreas tropicales donde aparecen muchas bacterias sin significado sanitario en casi todos los suministros no tratados.

* Está reconocido que en la mayoría de los suministros rurales de agua en los países en desarrollo la contaminación fecal está muy extendida. Bajo estas condiciones, la agencia nacional de vigilancia debe establecer objetivos a mediano plazo para una progresiva mejora de los suministros (recomendación dada por la O.M.S.).

2.2. VALORES GUÍA DE PRODUCTOS QUÍMICOS EN EL AGUA POTABLE

Estos valores fueron revisados por la Organización Mundial de la Salud; los valores guía basados en la salud para asbesto, estaño y plata no se han establecido ya que se considera que no son peligrosos para la salud a las concentraciones que normalmente se encuentran en el agua potable (1993).

2.2.1. INORGÁNICOS

Compuesto (mg/l)	Valor guía	Notas
Antimonio	0.005(P)	
Arsénico	0.01(P)	Para un riesgo de cáncer en la piel superior a 6×10^{-4} *
Bario	0.7	
Berilio	--	No hay datos adecuados para recomendar un valor guía basado en la salud.
Boro	0.3	
Cadmio	0.003	
Cromo	0.05(P)	
Cobre	2(P)	La concentración de la sustancia al mismo valor guía o por debajo de él pueden afectar el aspecto, sabor u olor del agua.
Cianuro	0.07	
Fluoruro	1.5	Cuando se establece el estándar nacional se deben considerar condiciones climáticas, volumen de agua consumida e ingestión de otros orígenes.
Plomo	0.01	Está reconocido que no todas las aguas cumplirán la directriz inmediatamente; mientras tanto, se deben de aplicar todas las demás medidas recomendadas para reducir la exposición total al plomo.
Manganeso	0.5(P)	La concentración de la sustancia al mismo valor guía o por debajo de él pueden afectar el aspecto, sabor u olor del agua.
Mercurio (total)	0.001	
Molibdeno	0.07	
Níquel	0.02	
Nitrato	50	La suma de la relación de cada uno de ellos con respecto a sus valores guía (GV) no deben exceder la unidad
Nitrito	3	
Selenio	0.01	
Uranio	--	No hay datos adecuados para recomendar un valor guía basado en la salud.

Ref.(13).

2.2.2. ALCANOS CLORADOS

Compuesto ($\mu\text{g/l}$)	Valor guía	Notas
Tetracloruro de carbono	2	
Diclorometano	20	
1,1-Dicloroetano	--	No hay datos adecuados para recomendar un valor guía basado en la salud.
1,2-Dicloroetano	30	Para un riesgo superior a 10^{-5} *
1,1,1-Tricloroetano	2,000(P)	

Ref.(13).

2.2.3. ETENOS CLORADOS

Compuesto ($\mu\text{g}/\text{lt}$)	Valor guía	Notas
Cloruro de vinilo	5	Para un riesgo superior a 10^{-3} *
1,1-Dicloroeteno	30	
1,2-Dicloroeteno	50	
Tricloroeteno	70(P)	
Tetracloroeteno	40	

Ref.(13).

2.2.4. HIDROCARBUROS AROMÁTICOS

Compuesto ($\mu\text{g}/\text{lt}$)	Valor guía	Notas
Benceno	10	Para un riesgo superior a 10^{-3} *
Tolueno	700	La concentración de la sustancia al mismo valor guía o por debajo de él pueden afectar el aspecto, sabor u olor del agua.
Xilenos	500	La concentración de la sustancia al mismo valor guía o por debajo de él pueden afectar el aspecto, sabor u olor del agua.
Etilbenceno	300	La concentración de la sustancia al mismo valor guía o por debajo de él pueden afectar el aspecto, sabor u olor del agua.
Estireno	20	La concentración de la sustancia al mismo valor guía o por debajo de él pueden afectar el aspecto, sabor u olor del agua.
Benzo(a)pireno	0.7	Para un riesgo superior a 10^{-3} *

Ref.(13).

2.2.5. CLOROBENCENOS

Compuesto ($\mu\text{g}/\text{lt}$)	Valor guía	Notas
Monoclorobenceno	300	La concentración de la sustancia al mismo valor guía o por debajo de él pueden afectar el aspecto, sabor u olor del agua.
1,2-Diclorobenceno	1,000	La concentración de la sustancia al mismo valor guía o por debajo de él pueden afectar el aspecto, sabor u olor del agua.
1,3-Diclorobenceno	--	No hay datos adecuados para recomendar un valor guía basado en la salud.
1,4-Diclorobenceno	300	La concentración de la sustancia al mismo valor guía o por debajo de él pueden afectar el aspecto, sabor u olor del agua.
Triclorobenceno (totales)	20	La concentración de la sustancia al mismo valor guía o por debajo de él pueden afectar el aspecto, sabor u olor del agua.

2.2.6. VARIOS ORGÁNICOS

Compuesto ($\mu\text{g/l}$)	Valor guía	Notas
Di(2-etilhexil)adipato	80	
Di(2-etilhexil)ftalato	8	
Acilamida	0.5	Para un riesgo superior a 10^{-3} *
Epiclorohidrin	0.4(P)	
Hexaclorobutadieno	0.6	
EDTA	200(P)	
Ácido nitrilotriacético	200	
Dialquiestaños	--	No hay datos adecuados para recomendar un valor guía basado en la salud.
Óxido de tributilestaño	2	

2.2.7. PESTICIDAS

Compuesto ($\mu\text{g/l}$)	Valor guía	Notas
Alaclor	20	Para un riesgo superior a 10^{-3} *
Aldicarb	10	
Aldrin / dieldrin	0.03	
Atrazina	2	
Bentazon	30	
Carbofuran	5	
Clordano	0.2	
Clortoluron	30	
DDT	2	
1,2-Dibromo-3-cloropropano	1	Para un riesgo superior a 10^{-3} *
2,4-D	30	
1,2-Dicloropropano	20(P)	
1,3-Dicloropropano	--	No hay datos adecuados para recomendar un valor guía basado en la salud.
1,3-Dicloropropeno	20	Para un riesgo superior a 10^{-3} *
Dibromo etileno	--	No hay datos adecuados para recomendar un valor guía basado en la salud.
Heptaclor y heptaclor epóxido	0.03	
Hexaclorobenceno	1	Para un riesgo superior a 10^{-3} *
Isoproturon	9	
Lindano	2	
MCPA	2	
Metoxiaclor	20	
Metolaclor	10	
Molinate	6	
Pendimetafin	20	
Pentaclorofenol	9(P)	
Permetrin	20	
Propanil	20	
Piridate	100	
Simacina	2	
Trifluralin	20	
Otros herbicidas clorofenoxi diferentes a 2,4-D y MCPA	100	
2,4-DB	90	

2,4,5-T	9	
Silvex	9	
Mecoprop	10	
MCPB	--	No hay datos adecuados para recomendar un valor guía basado en la salud.

2.2.8. DESINFECTANTES

Compuesto	Valor guía	Notas
Monocloramina	3	
Di- y Tricloraminas	--	No hay datos adecuados para recomendar un valor guía basado en la salud.
Cloro	5	La concentración de la sustancia al mismo valor guía o por debajo de él pueden afectar el aspecto, sabor u olor del agua. Para la desinfección efectiva el residuo de cloro libre ≥ 0.5 mg / lt después de por lo menos 30 minutos de contacto a pH < 8.0
Dióxido de cloro		No se ha establecido un valor guía debido a la rápida descomposición del dióxido y porque el valor guía del clorito protege adecuadamente de la toxicidad del dióxido de cloro.
Yodo	--	No hay datos adecuados para recomendar un valor guía basado en la salud.

2.2.9. SUBPRODUCTOS DE DESINFECTANTES

Compuesto	Valor guía	Notas
Bromato	25(P)	
Clorito	200(P)	
Clorato	--	No hay datos adecuados para recomendar un valor guía basado en la salud.
2-Clorofenol	--	No hay datos adecuados para recomendar un valor guía basado en la salud.
2,4-Diclorofenol	--	No hay datos adecuados para recomendar un valor guía basado en la salud.
2,4,6-Triclorofenol	200	Para un riesgo superior a 10^{-5} . La concentración de la sustancia al mismo valor guía o por debajo de él pueden afectar el aspecto, sabor u olor del agua.
Formaldehído	900	
MX	--	No hay datos adecuados para recomendar un valor guía basado en la salud.
Trihalometanos		La suma de la relación de concentraciones de cada uno con sus respectivos valores guía no deben de exceder la unidad.
Bromoformo	100	
Dibromoclorometano	100	
Bromodichlorometano	60	Para un riesgo superior a 10^{-5} *
Cloroformo	200	Para un riesgo superior a 10^{-5} *
Ácido monocloroacético	--	No hay datos adecuados para recomendar un valor guía basado en la salud.
Ácido dicloroacético	50(P)	
Ácido tricloroacético	100(P)	

Tricloroacetaldehído / hidrato cloral	10(P)	
Cloropropanonas		No hay datos adecuados para recomendar un valor guía basado en la salud.
Dicloroacetnitrilo	90(P)	
Dibromoacetnitrilo	100(P)	
Bromocloroacetnitrilo	--	No hay datos adecuados para recomendar un valor guía basado en la salud.
Tricloroacetnitrilo	1(P)	
Cloruro de cianógeno (como CN)	70	
Cloropicrina	--	No hay datos adecuados para recomendar un valor guía basado en la salud.

(P) Valor guía provisional. Este término se utiliza para constituyentes en los cuales hay alguna evidencia de un peligro potencial pero donde la información disponible de los efectos sobre la salud es limitada y/o donde un factor de incertidumbre mayor de 1,000 se usa en la derivación de la toma diaria tolerable (TDI). Los valores guía provisionales son también recomendados (I) para aquellas sustancias para las cuales el valor guía calculado sería (I) por debajo del nivel de cuantificación práctico o (II) por debajo del nivel que se puede conseguir a través de un método de tratamiento práctico, o (2) donde es muy posible que la desinfección se produzca superando el valor guía.

* Para las sustancias que están consideradas como cancerígenas, el valor guía es la concentración en el agua potable asociada con un riesgo de cáncer en la vida superior a 10^{-3} (un cáncer adicional por cada 100,000 de la población que ingiere el agua potable conteniendo la sustancia a un valor guía durante 70 años). Las concentraciones asociadas con riesgos estimados de cáncer en la vida de 10^{-4} y 10^{-6} se pueden calcular multiplicando y dividiendo, respectivamente, el valor guía por 10.

2.3. VALORES GUÍA PARA COMPONENTES RADIATIVOS EN EL AGUA POTABLE

	Valor de emisión (Bq/lt)	Notas
Actividad- α total	0.1	Si se excede el valor de emisión, se necesitan análisis más detallados de los radionúcleos.
Actividad- β total	1	Valores más altos no implican necesariamente que el agua no es apta para el consumo humano.

Ref.(13).

CAPÍTULO I

PROPIEDADES DEL AGUA

1. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA

Líquido transparente, inodoro, sin color, sin sabor, pero que toma un color azul verdoso en lugares profundos por la actividad de organismos fotosintéticos el agua toma fácilmente los otros estados físicos; por definición de la escala termométrica centesimal, se congela a 0°C y hierve a 100°C bajo la presión atmosférica normal.

Entre las principales propiedades físicas del agua en el aspecto hidráulico y de calidad están la densidad, viscosidad, presión de vapor, tensión superficial, poder de disolución y suspensión, absorción de la luz. Casi todas las propiedades físicas del agua dependen de la temperatura.

1.1. DENSIDAD Y VISCOSIDAD

Las variaciones de densidad en las masas profundas de agua dan por resultado la estratificación e inversión temporal de los lagos y depósitos, con amplias variaciones consecuentes en la calidad del agua. La densidad es un elemento fundamental en la formación de circuitos cortos en los tanques de sedimentación, así como en masas de aguas mayores; en forma similar, la viscosidad es importante en la coagulación química o floculación.

La densidad se expresa en tres formas distintas:

1. Como masa densidad ρ o masa por unidad de volumen (g/cm^3).
2. Como peso específico γ o peso (fuerza) por unidad de volumen (cm^2t^{-2}).
3. Como densidad relativa $d_r = \rho/\rho_0 = \gamma/\gamma_0$.

El subíndice cero denota aquí la densidad a una temperatura estándar o de referencia; tal como la temperatura que corresponde a la máxima densidad del agua, 4°C (39.2°F), cuando el agua pesa un $1 \text{ g}/\text{cm}^3$ ($62.427 \text{ lb}/\text{ft}^3$). La densidad del agua líquida a diferentes temperaturas es la siguiente:

Temperatura, °C	Densidad, g / cm^3
0	0.9999
4	1.0000
10	0.9997
20	0.9982
30	0.9957
100	0.9584

La viscosidad es una resistencia a la deformación y es análoga a la fricción interna. La viscosidad se expresa de las dos siguientes formas:

1. Como viscosidad absoluta o dinámica μ o masa por unidad de longitud y tiempo ($\text{ml}^{-1}\text{t}^{-1}$)

2. Como viscosidad cinemática $\nu = \mu/\rho$ o longitud elevada al cuadrado por unidad de tiempo (l^2t^{-1}).

La fluidez es el recíproco de la viscosidad absoluta ($m^{-1}lt$). La viscosidad del agua es un centipoise a 20.20°C (63.36°F). A temperaturas comunes del agua, se tiene la siguiente tabla abreviada de viscosidad:

Temperatura, °C	Viscosidad centipoise	dinámica,
0	1.79	
4	1.57	
10	1.31	
20	1.01	
30	0.800	
100	0.284	

Se observa que la viscosidad varía con la temperatura, de hecho, más que la densidad. Las impurezas ejercen escasa influencia.

1.2. PRESIÓN DE VAPOR Y TENSIÓN SUPERFICIAL

Tanto la presión de vapor como la tensión superficial se manifiestan en las interfases aire-agua. La presión de vapor es un factor de control de la evaporación; el aire o gas en contacto inmediato con el agua se satura en forma rápida con el vapor de agua, entonces las moléculas de vapor se condensan en las superficies del agua tan rápidamente como se evaporan y, entonces, el vapor alcanza el equilibrio con el agua. La presión de vapor (p_w) se expresa en los términos de la presión barométrica (mm Hg). Los valores de equilibrio a las temperaturas comunes del agua son las siguientes:

Temperatura, °C	Presión de vapor, mm Hg
0	4.58
4	6.10
10	9.21
23	17.5
30	31.8
100	760.0

La tensión superficial entre un líquido y un gas es una propiedad del líquido únicamente; sus dimensiones son energía por unidad de área o fuerza por unidad de longitud (mt^{-2}). La tensión superficial del agua pura contra el aire es relativamente grande; sus valores a las temperaturas comunes del agua son las siguientes:

Temperatura, °C	Tensión superficial, dina/cm
0	75.3
4	74.8
10	74.2
20	72.8
30	71.2
100	58.9

1.3. SOLUCIÓN Y SUSPENSIÓN DE SÓLIDOS

La forma en que un sólido se disuelve en el agua no es comparable a la solución de los gases ideales. La solubilidad está en función de la temperatura, la naturaleza y la estructura del sólido; y de la naturaleza y concentración de las impurezas del agua. La solubilidad de los sólidos aumenta con la temperatura, pero puede variar en forma considerable de una temperatura a otra. algunas sustancias se descomponen por el calor en sus componentes; la solubilidad de estos componentes determina la concentración mantenible.

La velocidad de solución de los sólidos en agua es proporcional al grado de subsaturación del sólido en la solución. Varía, además, en forma directa con el área superficial del sólido, e inversamente al volumen del líquido. Mientras mayor sea el área superficial del sólido por unidad de volumen de agua, será más rápida su solución.

Los sólidos en suspensión se encuentran separados unos de otros en forma tan tosca, que son visibles a simple vista, ya que absorben o difunden la luz. Producen turbidez y contienen las sustancias que se han descargado en el agua, las que arrastra la corriente desde el fondo y las que se formaron en la misma, debido a la precipitación química o por crecimientos de organismos vivos, en particular las algas.

1.4. ABSORCIÓN DE LA LUZ

La absorción de la energía solar por el agua es importante debido a tres factores que son:

- a) Los organismos clorofiláceos utilizan la energía radiante y aumentan la calidad de sustancia celular (fotosíntesis).
- b) Las bacterias y otros organismos vivientes son destruidos, y el color, especialmente el natural, es blanqueado por las longitudes de onda actínicas (químicamente activas), en particular por la luz ultravioleta.
- c) La energía absorbida se convierte en calor.

No toda la energía solar dirigida hacia una masa de agua penetra la superficie de ésta. Alguna se refleja, aumentando su cantidad a medida que el ángulo de incidencia se hace más agudo. De acuerdo con esta explicación, el período de luz diurna es más corto en

el agua que en la atmósfera; la reflexión aumenta cuando el viento ondula la superficie del agua. La absorción de la radiación solar es selectiva, para una longitud determinada, la velocidad de la absorción es proporcional a la intensidad de la luz (ver tabla):

$$p_e = 1 - (\exp - (k_e * l))$$

donde: l = longitud de trayectoria del haz.
 k_e = coeficiente de extinción o velocidad de absorción (l^{-1}).
 p_e = proporción de energía absorbida.

Tabla 1: Absorción de la luz por el agua destilada dentro del espectro visible

Color	Longitud de onda, A	Coefficiente de extinción, k_e (ft^{-1})	Absorción proporcional, $100 * p_e$ (ft^{-1})
(Límite superior)	8,000	$5.7 * 10^{-1}$	43
Rojo	7,200	$3.2 * 10^{-1}$	27
Naranja	6,125	$7.7 * 10^{-2}$	7.4
Amarillo	5,650	$1.3 * 10^{-2}$	1.3
Verde	5,040	$3.1 * 10^{-3}$	0.30
Azul	4,730	$1.6 * 10^{-3}$	0.16
Violeta	4,078	$3.1 * 10^{-3}$	0.30
(Límite inferior)	3,650	$1.1 * 10^{-2}$	1.1

Ref.(9).

La tabla anterior muestra los valores de k_e y p_e por pie (1 ft = 30.48 cm) de agua destilada para longitudes de onda próximas al valor medio para cada color del espectro visible. De acuerdo con esto, la distribución espectral de la energía solar cambia conforme aumenta la profundidad. En las aguas naturales, el coeficiente de extinción aumenta por efecto de las sustancias disueltas y en suspensión que ejercen una absorción relativa.

2. QUÍMICA DEL AGUA

Las aguas naturales nunca son completamente puras. Durante su precipitación y su paso sobre o a través del suelo, adquieren muchas clases de impurezas tanto disueltas como en suspensión. Las concentraciones de estas sustancias rara vez son fuertes en el sentido químico común. Su magnitud llega a ser de algunas milésimas de 1% o menor, sin embargo, pueden modificar profundamente las propiedades químicas del agua y su utilidad. Debido a esto, el término *química del agua*, en el contexto del abastecimiento de aguas se refiere a las propiedades químicas de las soluciones acuosas que contienen alguna de la amplia variedad de sustancias:

- ◆ Encontradas como impurezas en las aguas naturales.
- ◆ Agregadas al agua durante su tratamiento.
- ◆ Recogidas durante el flujo del agua a través de tubos u otros conductos.
- ◆ Impuestas al agua por los múltiples usos.

Las sustancias químicas que presentan interés desde el punto de vista de la ingeniería oscilan, desde los gases disueltos, las sales y otros compuestos inorgánicos, hasta los materiales orgánicos complejos, tanto naturales como sintéticos, deslavados por los campos y bosques.

2.1. SOLUCIÓN Y SUSPENSIÓN DE IMPUREZAS

En relación con el estado de dispersión y tamaño de las partículas más finas, las impurezas en el agua se clasifican como:

- ⇒ Sólidos en suspensión.
- ⇒ Coloides.
- ⇒ Solutos.

Se dice, técnicamente, que las sustancias se encuentran en suspensión cuando son tan grandes y gruesas que se pueden remover por sedimentación (*sólidos sedimentados*), por retención sobre papel filtro /o retenidos por la capa de asbesto de un crisol de Gooch (*sólidos filtrables*). El límite inferior de la gama de tamaños para esta clase de material se encuentra entre 0.1 y 1 μ ($1 \mu = 10^{-6}$ m), variando un poco según el tamaño y densidad de las partículas. Este límite se aproxima al tamaño de las bacterias y a la longitud de onda de la luz visible (0.4 a 0.8 μ) y por ello también representa el límite inferior de la visibilidad microscópica.

En el estado disuelto, el material dividido (solute) se encuentra disperso en el *solvente* en forma homogénea y molecular (o iónica) para formar una *solución*. Los tamaños de partículas van desde los átomos simples ($2 \cdot 10^{-1}$ a $3 \cdot 10^{-1}$ m μ hasta alrededor de 1 m μ). Este es aproximadamente el límite de resolución del microscopio electrónico.

Entre el límite superior de las soluciones verdaderas y el límite inferior de las suspensiones se encuentra la gama *coloidal*. En las dispersiones coloidales, las partículas:

- 1) No se pueden remover del agua por la filtración ordinaria, pero se pueden separar por medio de *ultrafiltración* o *diálisis* a través de los poros de membranas animales o artificiales.
- 2) No son visibles microscópicamente, pero se visualizan como puntos de luz en un haz de Tyndal o en el *ultramicroscopio* y fotografiarse mediante un microscopio electrónico.
- 3) No se sedimentan por gravedad debido a su *movimiento browniano*, pero se puede forzar su sedimentación en una centrifuga o una ultracentrifuga.

2.2. SOLUCIONES Y SOLUBILIDAD

Todos los gases, líquidos y sólidos se pueden disolver para formar soluciones; la concentración del soluto puede tener cualquier valor inferior a un determinado límite. La *solubilidad* es la concentración máxima de un soluto en un solvente, en estado de equilibrio y que aumenta con la temperatura. Para determinadas sustancias, y en determinadas condiciones, se obtienen soluciones cuya concentración sobrepasa la solubilidad.

La solubilidad de los sólidos y líquidos depende muy ligeramente de la presión; en la práctica, la solubilidad de un líquido o un sólido en un solvente dado sólo se puede considerar como una función de la temperatura, a menos que las presiones sean extremas. La solubilidad de la mayor parte de las sales inorgánicas aumentan con la temperatura, pero existe una serie de compuestos de calcio importante en la química del agua (incluyendo el CaCO_3 , CaSO_4 y Ca(OH)_2) que decrecen en solubilidad con el aumento de la temperatura.

De los dos tipos de solución en agua, los solutos como el oxígeno, el alcohol y el azúcar se encuentran dispersos como moléculas sencillas por el agua. Otras sustancias como ácidos, sales o bases se disuelven o reaccionan para dar soluciones que contienen partículas cargadas denominadas *iones*. Las solubilidades de sustancias que generan soluciones iónicas son afectadas fuertemente por la presencia de cantidades excesivas de alguno de los iones que las forman. Las solubilidades aparentes de todos los tipos de material son afectadas por la reacción química con el agua o con otros solutos.

2.3. SOLUCIONES DE SOLUTOS IONIZADOS

En la mayor parte de las sales inorgánicas simples, la unión es predominantemente iónica. Muchas otras sustancias reaccionan con el agua, al disolverse producen soluciones en las que se forman parcialmente o en su totalidad iones. Los solutos de cualquier clase que estén totalmente ionizados en soluciones acuosas diluidas se denominan *electrólitos fuertes*; los que se disuelven parcialmente se llaman *electrólitos débiles*.

2.3.1. INDEPENDENCIA DE LOS IONES

Las propiedades de las soluciones de los electrólitos fuertes son esencialmente la de los iones individuales y no las de cualquier combinación hipotética entre ellos. Por ejemplo, es más preciso atribuir la dureza a la presencia de calcio y magnesio que al bicarbonato de calcio o alguna otra combinación supuesta.

Siempre se sobreentiende que debe haber suficientes iones de carga opuesta para que la solución sea eléctricamente neutra, por ejemplo, a una solución de iones cloruro. Pero la naturaleza de los iones de carga opuesta no es importante, a menos que ocurra alguna reacción específica en que éstos intervengan.

2.3.2. CONDUCTANCIA

Las soluciones de iones conducen la electricidad, la magnitud de la conductancia depende de la naturaleza y concentraciones de los iones. los iones que se encuentran en el agua (exceptuando al H^+ y OH^-) imparten conductividades aproximadamente iguales al agua por cada equivalente y por cada peso unitario (excepto al Mg^{+2}).

2.3.3. CONCENTRACIÓN IÓNICA

Debido a las atracciones y repulsiones eléctricas entre los diversos iones, las propiedades de los iones en solución no están libres de la presencia de otros. Esto da como resultado que la concentración efectiva o *actividad* de cada ion es algo menor que su concentración molar.

Aún cuando es posible despreciar en forma frecuente las diferencias entre la actividad y la concentración en un tratamiento aproximado de las soluciones iónicas, muchos fenómenos no son posibles de interpretar en una forma adecuada, a menos que se consideren los efectos de la actividad.

2.4. REACCIONES QUÍMICAS DE LOS IONES

Como los iones de diferentes tipos pueden coexistir y actuar en forma independiente en solución acuosa mezclada, deben cumplir condiciones especiales para que se lleven a cabo las reacciones químicas. Son de suma importancia las siguientes situaciones que originan reacciones substanciales entre los iones:

- A. El producto de la combinación de iones de una sustancia ligeramente soluble, de manera que ocurra la precipitación.
- B. La reacción forma un producto no ionizado o débilmente ionizado. Los iones metálicos (en forma especial aquellos que tengan una carga mayor a la unidad) pueden interactuar con otros iones o moléculas que existan en la solución para formar los *iones complejos* débilmente disociados, o moléculas neutras. La formación de iones complejos afectan fuertemente las propiedades del ion metálico ligado al complejo.
- C. Los iones pueden ser inestables mutuamente con respecto a la oxidación y reducción. A diferencia de las anteriores, las reacciones de este tipo no están relacionados en forma directa con la naturaleza iónica de los compuestos que reaccionan y por eso no son fundamentalmente características de los solutos ionizados.

CAPÍTULO II

FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

1. FUENTES DE AGUA

El agua circula continuamente a través del ciclo hidrológico de lluvia (precipitación), escurrimiento, infiltración, retención o almacenamiento, evaporación, reprecipitación, y así sucesivamente. Se entiende por fuente de abastecimiento de agua aquel punto o fase del ciclo natural del agua que desvía o aparta el agua temporalmente, para ser utilizada, regresando finalmente a la naturaleza.

Para el abastecimiento público de agua se emplean tanto los recursos superficiales como subterráneos de agua. Las razones para elegir uno u otro son muchas, e incluso las consideraciones de calidad, la cantidad disponible, la seguridad del abastecimiento, el costo de construcción y operación son de suma importancia para dicha elección.

1.1. ABASTECIMIENTOS SUBTERRÁNEOS

Generalmente las comunidades más pequeñas son las que utilizan los abastecimientos subterráneos de agua por lo limitado que resulta el volumen de un acuífero. El inconveniente de estos abastecimientos subterráneos es la tendencia de proporcionar aguas excesivamente duras, lo cual se debe a que los constituyentes que causan la dureza son lavados de los depósitos minerales. La ventaja es que este tipo de abastecimiento requiere de un menor grado de tratamiento, debido a que las impurezas son filtradas en forma natural a medida que el agua pasa a través de las capas del suelo y el subsuelo.

- **Pozos:** Aunque no existe un límite exacto que distinga entre pozos poco profundos y pozos profundos; se clasifican como pozos pocos profundos aquellos cuya profundidad es menor de 30 metros y profundos aquellos cuya profundidad es superior a dicho límite.
- **Manantiales:** Aparecen donde un estrato que lleva agua alcanza la superficie del terreno, o donde las fisuras de la roca *afloran* a la superficie, en tales condiciones que el agua subterránea es forzada a través de las grietas.
- **Filtraciones subterráneas:** Estas aguas provienen, principalmente, de la lluvia que es absorbida por el suelo y que es filtrada por las diferentes capas del subsuelo llegando a un depósito donde adquiere las propiedades de dicho depósito.

1.2. ABASTECIMIENTOS SUPERFICIALES

Las grandes ciudades, en la mayoría de los casos, dependen de abastecimientos superficiales, pero muchas veces éstas no son seguras para el consumo humano y requieren de tratamiento previo.

- **Manantiales:** Los pequeños manantiales, de terrenos elevados proporcionan aguas insípidas, prácticamente claras, excepto durante la temporada de lluvias tempestuosas, en las que pueden tener una cantidad moderada de sólidos en suspensión.

- **Ríos:** Los abastecimientos de agua de ríos requieren de los mayores recursos para su tratamiento. La turbiedad, el contenido mineral y el grado de contaminación varían considerablemente de un día a otro; la variación de temperatura del agua durante el año puede hacerla indeseable (principalmente en los meses de verano).
- **Lagos y lagunas naturales:** Proporcionan agua de calidad excepcionalmente buena, excepto cerca de sus márgenes y en la vecindad de descargas de drenaje o de corrientes fuertes. Necesita de un tratamiento mínimo, la disponibilidad de cantidades de agua prácticamente ilimitadas constituyen una ventaja decisiva. Se debe tener cuidado para localizar los puntos de toma de agua como los de descarga, esto hace que el agua llegue al tratamiento con un mínimo de contaminantes. Las aguas de los lagos y lagunas son razonablemente uniformes de un día a otro y no varían tanto de su temperatura como en los ríos o los pequeños embalses.
- **Embalses:** La cantidad de agua que lleva una corriente está sujeta a muy grandes variaciones de un día a otro y a lo largo de las diferentes épocas del año. Cuando el consumo de agua es mayor, o incluso al del caudal de la corriente, es necesario construir una represa, creando así un embalse para almacenar el agua durante la época de lluvias. Los embalses tienen la ventaja de eliminar la mayor parte del lodo o enturbiamiento del agua por sedimentación durante su almacenaje, disminuye la cantidad de bacterias; su desventaja es la producción de olores y sabores por el crecimiento de algas. Ref.(16).

2. PRINCIPALES PROBLEMAS EN EL AGUA

El agua por ser un elemento de vital importancia dentro de la sociedad, se debe de tener en cuenta la problemática que existe para el tratamiento del agua, dividirlos para poderlos manejar y unirlos para así obtener un agua de calidad que satisfaga las necesidades de la sociedad. Los principales problemas que tiene el agua son:

2.1. EL PROBLEMA DEL LIMO EN EL AGUA

La mayor parte de las corrientes del agua acarrean limo sacado del suelo, que suele provocar daños en represas y depósitos. Se conocen varios métodos para solucionar este problema. Uno es el dragado, mientras que el otro consiste en el empleo de albercas de sedimentación; éstas reciben el agua antes que pase al depósito y retienen el limo que contenga el agua, las albercas deben de dragarse en un cierto tiempo para eliminar el limo. Otro método es empleando compuertas de bajo nivel, a través de las cuales el limo sale del depósito durante los períodos de creciente; las compuertas de este tipo no funcionan en grandes depósitos.

2.2. EL PROBLEMA DE LA EVAPORACIÓN DEL AGUA

La evaporación provoca que se pierda gran cantidad de agua en los depósitos abiertos, principalmente en las zonas cálidas y secas. Se ha progresado en la solución al problema de dichas pérdidas, se emplea una fina película (consistente en octadecanol y hexadecanol) que tiene un espesor de una molécula y que flota sobre la superficie del agua y dificulta el escape de las moléculas acuosas al aire; si el viento dispersara la película, ésta se forma nuevamente. Con esta película se reduce en un 15% la evaporación.

Al inhibir la evaporación, la película causa una elevación de la temperatura del agua y así se almacena la energía irradiada del sol dentro del agua. Los estudios demuestran que la película no afecta en las propiedades físicas y químicas del agua, ni daña la vida natural que exista en ella.

2.3. LAS BAJAS TEMPERATURAS DIFICULTAN EL TRATAMIENTO DEL AGUA

Otro problema existente en el tratamiento de agua es el cambio de temperatura durante las estaciones del año. Esto complica el tratamiento, y afecta en forma particular el proceso de coagulación en invierno. Las bajas temperaturas crean tapones de aire en los filtros debido al aumento de la solubilidad de los gases y a la mayor viscosidad del agua; esto causa un aumento en la caída de presión a través de los lechos de filtración, liberando gases y destruyendo de esta forma el flujo.

2.4. LAS ALGAS AFECTAN LOS NIVELES DE O₂

Cuando los contaminantes son biodegradables, la actividad de las bacterias en la corriente aumenta con la carga del contaminante, tendiendo a reducir el nivel de oxígeno disuelto en la corriente; sin embargo, se tienen otros factores compensables. El principal factor es la presencia de algas en la corriente; las algas producen oxígeno durante la fotosíntesis en el día, y con frecuencia una sobresaturación en los días brillantes y soleados, cayendo durante la noche cuando el proceso se restringe. Este ciclo diurno afecta al oxígeno, al dióxido de carbono y al pH.

2.5. CO₂ Y MINERALES

Al filtrarse el agua a través del suelo, los organismos presentes en la tierra consumen el oxígeno disuelto y producen dióxido de carbono, uno de los principales agentes corrosivos en la disolución de minerales de las estructuras geológicas. Es común encontrar hierro y manganeso en las aguas que carecen de oxígeno si éstas han estado en contacto con minerales que contienen hierro.

Es poco usual encontrar altos niveles de hierro disueltos en las aguas superficiales, excepto cuando la fuente de agua tiene un fuerte olor y un pH relativamente bajo. cuando

se construye una presa en un río, la calidad del agua difiere de la corriente en movimiento, porque el agua detrás de la presa toma las características de un lago. En las presas profundas, es común encontrar estratificación, con una escasez de oxígeno en el fondo, una zona estancada y el desarrollo de niveles significativos de hierro y manganeso en las aguas del fondo, aún cuando se mantenga libre de estos metales pesados. Las represas naturales o artificiales de las corrientes en pequeñas áreas con lluvias abundantes producen fuentes de agua con bajo contenido en minerales.

3. CAUSAS DEL OLOR Y SABOR

Los materiales que contribuyen a la percepción de olores y sabores en el agua son de diversos orígenes. Algunos compuestos inorgánicos (tales como los iones metálicos) en partes por millón (ppm), dan un cierto sabor al agua; los principales agentes responsables del olor son los materiales orgánicos que, en determinadas condiciones, pueden provocar dificultades persistentes, aunque tan sólo existan en concentraciones del orden de las mil millonésimas (ver tabla 2 y 3):

Tabla 2: Concentración de algunos productos químicos que originan sabor y olor

Sustancia	Concentración detectable, partes por 10 ⁹
Formaldehído	50,000
Picolinas	500-1,000
Compuestos fenólicos	250-4,000
Xilenos	300-1,000
Hidrocarburos de refinería	25-50
Aguas residuales petroquímica	15-100
Éter fenílico	13
Compuestos fenólicos clorados	1-100

Tabla 3: Concentración umbral de olor (TOC) de algunos compuestos particulares

Compuesto	TOC, partes por 10 ⁹
Naftaleno	6.8
Tetralina	18
2-metil-5-etilpiridina	19
Estireno	37
Acetofenona	65
Etilbenceno	140
Bis (2-cloroisopropil) éter	200
2-etilhexanol	270
Bis (2-cloroetil) éter	360
Di-isobutil carbinol	1,300
Fenilmetil carbinol	1,450

Otra de las causas más comunes del sabor y olor del agua son los materiales biológicos. Las investigaciones realizadas sobre las verdaderas fuentes de los olores provocados por las algas han puesto de manifiesto que los compuestos responsables son el

resultado de las actividades metabólicas de estos organismos, y la mayor parte de las veces el material odorífero queda retenido.

Los actinomicetos son otra fuente de sabor y olor en el agua, a la que le da un color terroso característico. Los nematodos y amebas (o amibas) son otra fuente biológica de olores y sabores en los abastecimientos de agua; los cultivos de nematodos forman una sustancia aceitosa y gomosa que despiden un olor terroso característico.

No se debe de ignorar la posibilidad de que en el sistema de distribución surjan problemas de olor y sabor que pueden determinar que el agua no sea la adecuada para el consumo humano. Los problemas se deben a una demora en la reacción del cloro (empleado como desinfectante) con los compuestos orgánicos que existen en el agua tratada.

La vida de compuestos intermedios está influenciada por diversos factores ambientales, tales como el pH, la temperatura, la presencia de amoníaco y concentraciones de las especies reaccionantes. Ref.(5).

4. DESINFECCIÓN DEL AGUA

En la actualidad se considera que la desinfección del agua implica un tratamiento especializado dirigido a la destrucción de organismos perjudiciales o simplemente indeseables. Los organismos que pueden existir en el agua sobreviven durante semanas cuando se mantienen a temperaturas del orden de 21°C, o durante meses cuando las temperaturas son inferiores de 21°C. Además de la temperatura, la supervivencia depende de los factores ambientales, fisiológicos y morfológicos, entre los que figuran el pH, oxígeno y dilución del suministro de materias nutritivas; la competencia con otros organismos, la resistencia a las influencias tóxicas, la capacidad en los hombres depende de su virulencia, concentración, modo de ingestión por el hombre y resistencia de éste.

La desinfección del agua involucra también la destrucción de los organismos causantes de las enfermedades, distintos a las bacterias intestinales, aunque no implica en forma necesaria, la destrucción completa de todos los organismos vivos; los procesos de desinfección del agua raras veces prosiguen hasta el punto de esterilización, ya que ésta se limita principalmente a la parte médica.

En relación con la desinfección del agua, los organismos productores de enfermedades (distintos de las bacterias) que deben tenerse en cuenta incluyen una gran variedad de virus, protozoos intestinales y algunos microorganismos. En lo que respecta a la desinfección, entre los factores que afectan a la supervivencia de dichos organismos en el agua son importantes su resistencia o impuesta (por ejemplo, la protección por algas, materiales en suspensión, tubérculos, etc.) a los desinfectantes.

CAPÍTULO III

TIPOS DE TRATAMIENTO PARA POTABILIZAR EL AGUA

1. FORMAS ANTIGUAS DE TRATAMIENTO DE AGUA

El tratamiento de agua se remonta a la antigüedad. Los chinos y los egipcios empleaban el sulfato de amonio para coagular el limo y materia orgánica suspendida en el agua. Un libro de medicina escrito en sánscrito (lengua escrita de la antigua India) señalaba que era conveniente conservar el agua en vasijas de cobre, exponerlas a la luz del Sol y filtrarla utilizando carbón vegetal.

La distribución y tratamiento de agua existente es de reciente creación. Hasta épocas comparativamente recientes, sólo las personas demasiado ricas podían permitirse hacer llegar el agua hasta sus casas. La mayor parte de la población iba por el agua a los diferentes pozos, manantiales o centros de distribución; con el desarrollo de la bomba de vapor y de cañerías de fundición que resistieran grandes presiones internas se logró que el agua llegara a cualquier casa. El tratamiento moderno de agua comienza con la invención del filtro lento de arena en 1829 (inventado en Inglaterra por James Simpson). A fines del siglo XIX se introdujo el filtro rápido de arena, que desplazó al filtro lento.

2. TIPOS DE TRATAMIENTO

Las aguas destinadas al consumo público deben limpiarse de las impurezas que llevan en suspensión, del exceso de sales minerales que pudieran contener y de materia orgánica y gérmenes patógenos que pueden acompañarla. Para ello se emplea cinco clases de procedimientos:

- 1) **Procedimientos mecánicos.**- La *decantación* consiste en dejar reposar el líquido. Las impurezas más pesadas se depositan en el fondo. Con la filtración se obtienen mejores resultados, a condición de que los poros del cuerpo filtrante sean suficientemente pequeños. La *bugla de Chamberland* (filtro Pasteur), hecha de porcelana fina sin esmaltar, es el mejor filtro doméstico, muy fácil de limpiar (mediante fuego), pero que tiene el inconveniente de filtrar muy lentamente. En las grandes instalaciones (para consumo de ciudades) el filtrado se hace a través de lechos de grava y arena para retener las partículas coloidales y muchos microorganismos.
- 2) **Procedimientos físicos.**- La *esterilización*, obtenida por ebullición prolongada, o mejor, calentando a presión a 125°C (autoclaves), ofrece las máximas garantías.
- 3) **Procedimientos químicos.**- La *precipitación* del exceso de carbonato de calcio con alumbre, cal o carbonato sódico es el procedimiento industrial usado para la preparación de agua para calderas.
- 4) **Procedimientos mixtos.**- Se emplean en las instalaciones destinadas al suministro de las ciudades. Tiene lugar primero la *sedimentación* de las impurezas favorecida con alumbre y sulfato de hierro que hacen de coagulantes. Luego se filtra a través de un lecho de grava y arena, donde los coagulantes producen un revestimiento gelatinoso que retiene las bacterias. Después se adicionan al agua cantidades relativamente pequeñas de sustancias que actúan como veneno de bacterias (cloro, polvos de gas, ozono, etc.). Para eliminar posibles algas microscópicas se trata el agua con sulfato cúprico.

5) **Depuradores de agua.**- Estos aparatos, de empleo más reciente, utilizan las propiedades de los cuerpos *intercambiadores de iones* (resinas sintéticas), que disminuyen la concentración de sales cálcicas y, por lo tanto, la dureza del agua por un procedimiento fisicoquímico. Los depuradores de agua son de fácil empleo doméstico, ya que se colocan simplemente a la salida del grifo.

3. MÉTODOS

La purificación y el ablandamiento del agua se pueden lograr mediante diferentes métodos, según el empleo a que vaya destinado el agua. El *ablandamiento* es el término que se aplica a los procesos que eliminan o reducen la dureza. El término *purificación*, para distinguirlo del ablandamiento, se refiere a la eliminación, en general, de la materia orgánica y de los microorganismos que están en el agua. Por ejemplo, la clarificación puede ser muy importante y se puede combinar con el ablandamiento de agua fría por precipitación.

3.1. PRECIPITACIÓN

El proceso de precipitación emplea el producto de la solubilidad de un compuesto que contiene un ion o radical que es considerado perjudicial y que debe ser eliminado antes de que el agua pueda ser utilizada. La temperatura es un factor importante en la precipitación; el producto de la solubilidad depende de la temperatura, las características de la solubilidad del precipitado deseado influirán en la selección del equipo de tratamiento.

Uno de los principios fundamentales de la precipitación es que aumenta el tamaño del precipitado si la reacción química se lleva a cabo en presencia de partículas previamente precipitadas. A causa de estas reacciones, la mayor parte de los procesos de precipitación en el tratamiento de agua se efectúa introduciendo en el agua las sustancias químicas para la precipitación en presencia de todo previamente precipitado.

3.1.1. ABLANDAMIENTO POR PRECIPITACIÓN

Son cuatro las variables claves en la precipitación, y son:

- ◇ Solubilidad.
- ◇ Carga de la partícula.
- ◇ Temperatura.
- ◇ Tiempo.

El ablandamiento con cal es el proceso que se emplea con mayor frecuencia, reduciendo la dureza por adición de cal hidratada (Ca(OH)_2) al agua para precipitar CaCO_3 , Mg(OH)_2 o ambos. También pueden emplearse otros compuestos hidróxidos, como NaOH,

KOH, pero de ordinario no compiten con el bajo costo de la cal salvo en la situación especial en que se disponga de ellos como subproductos.

La mayor parte de las reacciones de ablandamiento se llevan a cabo a un pH alrededor de 10. Para este valor de pH, el CaCO_3 porta una carga negativa, mientras que el $\text{Mg}(\text{OH})_2$ tiene una carga positiva. Si no se neutralizan las cargas, la dureza del coloide puede resistir la floculación y pasarse al efluente. Con frecuencia se emplea aluminato de sodio como coagulante aniónico cuando se necesitan residuos con poco magnesio ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) con carga positiva en el ablandamiento con cal completo. Puede complementarse el coagulante con un floculante aniónico o no iónico.

3.1.2. ABLANDAMIENTO PARCIAL CON CAL

La precipitación del CaCO_3 no es una reacción tan simple como aparenta, a causa de la formación de pares de iones y en virtud de las interferencias, como la estabilización del carbonato de calcio coloidal que impide su precipitación en el tiempo normal de reacción. Esto supone que la solubilidad del carbonato de calcio a la temperatura ambiente del agua de río o de pozo es alrededor de 35 mg/lit como CaCO_3 . Es claro que si el suministro de agua tiene una dureza de calcio menor de 35 mg/lit, carece de sentido el ablandamiento con cal para la reducción del calcio. Se supone un tiempo de retención, de 60 minutos aproximadamente, en el tanque de reacción.

La razón para mostrar una reducción de magnesio es la imposibilidad de mezclar instantáneamente una lechada de cal en un cuerpo grande de agua. La reducción del 1% es arbitraria y empírica, basada en la relación Ca:Mg de 2:1; si la relación disminuye, aumenta la reducción de magnesio. En este proceso, la demanda de cal está basada en el CO_2 , la alcalinidad convertida a carbonato y la reducción del magnesio.

3.1.3. ABLANDAMIENTO COMPLETO DE CAL

Después del ablandamiento parcial, la dureza residual del calcio puede ser mayor que la requerida por la ciudad o municipio. Para esta situación, la reducción posterior del calcio se logra aplicando carbonato de sodio; a medida que el calcio se precipita como CaCO_3 es reemplazado por el sodio del carbonato. La cantidad de carbonato de sodio necesaria es calculada de manera sencilla sobre la base de la reducción adicional del calcio deseada; esta adición puede continuar hasta que el calcio llega al nivel de unos 35 mg/lit; después de esa cantidad el exceso de carbonato de sodio tendrá un efecto parcial, sobre una reducción posterior de calcio.

Si se desea una reducción del magnesio junto con una reducción del calcio, deberá añadirse cal en una cantidad mayor que la necesaria en el ablandamiento parcial para reaccionar con todo el magnesio y proporcionar un exceso de alcalinidad hidróxida de 20 mg/lit; la cantidad de cal se calcula como la necesaria para el CO_2 , la conversión del carbonato y la reducción del magnesio además de un exceso de 20 mg/lit. La dosificación del carbonato de sodio se calcula por etapas para la reducción de calcio deseada.

Esto es cuando la dureza total exceda a la alcalinidad. Cuando la alcalinidad exceda a la dureza, el calcio y el magnesio son reducidos a 35 mg/lit y 20 mg/lit respectivamente.

Todas las reacciones son realizadas en frío, el lodo precipitado es devuelto a la cámara de reacción para mezclarlo con el agua cruda y los productos químicos para el tratamiento.

3.1.4. ABLANDAMIENTO MÁS COMPLETO A TEMPERATURAS ELEVADAS

El proceso de ablandamiento en caliente es un poco distinto al proceso en frío en cuanto que las solubilidades del calcio y magnesio son menores a temperaturas elevadas y la velocidad de reacción aumente en forma considerable. El CaCO_3 precipita en el proceso en frío y como aragonita en el proceso en caliente; los precipitados se asientan con mucha más rapidez en el agua caliente que en el agua fría, esto es debido a las diferencias de densidad y viscosidad entre el agua caliente y fría.

Existen dos sistemas en este proceso, los cuales son el de cal-carbonato y cal-zeolita. El proceso de cal-carbonato es semejante al proceso en frío, pero necesita una menor cantidad de cal. El proceso de cal-zeolita alcanza una remoción completa de la dureza y logra niveles más bajos de alcalinidad porque no requiere de carbonato de sodio para la reducción del calcio; si la alcalinidad del agua excede a su dureza, se logra la reducción de la alcalinidad alimentando ácido antes del ablandador o añadiendo yeso a la zona de reacción.

3.1.5. ELIMINACIÓN DE LOS METALES PESADOS

Los metales pesados son eliminados del agua por precipitación, aunque se emplea también intercambio iónico y adsorción. Como los hidróxidos de metales pesados son insolubles, se emplea cal para precipitarlos; pero algunas veces los carbonatos o sulfuros son menos solubles que los hidróxidos, se debe de tomar en cuenta la forma de hacer precipitar a estos contaminantes.

Las consideraciones para tal proceso son las siguientes:

- A) Selección del reactante para la precipitación.
- B) Temperatura.
- C) El estado de valencia del metal en el agua.
- D) El potencial zeta del precipitado coloidal del metal pesado.

Uno de los principales problemas que se presentan para alcanzar los límites deseados para el efluente es el estado coloidal de los materiales precipitados, que no han sido apropiadamente neutralizados, coagulados y floculados. Un aspecto final de la precipitación de metales pesados es la posible formación de iones complejos.

Todo lo que se necesita para definir al sistema coloidal es la determinación de la naturaleza y la magnitud de la carga de la partícula. La magnitud de la carga de la partícula determina lo cerca que pueden aproximarse los coloides. El *potencial zeta* es una medida de esta fuerza; para coloides en fuentes de agua natural con un pH de 5 a 8, el potencial zeta se encuentra entre -14 y -30 milivolts; cuando más negativo sea el número, tanto mayor será la carga de la partícula. A medida que se disminuye el potencial zeta, las partículas pueden aproximarse cada vez más aumentando la posibilidad de una colisión.

El potencial zeta se determina indirectamente de los datos obtenidos al observar en el microscopio los movimientos de las partículas. La fórmula para calcular el valor del potencial zeta es la siguiente:

$$\zeta = (4 \cdot \pi \cdot \delta \cdot q) / D$$

En donde q es la carga sobre la partícula (o diferencia de carga entre la partícula y el seno de la solución), δ es el espesor de la capa a través de la que es efectiva la diferencia de carga y D es la constante dieléctrica del medio. Ref.(9).

3.1.6. ELIMINACIÓN DEL SÍLICE

Aunque la sílice se elimina por adsorción en un flóculo de hierro en el proceso de coagulación se realiza con una baja eficiencia, por tal motivo se recurre a un sistema para procesos en frío o caliente. La sílice es adsorbida en un precipitado de hidróxido de magnesio, el cual se forma ya en la reacción de ablandamiento con cal o mediante el empleo de cal dolomítica* como reactivo para ablandar el agua. Ya que puede hacerse que estos procesos operen de forma efectiva a temperaturas tan bajas como 120°F, estos sistemas pueden modificarse para que mantengan esta temperatura con buena aproximación, lo que es necesario para evitar la formación de corrientes térmicas que puedan perjudicar el proceso de sedimentación.

* Dolomítica: La dolomita es carbonato de calcio y magnesio $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, romboédrico, de brillo vitreo. (Suele ser incolora, blanca, diversamente coloreada).

3.2. INTERCAMBIO IÓNICO

El intercambio iónico remueve de una agua cruda los iones indeseables transfiriéndolos a un material sólido, llamado *intercambiador iónico*, el cual acepta cediendo un número equivalente de iones de una especie deseable que se encuentra almacenada en el esqueleto del intercambiador, el intercambiador tiene una capacidad limitada para almacenar iones en su esqueleto (capacidad de intercambio). Cuando se satura de iones indeseables, el intercambiador es lavado con una solución regeneradora fuerte que contiene la especie de iones deseables que sustituyen a los indeseables para que de nueva cuenta se realice el intercambio iónico. Esta operación es un proceso químico cíclico, y el ciclo completo incluye el *retrolavado, regeneración, enjuagado y servicio*.

Los primeros intercambiadores eran aluminosilicatos de sodio inorgánicos; algunos de ellos son de manufactura sintética y otros se fabrican con arsenisca verde procesada, llamada *zeolita*, en formas más estables y de mayor capacidad. Actualmente estas zeolitas sólo tiene un uso limitado en el tratamiento de agua, el nombre sigue perdurando, y aún los intercambiadores iónicos orgánicos sintéticos se les sigue nombrando como zeolitas.

Los intercambiadores típicos tienen forma de granos de un tamaño de 20 a 40 mallas (0.8 a 0.4 mm), la mayor parte de los intercambiadores iónicos comerciales son de materiales plásticos sintéticos, como copolímeros de estireno y divinilbenceno; son insolubles y su vida útil esperada es de 5 a 10 años. La siguiente tabla nos muestra la selectividad de iones en el agua:

Tabla 4: Orden general de la selectividad de iones en agua por debajo de 1,000 mg/lit estándar

Cationes	Aniones
Fe ⁺³	CrO ^{-2*}
Al ⁺³	SO ₄ ^{-2*}
Pb ⁺²	SO ₃ ^{-2*}
Ba ⁺²	HPO ₄ ^{-2*}
Sr ⁺²	CNS ⁻
Cd ⁺²	CNO ⁻
Zn ⁺²	NO ₃ ⁻
Cu ⁺²	NO ₂ ⁻
Fe ⁺²	Br ⁻
Mn ⁺²	Cl ⁻
Ca ⁺²	CN ⁻
Mg ⁺²	HCO ₃ ⁻
K ⁺	HSiO ₄ ⁻
NH ₄ ⁺	OH ⁻
Na ⁺	F ⁻
H ⁺	
Li ⁺	

* Estos pueden ser desplazados cuando son protonados a pH bajo.

La *selectividad* es una propiedad de un intercambiador iónico en el procesamiento de un agua típica que contenga diversos iones mediante el ciclo de hidrógeno (intercambio forma -H). En general la selectividad está afectada por:

- La valencia iónica: 3>2>1.
- El número atómico: Ba>Sr>Ca>Mg en el grupo II A.
- Radio iónico hidratado: cuanto mayor sea el radio, tanto menores son la selectividad y la capacidad de intercambio.

La selectividad es diferente a concentraciones elevadas; por ejemplo, en el ciclo de sodio, a 1,000 mg/lit el intercambiador muestra preferencias por el Ca^{+2} sobre el Na^+ , mientras que a 100,000 mg/lit es lo contrario.

3.2.1. INTERCAMBIADORES DE ANIONES

Los intercambiadores de aniones pueden producirse a partir de varios esqueletos resinosos o plásticos, incluyendo el mismo polímero de estireno-divinilbenceno usado para intercambiadores de cationes. El grupo funcional de un intercambiador de aniones es una amina. Son de dos tipos de resina, la fuertemente básica y la débilmente básica; los intercambiadores débiles contienen un grupo de aminas secundarias o terciarias ($\text{RR}'\text{-NH}$ o $\text{RR}'\text{-N-R}'$) que pueden adsorber ácidos fuertes como HCl , H_2SO_4 , HNO_3 sin tener prácticamente capacidad de intercambio para ácidos débiles, CO_2 , SiO_2 y ácidos orgánicos; la resina agotada es regenerada por modo muy eficiente con cualquier álcali (sosa cáustica, carbonato de sodio y en ocasiones con hidróxido de amonio), que simplemente neutraliza al ácido adsorbido y lo descarga en forma de sal neutra.

Los intercambiadores de base fuerte contienen una amina cuaternaria ($\text{RR}'\text{R}''\text{R}'''\text{N} + \text{Cl}^-$) que puede intercambiar aniones, son verdaderos materiales para intercambio iónico, se emplean para la desalcalinización, remoción de sulfato, para eliminar ácidos débilmente ionizados (como el ácido silícico y el carbónico). Estas resinas de intercambio son regeneradas con sosa cáustica.

3.2.2. INTERCAMBIO CICLO DE SODIO (ABLANDAMIENTO CON ZEOLITA)

El ablandamiento con zeolita es el proceso de intercambio iónico más antiguo y más simple. Elimina la dureza del agua, incluyendo el hierro y el manganeso si estos constituyentes pueden mantenerse en forma iónica reducida. Cuando el lecho del intercambiador está saturado con los constituyentes de la dureza, el intercambiador se regenera con una salmuera de cloruro de sodio

Durante la etapa de procesamiento puede variar la dureza del agua y también puede cambiar la velocidad del flujo a través del sistema, aunque el lecho continúa operando de manera efectiva en la producción de agua blanda.

Durante el proceso de ablandamiento, los iones de calcio y magnesio son eliminados del agua dura por intercambio catiónico con iones de sodio; cuando la resina intercambiadora ha quitado los iones de calcio y magnesio se regenera la resina a su forma de sodio con una solución de sal en el intervalo de 6 a 8 de pH. La capacidad de intercambio de resinas de poliestireno es de 650 Kg/m cuando se regeneran con 250 g de sal por 1 Kg de dureza eliminada. Los intercambiadores catiónicos del ciclo de sodio para el tratamiento son del tipo de resina sintética de estireno-divinilbenceno sulfonado.

El agua proveniente de un tratamiento con intercambiadores iónicos tienen un nivel de dureza inferior a 1 ppm, expresada como carbonato de calcio. En los casos que se encuentre un agua muy dura, con dureza de bicarbonato, es deseable tratar el agua primeramente por el proceso de precipitación con cal y después por el intercambio catiónico.

Los desechos de la regeneración de un sistema de intercambio iónico tienen la ventaja de encontrarse en forma de solución, pero si el agua salina representa problema, se puede tratar con cal y carbonato de sodio para precipitar la dureza y producir una salmuera que puede volverse a emplear.

3.2.3. INTERCAMBIO DEL CICLO DE HIDRÓGENO

El desarrollo de materiales para intercambio iónico podrían regenerarse con ácido para intercambiar iones de hidrógeno por cationes en el agua proporciona el primer proceso químico práctico para la eliminación de sodio, potasio y amoníaco, cuyas sales son solubles en grado extremo. En cationes débiles se emplea una resina de ácido carboxílico.

La fuerte acidez del agua tratada debe ser corregida con el propósito de suministrar un agua satisfactoria para casi cualquier uso convencional, la acidez se neutraliza por medio de la adición de un álcali o por intercambio aniónico. La ventaja mayor es que el proceso del ciclo de hidrógeno sobre la acidificación directa para reducir la alcalinidad es una reducción de los sólidos totales equivalentes a la reducción de alcalinidad. La regeneración de ácido sulfúrico es el método más usado y el más económico para la regeneración de la resina.

3.3. SEPARACIÓN MEDIANTE UNA MEMBRANA

En la purificación mediante la separación por membrana, el agua pasa a través de una membrana en virtud de la fuerza impulsora, o una combinación de fuerzas impulsoras, dejando atrás alguna porción de sus impurezas originales como un concentrado. El tipo de membrana o barrera, el medio de aplicación de las fuerzas impulsoras y las características del agua determinan la cantidad de impurezas.

3.3.1. FILTRACIÓN

Es el proceso más simple de separación por membranas; el agua es forzada a pasar a través de la membrana por una diferencial de presión a través de ella. Los poros de la membrana pueden ser lo suficientemente grandes (de 0.1μ o mayores); cuando la membrana puede hacerse de diversos materiales (principalmente de acetato de celulosa), su número de poros por unidad de área y su forma o configuración pueden variar en gran manera influyendo en la velocidad de producción y calidad.

En la filtración los sólidos suspendidos son retenidos sobre la superficie de la membrana. Si los sólidos son viscosos o de fácil compresión, la membrana llega a obstruirse y las velocidades de filtración se reducen a niveles de poco uso práctico. Como rara la vez pueden limpiarse las membranas, éstas son sustituidas por nuevas membranas; las membranas empleadas en la filtración remueven poco material coloidal o disuelto.

Para que la filtración por medio de membrana sea útil, se debe de eliminar el grueso de los sólidos suspendidos antes de llegar a la membrana; la membrana es el último paso del proceso y puede procesar más de 1,000 lt/cm² antes de saturarse.

3.3.2. ULTRAFILTRACIÓN

Los que emplean membranas de poro muy pequeño y presiones elevadas son llamados *procesos de ultrafiltración* (UF), que requieren de diferencias de presión que exceden los 20 psi (1.4 Kg/cm²). El propósito de emplear poro de tamaño más pequeño es eliminar del agua coloides y ciertos materiales orgánicos de peso molecular elevado. Las membranas UF pueden dañarse permanentemente por el calor o presión excesivos causando que baje en forma drástica el flujo, además del posible estancamiento de las membranas y esto se debe al aumento de la concentración de impurezas. La mayor parte de los ultrafiltros están contruidos a base de colodión; el colodión es un líquido espeso e incoloro que, sobre la superficie, se fragua al evaporarse el éter y el alcohol (60% de éter y 40% de alcohol). El colodión se estira en membranas tenues para los ultrafiltros.

3.3.3. ELECTRODIÁLISIS

En la electrodiálisis (ED) la fuerza impulsora es de carácter eléctrico. Membranas semipermeables, que tienen propiedades de intercambio de anión y de catión, son apiladas en forma alternada en una prensa con pasillos angostos de agua entre ellas. Cuando se aplica una corriente directa a los electrodos colocados a cada lado de las membranas apiladas, los aniones se desplazan hacia el ánodo y los cationes al cátodo. Ya que la membrana de intercambio de cationes permite sólo el paso de los cationes, se deben de alternar con la membrana de intercambio de aniones para generar la concentración y la dilución en los compartimientos alternados del apilamiento. La velocidad de flujo, el número de pilas empleadas y la magnitud de la fuerza impulsora o de la corriente eléctrica aplicada, determinan la cantidad de sal (cationes y aniones) removidos en el agua. Este método se utiliza en la producción de agua potable a partir de agua salobre (que por su naturaleza tiene sabor de sal, o que la contiene. Las aguas que tienen cierta salinidad, generalmente menor que la del mar.).

3.3.4. ÓSMOSIS INVERSA

La ósmosis inversa es la difusión del agua a través de una membrana semipermeable que separa dos soluciones con concentraciones diferentes del soluto. El agua fluye en la dirección que tienda a *igualar las concentraciones*. Cuando los microbios

se colocan en soluciones salinas del 10% al 15% o en soluciones azucaradas de 50% al 70%, el agua del interior de las células se extrae por el medio que la rodea, haciendo que la célula se deshidrate y deje de crecer o muera.

En la ósmosis inversa (OI), llamada también hiperfiltración (emplea para la filtración presiones elevadas), la fuerza impulsora de la presión diferencial a través de una membrana hace que el agua fluya de la solución más fuerte a la más débil. La presión requerida es mayor que la presión osmótica (alrededor de 300 psi (21 Kg/cm²)) y depende de las diferencias en concentraciones. En promedio es alrededor de 10 psi por cada 1,000 mg/lit de diferencia en los estándares. Las diferencias están influidas por el tipo de membrana empleada.

Es el resultado de la difusión a través de vacantes en la estructura molecular del material de la membrana; las vacantes en los polímeros amorfos se encuentran en un estado de flujo (que no se hallan fijas), mientras que en los materiales cristalinos las vacantes son vacíos en la estructura de la red y su número, posición y tamaño están fijos. Las membranas para OI están echas de polímeros amorfos, aunque por lo común contienen algunas regiones cristalinas o menos amorfas.

Para evitar el ensuciamiento de las membranas OI, el Índice de Ensuciamiento de la alimentación deberá ser menor que 3. Se emplea un tratamiento químico con polifosfatos para intentar reducir el atascamiento de las membranas con precipitados de CaCO₃, CaSO₄ y Mg(OH)₂.

El Índice de Ensuciamiento se basa en la rapidez de atascamiento de un filtro de membrana estándar. El agua de prueba es filtrada a presión constante, y se mide inicialmente el tiempo requerido para filtrar 100 ml (t₀) y el tiempo requerido para filtrar la misma cantidad después de transcurridos 15 minutos (t₁₅).

El Índice de Ensuciamiento es determinado a partir de la relación

$$FI = (6.7 * ((t_{15} - t_0) / t_{15}))$$

Tabla 5: Características de la membrana OI (Basadas en 90% de rechazo)

	Membrana de fibras huecas de triacetato	Membrana de fibras huecas de poliamida	Membrana de acetato de celulosa enrolladas en espiral
Flujo a 400 psi, GPM/ft ²	1.5	1.0	15-18
Presión posterior, psi	75	50	0
Intervalo de pH	4.0-7.5	4.0-11.0	4.0-6.5
Temperatura máxima, °F	86	85	85
Cl ₂ , máximo	1.0	0.1	1.0
Bio-resistencia	Bueno	Excelente	Regular
Retrolavado	Inefectivo	Inefectivo	Inefectivo

Se aplica la OI en la desalación de agua para uso potable o industrial, en el tratamiento previo de agua dulce antes de los desmineralizadores para reducir el consumo de productos químicos y reducir a un mínimo la producción de desechos fuertes (ver tabla 6).

Ref.(17).

Tabla 6: Funcionamiento OI típico

	Crudo, mg/t	Terminado, mg/lt
Dureza, como CaCO ₃	380	20
Alcalinidad, como CaCO ₃	215	16
Electrólitos totales como CaCO ₃	445	29
Sílice, como SiO ₂	25	3.0
PH	7.2	6.0
CO ₂	25	25

3.4. ADSORCIÓN

En aguas dulces típicas, el grueso de los constituyentes en una muestra filtrada lo forman los minerales disueltos, pero, hay cantidades apreciables de materiales no iónicos en formas de coloides, entre ellos se encuentran sílice, óxidos metálicos insolubles y compuestos orgánicos, como lo son las sustancias que producen el color, el olor y el sabor. La división entre materia coloidal y partículas de gran tamaño en el agua es arbitraria, la frontera superior aceptada, por lo general, para un coloide es un diámetro de 1.0 μ .

A medida que el tamaño de la partícula se reduce por debajo de 1.0 μ , aumenta la relación de superficie a volumen y carga eléctrica por unidad de masa, esto estabiliza la materia coloidal evitando su sedimentación. Se puede considerar que el límite inferior para el tamaño del coloide es alrededor de 1 a 10 m μ (1 milimicra = 0.001 μ ó 10⁻⁶ mm), muy cercano a las dimensiones de las moléculas grandes en solución. Los coloides se clasifican en *hidrofóbicos* e *hidrofilicos*, los primeros resisten a ser humedecidos por el agua y los segundos son atraídos por el agua siendo difícilmente adsorbidos.

La adsorción es la adhesión física de moléculas o coloides a las superficies de un sólido (adsorbente) sin que se lleve a cabo una reacción química. En ciertos aspectos, la adsorción es semejante a la coagulación y a la floculación; un aspecto distinto es que la adsorción usa en general un sólido adsorbente procesado especialmente para el tratamiento del agua; mientras que en la coagulación y floculación, el adsorbente es producido en el lugar por la reacción con el agua (como el alumbre).

3.4.1 POLVOS O GRÁNULOS

Los adsorbentes pueden ser materiales en forma de polvo fino, aplicados al agua en un clarificador o antes del filtro; o en gránulos de 0.5 a 1.0 mm contenidos en un recipiente semejante a un filtro a presión. El adsorbente más común es el carbón activado, que se emplea tanto en polvo como en gránulos. Otros adsorbentes incluyen diversas arcillas,

óxidos de magnesio, carbón de hueso, alúmina activada y resinas especiales de intercambio iónico. Para el carbón, el área total de la superficie es de 600 a 1,000 m²/g. Los adsorbentes son porosos y el tamaño de poro es muy importante. El tamaño de poro está medido por el número de yodo, número de azul de metileno o número de melaza. El número de yodo mide los poros que pasan coloides mayores a 1 µ. El número de yodo del carbón activado fluctúa entre 650 y 1,000.

3.4.2. CONTROL DEL SABOR Y DEL OLOR

Algunos sabores y olores son producidos por los constituyentes minerales del agua; los sabores y olores que más se rechazan en el agua potable son causados por la actividad biológica, muchas especies de algas, diatomeas y actinomicetos generan subproductos orgánicos, como aceites volátiles que son coloides negativamente cargados. Para controlarlos, se adiciona carbón activado en polvo antes de los filtros y/o en la coagulación, pero no debe de exceder de 5 mg/lit antes de los filtros.

3.4.3. REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

Si es alto el contenido de materia orgánica en el agua, resulta más económico instalar filtros de presión que contengan carbón granular o resina que aplicar en forma continua elevadas dosis de carbón en polvo necesarias para igualar tal propósito. El carbón granular típico es de alrededor de 8 a 30 mallas, tiene un tamaño efectivo de 0.9 mm y un coeficiente de unificación de 1.8.

El lecho empacado puede regenerarse: si el material es volátil, el lecho empacado es regenerado por un tratamiento al vapor; sin embargo, es más convencional remover el carbón y volver a procesar el material en un horno. Los lechos empacados de resina de intercambio iónico son regenerados con salmuera, haciendo que se contraigan los lechos intercambiadores de iones y que se expela la materia orgánica adsorbida.

Ya que las reacciones de adsorción son lentas; principalmente en agua fría, los lechos empacados se operan con flujos más bajos que los filtros y los sistemas de intercambio de iones, de forma ordinaria por debajo de 2 gpm/ft². es común que la profundidad de los lechos sea mayor de 4 ft y el tiempo de retención fluctúe entre 10 y 30 minutos.

3.4.4. GRADO DE RECUPERACIÓN

Ya que el material que se va a remover es coloidal y la carga de la materia coloidal es influida por el pH, en el proceso de adsorción es necesario controlar el pH cuidadosamente. Es posible que en un cambio brusco de pH desborde la materia coloidal, resultando la calidad del efluente inferior a la del influente.

Aunque en el agua existe algo de sílice como anión bisilicato (HSiO_3^-), es probable que la mayor parte del tiempo esté presente como un coloide cargado negativamente. El único adsorbente efectivo para sílice a las temperaturas típicas de la superficie del agua es el hidróxido de hierro producido mediante el empleo de sales de hierro como coagulantes. La sílice es removida también en los procesos de ablandamiento con cal. El proceso es ineficiente a temperatura ambiente de la superficie del agua en un ablandador convencional con cal con una hora de retención, aunque se vuelve bastante significativo a temperaturas de 120°F-140°F, pero es muy efectivo a las temperaturas de ablandamiento en un proceso en caliente por encima de 220°F. Factores importantes son el tiempo de contacto y la densidad del lodo adsorbente.

3.4.5. NATURALEZA DE LOS ADSORBENTES

- 1) **Tierras de Fuller.**- Son arcillas naturales, principalmente son silicatos de aluminio y magnesio, bajo forma de atapulguita y montmorillonita. La arcilla se calienta y se seca, y durante esta operación desarrolla una estructura porosa, es molida y cernida. Los tamaños que se consiguen comercialmente van desde gránulos hasta polvos finos. Lavando y quemando la materia orgánica adsorbida sobre la arcilla durante su utilización, el adsorbente puede utilizarse muchas veces.
- 2) **Arcillas activadas.**- Son bentonita u otras arcillas que no muestran ningún poder de adsorción hasta que se activan mediante el tratamiento con ácido sulfúrico o clorhídrico. Después de este tratamiento, la arcilla se lava, se seca y se reduce a un polvo fino; generalmente se descarta después de una sola aplicación.
- 3) **Bauxita.**- Es cierta forma de alúmina hidratada natural que debe activarse mediante el calentamiento a temperaturas que varían entre 450 a 1,500°F con el fin de activar su poder. Se puede reactivar mediante calentamiento.
- 4) **Alúmina.**- Es un óxido de aluminio hidratado, duro, que se activa por calentamiento para eliminar la humedad. El producto poroso se puede conseguir como gránulos o polvos y puede reactivarse para volverse a utilizar.
- 5) **Carbón de hueso.**- Se obtiene mediante la destilación destructiva de huesos pulverizados y secos a temperaturas de 600 a 900°C; puede volverse a emplear después de lavado y quemado.
- 6) **Carbones decolorantes.**- Se preparan de modos distintos. (a) Se mezcla materia vegetal con sustancias inorgánicas como el cloruro de calcio; se carboniza y se elimina por lixiviación la materia orgánica. (b) Mezclando materia orgánica, como aserrín, con sustancias porosas como piedra pómez, luego se emplea calentamiento y carbonización para depositar la materia carbónica en todas las partículas porosas. (c) Se carboniza madera, aserrín y similares; luego se emplea activación con aire o vapor caliente. La lignita y el carbón bituminoso también son materia prima. Este carbón se emplea para purificación de agua en grandes cantidades.
- 7) **Carbón adsorbente de gases.**- Se prepara por carbonización de cáscaras de coco, semillas de fruta, carbón, lignita y madera. Debe ser activado, lo cual equivale esencialmente a un proceso parcial de oxidación mediante el tratamiento con aire o vapor caliente, se puede conseguir en forma granular o de lentejas. Para volverlo a utilizar, se puede reactivar por medio de la evaporación del gas adsorbido.

- 8) **Carbón activado de malla molecular.**- Es una forma preparada especialmente con aberturas de poro controladas, que van desde 5 hasta 5.5 A (la mayoría de los carbones activados van desde 14 hasta 60 A).
- 9) **Adsorbentes poliméricos sintéticos.**- Son perlas esféricas porosas, 0.5 mm de diámetro; cada perla es un conjunto de microesferas, 10^{-4} mm de diámetro. El material es sintético, fabricado de monómeros polimerizables de dos tipos principales, los fabricados a partir de aromáticos insaturados como estireno y divinilbenceno, y los fabricados a partir de ésteres acrílicos. Se regeneran por lixiviación de alcoholes o cetonas de bajo peso molecular.
- 10) **Sílica gel.**- Es un producto muy duro, granular, muy poroso; se prepara a partir del gel precipitado por tratamiento ácido de una solución de silicato de sodio. Su contenido de humedad antes de utilizarse varía del 4 al 7% más o menos. Para volverse a emplear, se puede reactivar por evaporación de la materia adsorbida.
- 11) **Mallas moleculares.**- Son cristales de zeolitas sintéticos, porosos, aluminosilicatos metálicos. Las "jaulas" de las celdas cristalinas pueden atrapar materia adsorbida; el diámetro de los pasadizos, controlado por la composición del cristal, regula el tamaño de las moléculas que pueden entrar o ser excluidas. Por lo tanto, las mallas pueden separar de acuerdo con el tamaño molecular, y también por adsorción de acuerdo con la polaridad molecular y el grado de insaturación. Se pueden conseguir industrialmente unos nueve tipos, cuyos diámetros nominales de poro van de 3 a 10 A; se regeneran por calentamiento o elución.

3.5. CONTROL DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA

Todos los procesos de tratamiento de agua están afectados por la presencia de microbios, muchas reacciones de óxido-reducción están influenciadas por la presencia de microorganismo; en la mayor parte de los sistemas, los efectos microbianos son perjudiciales al proceso que utiliza el agua o al sistema. La planeación de un programa efectivo de control microbiano para un proceso específico de tratamiento de agua requiere de un examen de:

- * Los tipos de organismos presentes en el sistema de agua y los problemas asociados que pueden ocasionar.
- * La población de cada tipo de organismo que puede ser tolerada antes de que ocasione un problema significativo.

Los factores principales que influyen para cada eficacia de la desinfección del agua y el tipo de proceso que se utilice para el tratamiento de agua son los siguientes:

- I. Tipo y concentración de los organismos que deben destruirse.
- II. Tipo y concentración del desinfectante.
- III. Tiempo de contacto establecido.
- IV. Características químicas y temperatura del agua que se va a tratar.

Los criterios para valorar la adecuación de varios desinfectantes potenciales del agua son:

- ◆ Disponibilidad pronta y fiable del desinfectante a un costo razonable y su aplicación conveniente, segura y exacta.
- ◆ Capacidad del desinfectante, en las concentraciones empleadas, para lograr los objetivos deseados sin comunicar al agua propiedades tóxicas o desagradables.
- ◆ Capacidad del desinfectante para permanecer en concentraciones residuales para evitar cualquier posibilidad de recontaminación cuando ésta pudiera ser importante.
- ◆ Adaptabilidad de técnicas de valoración prácticas, reproducibles, rápidas y exactas para determinar la concentración de desinfección.

Tabla 7: Microorganismos típicos y sus problemas esenciales

Tipo de organismo	Tipo de problema
Bacterias formadoras de limo	Forma limo denso, pegajoso, con el subsiguiente ensuciamiento. Pueden ser impedidos los flujos de agua y ocurre la promoción del crecimiento de otros organismos.
Bacterias formadoras de esporas	Se vuelven inertes cuando su ambiente es hostil. Sin embargo, el crecimiento se reanuda siempre que el ambiente se torna de nueva cuenta adecuado. Es difícil de controlar si se requiere una exterminación completa. No obstante, la mayor parte de los procesos no son afectados por las formadoras de esporas cuando el organismo se halla en forma de espora.
Bacterias depositadoras de hierro	Causa oxidación y la depositación subsiguiente del hierro insoluble a partir del hierro soluble.
Bacterias nitrificadas	Genera ácido nítrico a partir de la contaminación de amoníaco. Puede producir corrosión fuerte.
Bacterias reductoras de sulfatos	Genera sulfuros a partir de sulfatos y puede producir fuerte corrosión localizada.
Bacterias corrosivas anaeróbicas	Crea ambientes corrosivos localizados por la secreción de desechos corrosivos. Siempre son encontradas bajo otros depósitos en ubicaciones deficientes en oxígeno.
Hongos, levaduras y mohos	Causan la degradación de la madera en contacto con el sistema de agua. Causa manchas en los productos de papel.
Algas	Crece en áreas iluminadas por el Sol en esteras fibrosas densas. Puede ocasionar obstrucción de los agujeros de distribución en las cubiertas de las torres de enfriamiento o crecimientos densos en almacenes y estanques de evaporación.
Protozoarios	Crece en cualquier agua que está contaminada con bacterias; indica que la desinfección es mala.
Formas superiores de vida	Las almejas y otros crustáceos obstruyen los filtros de entrada.

Ref.(5).

3.5.1. FACTORES FÍSICOS QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO DE MICROORGANISMOS

Muchas especies de microorganismos nativos del suelo, del agua y de los organismos vertebrados crecen dentro de un intervalo de temperatura bastante amplio de 10°C a 45°C. La naturaleza ha producido organismos selectos que pueden vivir a temperaturas tan bajas como 0°C y tan altas como 70°C. A temperaturas más elevadas mueren todos los microorganismos.

La desnaturalización de proteínas, que produce la coagulación dentro de la célula, ocurre a temperaturas menores de 70°C. Los microorganismos de crecimiento más activo, de interés en la tecnología del tratamiento de agua, mueren a 70°C en menos de cinco minutos. Los organismos que contienen clorofila son capaces de emplear la energía radiante o alumbrado artificial para convertir CO₂ a carbohidratos que necesitan para la síntesis de la célula; pero no toda la energía radiante es necesaria para la célula y son dañinas ciertas frecuencias de la radiación, por eso, la radiación es un método para control de los microorganismos.

Las formas de energía de onda corta (rayos gamma (0.01-1 A) y rayos X (1-100 A)) son útiles. Estas crean hidrógeno libre y radicales oxidrilo y algunos peróxidos cuando pasan a través de la célula causándole daño o su muerte; pero estas formas de radiación son peligrosas. La radiación ultravioleta (100-400 A) es también útil para matar microorganismos; la energía es absorbida por los ácidos nucleicos creando reacciones químicas que son letales a la célula. Esta forma de energía tiene poco poder de penetración, de modo que el empleo de luz ultravioleta requiere de un diseño especial para la unidad de tratamiento para que la energía no tenga que penetrar profundamente en el agua, su acción sólo puede ser segura hasta unos 30 cm de profundidad, pero disminuye en forma considerable si el agua contiene hierro.

Los primeros estudios del método con luz ultravioleta para la desinfección involucra una película delgada (de hasta 120 mm de espesor) a una o varias lámparas de cuarzo de arco de vapor de mercurio que emiten una radiación ultravioleta germicida de una longitud de onda comprendida entre 200 y 295 mμ. La radiación ultravioleta es más eficaz para la destrucción del virus de la poliomieltitis en el agua.

Algunas de las ventajas y inconvenientes son mostradas en la siguiente tabla:

Tabla 8: Ventajas e inconvenientes de la luz ultravioleta .

Ventajas	Inconvenientes
No se introducen materias extrañas en el agua y el carácter físico o químico de ésta no queda significativamente afectado.	Las esporas, los quistes y los virus son menos susceptibles que las bacterias vegetativas.
Los constituyentes que se encuentran en solución en el agua, como el amoníaco, no ejercen ningún efecto sobre la capacidad de desinfección.	Se precisa un acondicionamiento exhaustivo del agua debido a que las radiaciones ultravioleta son absorbidas por muchos constituyentes que se encuentran hasta en las aguas pretratadas.
No se producen sabores ni olores, aunque las	Parece ser que las radiaciones ultravioleta no

radiaciones ultravioleta no ejercen ningún efecto de separación del olor o color.	tienen capacidad de desinfección residual.
Son eficaces los períodos de contacto (tiempo de exposición) cortos.	Se requieren gastos elevados de energía eléctrica y equipos caros.
La sobredosificación no produce efectos perjudiciales	Con objeto de garantizar una aplicación de energía estable y una densidad esencialmente uniforme por toda el área efectiva de radiación es necesario un mantenimiento frecuente y caro de los aparatos.

Ref(5).

La energía para un caudal de 20 m³/h es de unos 100 W/h, haciendo los gastos de funcionamiento pequeños, la duración de un irradiador ultravioleta es de 4,000 a 6,000 horas de trabajo, después de ese tiempo es necesario reemplazar el irradiador.

3.5.2. FACTORES QUÍMICOS QUE AFECTAN AL CRECIMIENTO MICROBIANO

Se ha encontrado que los microorganismos existen en un intervalo amplio de pH (de 2 a 13); sin embargo, los microorganismos más comunes asociados con el agua (algas y bacterias) suelen mantener su pH interno en 7, de modo que prefieren un ambiente acuático neutro.

Uno de los hechos sorprendentes de la vida microbiana es que la profundidad y la variedad de formas es tal que casi siempre pueden encontrarse algunas que puedan resistir el daño causado por los productos químicos que son tóxicos a la vida de los animales y de las plantas, y que pueden crecer en ellos. Por ejemplo, algunas bacterias crecen en aguas de desecho que contienen herbicidas, pesticidas, cianuro, compuestos de arsénico y gran variedad de otros productos químicos que por lo común son considerados tóxicos.

3.5.3. MÉTODOS PARA CONTROLAR LA ACTIVIDAD MICROBIANA

El calentamiento del agua puede controlar la actividad microbiana, la radiación y el control del pH son los principales métodos para el control de los microorganismos; los productos químicos son empleados como biocidas para el control de los microorganismos y se clasifican en biocidas oxidantes y no oxidantes.

3.5.4. BIOCIDAS OXIDANTES

El gas cloro disuelto en agua se hidroliza de forma rápida, la hidrólisis ocurre en menos de un segundo a 65°F (18°C). El ácido hipocloroso (HOCl) es el ingrediente activo formado en esta reacción; dependiendo del pH y de la concentración, el cloro en agua existe como gas cloro libre, ácido hipocloroso o ion hipoclorito. Por arriba de un pH igual a 7.5, predominan los iones hipoclorito, y se encuentran en forma exclusiva cuando el pH

excede 9; la suma del ácido hipocloroso y de los iones hipoclorito se define como cloro libre disponible.

Se puede disponer de cloro licuado a granel y en tanques. El cloro es un agente oxidante fuerte capaz de reaccionar con muchas impurezas en el agua, incluyendo amoníaco, aminoácidos, proteínas, material carbonáceo, Fe^{+2} , Mn^{+2} , S^{-2} y CN^{-} ; la cantidad de cloro necesaria para reaccionar con estas sustancias se denomina *demanda de cloro*. Cuando el cloro reacciona con el amoníaco forma monocloramina, dicloramina y tricloramina, estos compuestos también tienen propiedades biocidas y se les conoce con el nombre de *cloro residual combinado*. Las cloraminas actúan más lento que el *cloro residual libre*, pero tiene la ventaja de ser más efectivas a valores de pH mayores a 10 y pueden ser más persistentes en un sistema de agua.

El cloro también reacciona con el nitrógeno orgánico en el agua, el nitrógeno se localiza en los componentes de las células vivas, las proteínas, los polisacáridos y los aminoácidos. Se cree que la toxicidad del cloro no se deriva del cloro mismo o de la liberación de oxígeno naciente sino más bien de la reacción del HOCl con el sistema enzimático de la célula. La superioridad del HOCl sobre el OCl^{-} se debe al tamaño molecular pequeño y a la neutralidad eléctrica del HOCl, que permite pasar a través de la membrana celular. Ref.(17).

Tabla 9: Cloro disponible o productos químicos de cloración

Material	Porcentaje disponible de Cl_2
Gas cloro (Cl_2)	100
Dióxido de cloro (ClO_2)	263
Hipoclorito de calcio $Ca(OCl)_2$	70
Hipoclorito de sodio ($NaOCl$), grado industrial	12-15
Hipoclorito de sodio ($NaOCl$), grado doméstico	3-5
Hipoclorito de litio ($LiOCl$), grado de lavandería	35
Ácido isocianúrico clorado ($CONCl_2$)	85

El cloro reacciona con diversos materiales orgánicos, y se está estudiando la presencia de los compuestos clorados en el agua que se cree son producidos por la cloración, por ejemplo, el cloroformo es uno de estos materiales. En virtud de la preocupación por los efectos fisiológicos potencialmente adversos de estos compuestos clorados, se han restringido en forma severa las aplicaciones de cloro a grandes flujos de efluentes.

El dióxido de cloro se utiliza en forma limitada en el tratamiento de agua en los problemas de control de sabor, de olor y para la degradación del fenol. Ya que el dióxido no reacciona con el amoníaco, es útil en los sistemas que contienen amoníaco.

Los biocidas oxidantes como el cloro, los hipocloritos y los materiales organoclorados matarán rápidamente todos los organismos en el sistema si el cloro libre se pone en contacto con los organismos el tiempo suficiente y a una dosis bastante fuerte; sin

embargo, estos mismos biocidas reaccionan con contaminantes como el NH_3 , H_2S y otras orgánicas, no penetra las masas de limo y pierden su efectividad cuando el pH aumenta.

El bromo (Br_2) es un halógeno rojizo o pardo-rojizo que existe en forma de líquido a presión atmosférica y que es menos difícil de manejar que un gas comprimido, es algo soluble en el agua y es un buen agente germicida, pero no se aplica al tratamiento de abastecimientos de aguas públicas; entre sus ventajas están:

- Algunas formas son más fáciles y menos peligrosas de manipular y almacenar que el cloro.
- La eficiencia bactericida de las bromoaminas es superior a la de las cloraminas.
- Se observa una reducción evidente de la irritación ocular.
- Los olores no son molestos.

El yodo (I_2) y el ácido hipoyodoso (HOI) son germicidas; el ácido hipoyodoso se descompone para formar un yodato no germicida y diversas formas de yoduro a valores de pH de 9 o superiores, especialmente en presencia de fosfatos. En presencia de yoduro añadido en una solución acuosa se forman algunos triyoduros (I_3^-) que tienen una acción nula bactericida, pero la cantidad de los mismos es insignificante cuando la concentración total de yoduros es de 20 ppm o menos y valores de pH inferiores a 7.

Ventajas	Inconvenientes
La capacidad bactericida del yodo no está muy condicionada por el pH, excepción hecha de cuando se emplea a temperaturas muy bajas.	Para obtener un efecto bactericida comparable en condiciones similares a la del cloro, se necesitan concentraciones superiores de yodo.
El amoníaco y otras impurezas nitrogenadas orgánicas ejercen muy poco efecto sobre la eficacia germicida del yodo, debido a que no forman compuestos de sustitución en él.	El color orgánico y otros materiales reductores afectan de modo sustancial la actividad germicida (pero el efecto es menos marcado que cuando se trata de cloro libre).
La actividad del yodo depende menos del tiempo de contacto y de la temperatura que la del cloro.	Es caro; unas 20 veces más costosos que el cloro por unidad de actividad germicida.
Es muy eficaz contra organismos más patógenos (inclusive esporas, quistes, virus, etc.), empleando tiempos de contacto cortos y dosificaciones relativamente bajas.	El sabor y ligero color que produce el yodo puede afectar a la potabilidad y calidad estética del agua.
Parece ser que la persistencia de valores residuales depende menos de la cantidad de bacterias, que en el caso del cloro en las albercas.	No se ha establecido con precisión las eficacias germicidas relativas de las diversas formas de yodo.
Cuando se emplea en forma adecuada en la desinfección de piscinas, son infrecuentes las quejas de sabores, olores e irritaciones oculares, de oídos y de la piel.	La preparación de soluciones de yodo en cantidades industriales (en alcohol o agua) aún no es práctica y en gran escala está prohibido económicamente.
	Queda por determinar el efecto fisiológico resultante de un empleo prolongado, especialmente en el caso de los niños.

El ozono (O_3) es otro biocida oxidante empleado en toda Europa y en ciertos municipios estadounidenses, el ozono se descompone rápidamente en oxígeno nascente (O) y oxígeno diatómico inactivo (O_2) cuando reacciona con sustancias oxidables, el oxígeno nascente destruye la materia orgánica; la reacción dura entre 10 y 20 minutos, no se forman

sales perjudiciales, oxida al hierro y al manganeso divalentes volviéndolos trivalentes y el agua queda libre de olores y sabores extraños, lo que representa una ventaja frente al cloro.

Los gastos son muy elevados por el funcionamiento y los aparatos; para obtener 4 gramos de ozono por metro cúbico de aire se necesita una energía eléctrica continua de alta tensión (8,000 a 20,000 V). Ref.(5).

Ventajas	Inconvenientes
Reduce y elimina eficazmente los complejos problemas del sabor, olor y color.	No proporciona una sección desinfectante residual duradera.
Es un oxidante poderosos que oxida con rapidez las impurezas orgánicas.	Las exigencias de energía eléctrica y los costos de primera instalación y de operación son elevados: de 10 a 15 veces mayores que cuando se emplea cloro.
La acción bactericida es eficaz a través de una gama muy amplia de temperatura y pH.	La mezcla ozono-aire obtenida por la necesaria regeneración in situ es tan sólo ligeramente soluble en agua, y la producción se complica cuando la temperatura y la humedad son elevadas.
Su aplicación bactericida y esporicida es rápida (de 300 a 3,000 veces más que el cloro) y tan sólo requiere períodos de contacto cortos.	El proceso es menos flexible que el de cloro en lo que respecta a los ajustes de la velocidad de flujo y variaciones de la calidad del agua.
No se producen o intensifican los olores que resultan de la formación de complejos de adición o sustitución.	Las técnicas analíticas no son lo suficientemente específicas o sensibles para asegurar un control rápido y eficaz del proceso.
No existe ninguna posibilidad de peligro o perjuicio para la salud resultante de un sobretratamiento.	Las aguas de elevado contenido en compuestos orgánicos y algas necesitan un pretratamiento muy completo para satisfacer la demanda de ozono.

Aunque el permanganato de potasio (KMnO_4) es un oxidante muy potente, su aplicación en el tratamiento de aguas con finalidades exclusivas de desinfección es rara. El peróxido de hidrógeno (H_2O_2) tiene una capacidad como desinfectante del agua muy inferior y es raro que se utilice en el tratamiento de agua. Ref.(5).

3.5.5. BIOCIDAS NO OXIDANTES

Ofrecen una posibilidad para el control de la actividad microbiana en sistemas incompatibles con el cloro, como los sistemas de agua con alto contenido en materia orgánica o amoníaco. Tienen las siguientes características:

- ⇒ Actividad independiente del pH.
- ⇒ Persistencia.
- ⇒ Control de organismos como hongos, bacterias y algas.

Ya que estos beneficios no se encuentran por lo común en solo biocida penetrante, se formulan ingredientes individuales de productos apropiados diseñados para incrementar el funcionamiento global en aplicaciones muy específicas.

3.5.6. BIOCIDAS CATIONICOS

Si se desea la penetración de masas de limo y algas junto con la persistencia, entonces se aplican por lo común aminas y productos cuaternarios (cuats). El empleo de aminas o cuats con la cloración suele permitir reducir la dosificación de cloro. Muchos de estos biocidas son agentes activos de superficie y pueden dispersar masas de limo, esto permite que el cloro y otras sustancias tóxicas lleguen a tener contacto con los organismos que no dañarían en condiciones normales.

3.5.7. ORGANOMETÁLICOS

Un ejemplo típico de este tipo de biocidas es el compuesto bistributil óxido de estaño $(H_2C_4)_2=Sn-O-Sn=(H_2C_4)_2$, este compuesto se utiliza para el control de algas y hongos, tiene la tendencia de adsorberse sobre las superficies del sistema y, en consecuencia, los análisis no suelen mostrar niveles de estaño tan elevados como se podrían esperar. Aunque su toxicidad es máxima sobre hongos y algas, ofrece también un buen control de bacterias anaeróbicas corrosivas.

3.5.8. TRATAMIENTOS FÍSICOS

Las enfermedades importantes transmitidas por el agua no se deben a bacterias formadoras de esporas o a otros organismos resistentes al calor, por esa razón, el agua se puede desinfectar sometiéndola a un tratamiento calorífico; el método no es práctico si se adopta como rutina o quiere aplicarse en gran escala.

El pasteurizador de agua de flujo continuo se maneja en el tratamiento de agua para estanques, cisternas y otras fuentes de suministro de agua de uso doméstico; tiene una capacidad de 650 lt/hr, un intercambiador de calor que recupera la totalidad del calor necesario hasta 8°C y permite la pasteurización del agua a 161°C durante 15 minutos. La principal ventaja de este procedimiento es su fiabilidad y sencillez pero no proporciona una acción desinfectante residual y su costo es elevado.

3.5.9. IONES METÁLICOS

En concentraciones muy reducidas de iones son muy eficaces en este aspecto; la actividad esterilizante de cantidades muy reducidas de dichos iones, reciben el nombre de *oligodinámica*. La plata es el principal ion metálico para el tratamiento de agua.

En la adición de plata sin energía eléctrica (proceso Katadyn) se introduce el agua en recipientes de plata, para que se disuelva una pequeña cantidad de iones de plata para que mate las bacterias existentes; en este proceso no es posible dosificar los iones de plata. En la adición eléctrica de plata, la cesión de iones de plata al agua se dirige por medio de un aparato de corriente continua; sin embargo, la eliminación de las bacterias tiene lugar a las 5 ó 6 horas, de manera que se necesitan grandes depósitos. La plata se puede aplicar

como solución de sus sales o por desorción de lechos filtrantes de arena revestida de plata, carbono, tejidos u otros materiales que liberen al metal.

A continuación se relacionan las ventajas e inconvenientes del empleo de la plata en la desinfección del agua potable:

Ventajas	Inconvenientes
Las concentraciones desinfectantes bajas son eficaces contra las bacterias vegetativas si se emplean inteligente y en forma adecuada.	Se necesita recurrir a un pretratamiento intensivo del agua, ya que la turbiedad, el color orgánico y otras materias coloides en suspensión absorben al ion Ag^{+2} .
Proporciona una acción bactericida residual intensiva y de larga duración.	Ciertas especies biológicas (tales como los anaerobios, quistes, esporas y algas) son resistentes; algunos organismos pueden habituarse a la acción desinfectante.
Parece ser que ni la luz ni las variaciones de la concentración de organismos afecta a la capacidad germicida.	La acción germicida disminuye y marcadamente para temperaturas frías y bajos valores del pH.
Se inhibe el desarrollo de ciertas algas y hongos.	Los fosfatos, cloruros, sulfuros y sulfatos impiden la actividad desinfectante.
Los desinfectantes registrados son insípidos, no tóxicos y de una manipulación relativamente sencilla.	La absorción en las superficies de contacto reduce la concentración de desinfección posible.
	No se han desarrollado en el grado necesario los ensayos prácticos y fiables que permitan determinar las concentraciones bajas del ion Ag^{+2} .
	se requieren periodos de contacto relativamente dilatados.
	El tratamiento es costoso (unas 20 veces más caro que el que se basa en el empleo de cloro gaseoso).

Ref.(5).

3.5.10. ÁLCALIS Y ÁCIDOS

Las bacterias patógenas no suelen sobrevivir demasiado en aguas fuertemente alcalinas o ácidas. Aunque la aplicación de ciertos materiales para el control del pH, el ablandamiento con cal, etc., tan sólo tiene un interés directo muy limitado; en tanto que los desinfectantes, por otra parte, permiten la reducción parcial de algunos microorganismos en el agua, muy especialmente si los periodos de contacto son largos.

3.5.11. PRODUCTOS QUÍMICOS TENSOACTIVOS

Los detergentes catiónicos tienen un gran poder germicida, mientras que los aniónicos es muy débil; los detergentes neutros ocupan una posición intermedia. Los compuestos de amonio cuaternario incluyen una amplia gama de detergentes catiónicos que se ionizan fácilmente en el agua; cada uno de estos compuestos es una identidad química

perfectamente definida, que poseen una capacidad germicida diferente. Los compuestos de amonio cuaternario no se han considerado en serio como posibles desinfectantes del agua potable.

3.6. TRATAMIENTO DE OLOR

En el estudio sobre el tratamiento de los olores y sabores se han tenido en cuenta los siguientes objetivos: su *destrucción y eliminación*.

3.6.1. DESTRUCCIÓN DE OLORES

Las técnicas que se emplean con mayor frecuencia para la destrucción de olores se basan en la oxidación de las sustancias odoríferas para convertirlas en formas inocuas. La cloración (empleada en el control de microorganismos) es el más popular de todos los métodos de oxidación, el ozono es otro oxidante empleado en la destrucción de los olores y sabores.

El permanganato de potasio actúa en forma eficiente como agente oxidante para la destrucción de olores y sabores, oxidando también al hierro y manganeso solubles para formar óxidos insolubles que se eliminan por coagulación, sedimentación y filtración. Se puede utilizar sulfato de cobre para eliminar olores de algas, se puede combinar con amoníaco y cloro que se introducen en el agua acabada para evitar el desarrollo posterior de algas.

3.6.2. ELIMINACIÓN DEL OLOR

Se utilizan procesos de aireación, coagulación y floculación, sedimentación y filtración. Cada proceso tiene grados variables de eficacia, en función de las condiciones físicas y químicas del agua y del tiempo de tratamiento.

La aireación que se emplea principalmente para oxidar el hierro y manganeso solubles liberando sulfuro de hidrógeno y dióxido de carbono, permite eliminar en forma satisfactoria las sustancias orgánicas muy volátiles. Raras veces se emplea como única fuente en la eliminación de olores, pero permite disminuir cantidades de material necesario para eliminar cualesquiera olores residuales. Existen dos tipos de aireadores: los que exponen el agua a la atmósfera y los que forman pequeñas burbujas de aire que suben a la superficie.

La coagulación consiste en la adición de agentes químicos para facilitar la sedimentación de sólidos en suspensión y materiales coloidales, para ello requiere de la mezcla rápida en el punto de aplicación para garantizar la distribución uniforme del agente coagulante a través de todo el sistema; la mezcla se agita en forma moderada durante un período de tiempo para que las partículas pequeñas se desarrollen, se agrupen y se aglomeren para dar forma a los flóculos bien definidos (floculación), que después se

sedimentan con mayor facilidad y eliminan los materiales odoríferos que son adsorbidos por los materiales solubles y/o aprisionados por compuestos solubles. La evacuación final de la materia sedimentada tiene lugar en las balsas de sedimentación para dar un agua cuyo potencial odorífero suele ser más bajo.

La filtración involucra la separación de materia en suspensión haciéndola pasar a través de arena; existen dos tipos de filtro, el lento y el rápido (de suspensión libre y de filtración a presión). La eliminación del olor se basa en la adsorción, en este proceso raras veces se produce un agua potable tolerante sin recurrir a alguna otra forma de tratamiento químico.

El carbón activado es un adsorbedor de aceptación universal para el tratamiento de control de olores y sabores. El método actual y aceptado para la evaluación de la capacidad de adsorción de un carbón es determinado por el valor de fenol, que se expresa como la cantidad de carbón, en partes por millón, necesarias para reducir la concentración de fenol estándar de 0.1 ppm a 0.01 ppm de fenol. La mayor parte de los carbones comerciales tienen un valor de fenol en la escala de 0.015 a 0.03 ppm.

En el tratamiento de aguas se emplean dos tipos de carbón: el pulverizado y el granulado. El pulverizado se utiliza en los procesos rutinarios de tratamiento de aguas de tipo discontinuo y el granular se emplea en la forma de lechos de adsorción para el tratamiento del agua. El carbón activado se aplica al agua en cualquier fase del tratamiento que preceda a la filtración. Es preciso garantizar tiempos de contacto suficientes entre el carbón y los compuestos que dan origen al sabor y olor para asegurar la máxima adsorción por medio del carbón (se recomiendan periodos de contacto entre 10 y 15 minutos o más). Las cantidades de carbón necesarias para el tratamiento del olor y sabor no debe de exceder de 3.6 g/m^3 .

El carbón activado se puede producir a partir de una variedad de materias primas carbonosas. Las fuentes más comunes son madera, turba, lignito y carbón de las fábricas de papel, entre otros (ver tabla 10). La materia prima se carboniza en ausencia de aire a una temperatura inferior a 600°C ; después, se activa mediante una combustión lenta a nivel de 600°C a 700°C , o por oxidación con vapores o gases adecuados (vapor de agua o dióxido de carbono) de 800°C a 900°C . El carbón activado granular tiene generalmente un tamaño de la arena para filtros (0.1 a 1 mm de diámetro). el carbón activado pulverizado se tritura a un tamaño tal que el 50% pase a través de una criba de 300 mallas, y el 95%, por una criba de 200 mallas, es decir, de 50 a 75μ respectivamente.

La capacidad de adsorción es elevada debido a que una libra (454 g) de carbón activado finamente dividido contiene aproximadamente 10^{13} partículas y 1 ft^3 macizo de carbón activado en partículas presenta un área combinada de superficie externa y de poros, próxima a 10 millas cuadradas (25.9 Km^2) al agua en que se encuentra suspendido.

Durante algún tiempo, se determinaba la capacidad adsorptiva de los diferentes carbones hacia el fenol puro como base para su comparación general; sin embargo, el *valor de fenol* o cantidad de carbón en mg/lit requerido para reducir 100 g/l de fenol de 90% no refleja la eficiencia relativa de un carbón determinado en la remoción de sustancias

FALTA PAGINA

No. 63

! CAPÍTULO IV

CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA Y NORMATIVIDAD NACIONAL

1. CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA

El término calidad del agua es una expresión de empleo muy generalizado cuyo significado es muy amplio, las características deseables de un agua cualquiera varían según la utilización a la que quiera destinársele, frecuentemente existe información muy poco satisfactoria entre los usuarios del agua en lo que respecta a la calidad de la misma.

Todos los empleos del agua deben subordinarse a la necesidad del hombre de tener un fluido sano para consumo. El agua destinada a la bebida y a la preparación de alimentos debe de estar exenta de cualesquiera organismos capaces de provocar enfermedades y de cualesquiera minerales y sustancias orgánicas que puedan provocar efectos fisiológicos perjudiciales. Para fomentar el consumo de este líquido, el agua debe ser aceptable desde el punto de vista estético, es decir, debe de estar exenta de turbidez, sabor desagradable, una temperatura razonable, color y olor perceptibles. Este tipo de agua recibe la denominación de **potable**, lo que significa que puede consumirse en cualquier cantidad sin provocar efectos perjudiciales sobre la salud.

En la escala de la calidad de agua se encuentran los objetivos y normas para el logro de agua potable y de buen sabor. El control de la calidad del agua, como parte de la administración de recursos hidráulicos, necesita de un apoyo público y tecnológico, que normalmente se obtiene a través de una sociedad bien disciplinada y madura industrialmente.

En coordinación con el control de la calidad, debe existir una información adecuada de la naturaleza y capacidad de las fuentes naturales de agua (hidrología y geología), y lo más importante, su calidad física, química y biológica. El *control de la calidad del agua* implica que los ingenieros deben de conocer las propiedades que poseen las múltiples clases de aguas que existen en la corteza terrestre.

1.1. AGUA POTABLE

El hombre en su afán de calmar su sed, busca que el agua potable sea lo bastante pura posible y que, además, tenga un buen sabor al paladar, por eso se debe de encontrar el agua libre de organismos patógenos, de sustancias venenosas o fisiológicamente indeseables y que sea atractiva a los sentidos (principalmente del sentido del gusto, olfato y vista).

En las aguas existen cinco clases de organismos capaces de infectar al ser humano y son los siguientes:

- ◆ Bacterias.
- ◆ Protozoarios.
- ◆ Helmintos.
- ◆ Virus.
- ◆ Hongos.

1.2. INFECCIONES BACTERIANAS

Las principales enfermedades hídricas de la zona tórrida (zona caliente o de temperatura muy alta), la fiebre tifoidea y el cólera son dos infecciones características que cobraron demasiadas vidas humanas en las ciudades que surgieron con la Revolución Industrial. La paratifoidea (salmonelosis) y la disentería bacilar (shigelosis) son grupos de enfermedades hídricas que tienen efectos menos devastadores que las anteriores; la tularemia y la diarrea hemorrágica son enfermedades hídricas sólo en el sentido adventicio.

1.2.1. FIEBRE TIFOIDEA Y CÓLERA

El cólera es la más violenta en su inicio (1 a 3 días contra 2 a 3 semanas para la fiebre tifoidea) y con frecuencia más fulminante en su evolución (con una fatalidad de casos durante las epidemias de 5 a 75% contra 10% para la fiebre tifoidea). La fiebre tifoidea es la más persistente, ya que los afectados son portadores activos durante mucho tiempo; este estado se prolonga a través de la convalecencia y se vuelve, en frecuencia, crónico (3.8% de los portadores son mujeres y el 2.1% son hombres).

Debido a que las comunidades se han liberado en forma paulatina de la fiebre tifoidea de origen hídrico, los ataques por esta enfermedad son muy aislados y poco reportados. Una invasión por organismos de tifoidea al sistema de agua puede abatir a una mayor proporción de población que la afectada por las epidemias del pasado. No obstante, la baja concurrencia de la fiebre tifoidea y de los organismos tíficos en el medio aminoran en forma potencial la infección.

1.2.2. FIEBRE PARATIFOIDEA Y DISENTERÍA BACILAR

Existen escasos registros de fiebres paratifoideas de origen hídrico (salmonelosis); son más frecuentes las disenterías bacilares (shigelosis). Las especies causantes de las enfermedades varían en forma amplia en cuanto a virulencia y, es por ello, que pasan inadvertidos. El hombre comparte especies paratíficas con animales domésticos (entre ellos cerdos, aves y perros) y puede haber contaminación del agua originada por ellos o por el hombre mismo. La salmonelosis en particular (igual la shigelosis) son infecciones comunes que provienen de los alimentos.

1.3. INFECCIONES POR PROTOZOARIOS

Entre las razones probables se encuentran:

1. El número relativamente pequeño de quistes excretados por los portadores.
2. El peso y el tamaño relativamente grandes de los quistes, que contribuyen a su eliminación natural de las aguas por sedimentación y filtración.

Los brotes de origen hídrico se asocian con la invasión de contaminantes, en forma masiva a los sistemas de distribución, por flujo a contra corriente desde los sistemas domésticos de drenaje y por conexiones cruzadas con suministros inseguros de agua. En tales condiciones, gran masa de excremento (que es imposible de desinfectar por medios ordinarios) llega hasta los consumidores cercanos, causando la infección.

1.4. INFECCIONES POR HELMINTOS

Los huevos y larvas de las lombrices intestinales pueden llegar a las corrientes acuáticas desde portadores animales y/o humanos, ya sea en forma directa o por deslaves del suelo. Estos huevos y larvas son pocos relativamente y son organismos bastante grandes. Por eso, las infecciones causadas por lombrices son esporádicas y ocurren en condiciones de mucha insalubridad.

1.5. INFECCIONES POR VIRUS

Además del virus de la hepatitis infecciosa, que aún no está aislado, descrito ni clasificado como un organismo viviente específico, se conocen miembros de media docena de grupo de virus, los cuales forman más de 100 diferentes que son excretados en las heces fecales de las personas infectadas. El aislamiento de estos organismos entéricos es común durante los meses de verano cuando las corrientes tienen un nivel bajo normal. Se ha encontrado que el agua es la causa de un número considerable de brotes de hepatitis, en abastecimientos altamente contaminados por fuentes cercanas de aguas negras o excrementos, que surten a poblaciones pequeñas.

1.6. VENENOS TRANSPORTADOS POR EL AGUA

Una amplia variedad y clases de venenos pueden llegar a los suministros públicos de agua como son:

- 1) Sustancias tóxicas disueltas de formaciones minerales (fluorapatitos).
- 2) Fitotoxinas elaboradas por algas específicas.
- 3) Metales pesados disueltos que provienen de las instalaciones de las plantas de tratamiento (tuberías metálicas y tubos de plástico mal fabricados y/o productos químicos agregados para el tratamiento del agua como polielectrolitos).
- 4) Compuestos venenosos contenidos en los desechos industriales y domésticos.
- 5) Sustancias radiactivas presentes en la lluvia o procedentes de la industria de energía nuclear.
- 6) Insecticidas que llegan a las corrientes de agua, polvos y aspersiones químicas que se aplican a las cosechas y a las superficies de la tierra y del agua para el control de plagas agrícolas, insectos nocivos, vectores de enfermedades humanas y de animales, peces dañinos, plantas acuáticas, etc.

El flúor, selenio, arsénico y boro son ejemplos de contaminantes minerales. A excepción del flúor, su concentración en el agua potable rara vez resulta peligrosa. Cantidades elevadas de nitratos pueden causar una enfermedad (metahemoglobinemia o cianosis de los nitratos) en los infantes, en especial a los que les dan leche preparada. Debido a que los jugos gástricos de los recién nacidos son neutros en vez de ácidos, los nitratos son reducidos a nitritos. La absorción de los nitritos en la sangre y en combinación con la hemoglobina forma la metahemoglobina (que no porta oxígeno) privando de oxígeno a los organismos y tejidos; la cianosis da una coloración azul a la piel, indicando que el organismo está envenenado.

Los contaminantes que se adquieren dentro de los sistemas de distribución por corrosión de metales, originan con frecuencia quejas de los consumidores; pero en raras ocasiones causa envenenamiento. Las aguas blandas tienen una alta concentración de dióxido de carbono y, por esta causa, son muy corrosivas. Entre los metales que se corroen fácilmente por el agua es el plomo, que es un veneno acumulativo, mientras que el cobre, el cinc y el hierro le dan un sabor metálico; puede el hierro y el cinc colorear el agua, el hierro y el cinc atacan los muebles sanitarios, además de que el hierro ataca las telas. La ingestión de altas concentraciones de cobre producen náuseas, síntoma que precede al envenenamiento.

Los productos químicos que se añaden al agua para la coagulación o desinfección, para destruir plantas acuáticas o algas y/o para el control de la corrosión deben de ser inocuos (que son no nocivos) en sí mismos o en las concentraciones empleadas.

Las operaciones industriales, comerciales y agrícolas pueden descargar una gran variedad de contaminantes tóxicos al agua; con excepción de los productos agroquímicos, su control no es difícil, pero no se advierte su presencia (en ocasiones).

La importancia de los venenos baratos que se agregan al ambiente para el control de plagas agrícolas y de diferentes tipos (como los hidrocarburos clorados y los fosfatos orgánicos), por eso, es inevitable que cantidades residuales depositadas, principalmente en el suelo, lleguen a las corrientes de agua. Raras veces su alta concentración causa envenenamiento agudo en el ser humano, pero ocasiona envenenamiento crónico debido a una exposición durante toda la vida.

1.7. OTRAS PROPIEDADES DEL AGUA RELACIONADAS CON LA SALUD

Mientras que los riesgos de contaminaciones infecciosas y tóxicas son evidentes por sí mismos, no se conocen ciertas características de los suministros de agua, que apenas influyen en su buena calidad. Una de ellas es la mineralización excesiva, la cantidad de materia orgánica viva y muerta.

Algunas aguas muy mineralizadas poseen propiedades laxantes (principalmente las aguas que contienen iones magnesio y sulfatos), otras aguas con exceso de minerales o dureza elevada consumen mucho jabón antes de formar espuma; las aguas duras depositan

incrustaciones al ser calentadas o evaporadas. El agua con alta concentración de sodio puede ocasionar molestias a las personas que deben guardar dietas bajas en sales.

No existe evidencia directa de que grandes cantidades de materia orgánica natural en el agua sean nocivas, pero se debe de tener cuidado por el aspecto del agua, los sabores que pueda tener y los olores que desprenda del agua.

1.8. CARACTERÍSTICAS APETECIBLES DEL AGUA

Para que el agua sea agradable al paladar debe de estar excenta de color, sabor, turbidez y olor, a su vez, debe de estar aireada y poseer una temperatura moderada en verano e invierno.

1.8.1. COLOR Y TURBIDEZ

Por lo general, el color del agua es de origen vegetal, pero también puede obtener la coloración por los desechos industriales, el hierro y el manganeso que están en el agua en estado natural y por los productos de la corrosión. La turbidez proviene de la erosión de los bancos de arcilla, residuos industriales, productos de la corrosión, del crecimiento de algas y otros organismos del plancton.

1.8.2. SABORES Y OLORES

En realidad existen sólo cuatro sabores (agrio, salado, dulce y amargo) percibidos por las papilas gustativas de la lengua. Los olores son innumerables y se sabe que varían de característica conforme cambia la concentración del compuesto odorífero, o intensidad de su olor. Una clasificación cuidadosa de los olores indica que hay ciertos olores fundamentales, a partir de los cuales podrían componerse todos los demás, pero los más importantes son los ya mencionados.

Los sabores y olores están asociados con:

1. Materia orgánica en descomposición.
2. Algas y otros microorganismos vivos que contienen aceites esenciales y otros compuestos olorosos.
3. Hierro, manganeso y otros productos metálicos de la corrosión.
4. Residuos industriales, principalmente sustancias fenólicas.
5. Cloro y sus compuestos de sustitución que son empleados como desinfectantes.
6. Compuestos orgánicos sintéticos no desagradables.

Los sabores y olores no deberán de ser intensos como para dar la impresión en el consumidor de que el agua no fue previamente tratada para evitar el olor. La cloración produce o acentúa los olores y sabores, pero afortunadamente éstos se pueden destruir por medio de oxidantes fuertes como el dióxido de carbono y el ozono, así como el cloro

(sobrecloración dirigida hasta la reacción a punto de inflexión o seguida por deoloración química). Muchos de los olores y sabores se pueden eliminar por medio de la adsorción en carbón activado y otros se pueden evitar adicionando amoníaco antes del cloro para formar las cloraminas. Es importante también la prevención de olores y sabores producidos por las algas destruyéndolas empleando sulfato de cobre u otros compuestos de cobre.

1.9. NORMAS DE LAS AGUAS POTABLES

- A. Reglamento general relacionado con las fuentes de agua y su protección.
- B. Reglas específicas que definan la calidad bacteriológica requerida.
- C. Los límites aceptables de las características físicas y químicas importantes del agua suministrada al consumidor.

1.9.1. FUENTE Y SU PROTECCIÓN

Los abastecimientos se toman de la mejor fuente disponible; si no se protege en forma adecuada a la fuente contra la contaminación, entonces el agua deberá de ser tratada para asegurar su potabilidad. Los riesgos posibles para la salud se deberán identificar mediante exploraciones sanitarias y eliminarse; la aprobación de los sistemas de agua está sujeta a las siguientes condiciones:

- ⇒ La estricta aplicación de las reglas y precauciones sanitarias.
- ⇒ La apropiada operación por personal capacitado.
- ⇒ La adecuada capacidad para satisfacer la demanda máxima.
- ⇒ El registro confiable de los resultados analíticos.
- ⇒ El apego a las normas de calidad.

1.9.2. CALIDAD BACTERIOLÓGICA

El número de muestras bacteriológicas tomadas en puntos representativos a lo largo del sistema de distribución debe estar en proporción al tamaño de la población expuesta a riesgo. Según el método de examen y el número mensual de muestras, se deberá cumplir con las especificaciones siguientes, de acuerdo con las técnicas de dilución en serie, el número más probable (NMP) y el filtro de membrana (FM).

- 1. Cuando se examinan porciones estándar de 10 ml, no más del 10% deberá mostrar la presencia de bacterias coliformes. No será aceptable el agua que muestre su presencia en tres o más porciones de 10 ml en los siguientes casos:
 - ◆ dos muestras consecutivas.
 - ◆ más de una muestra cuando se examina menos de 20.
 - ◆ más de 5% de las muestras cuando se examinan 20 o más.

2. Cuando se examinan porciones estándar de 100 ml, no más del 60% de ellas deberán mostrar la presencia de bacterias coliformes. No será aceptable el agua que presente en todas las cinco porciones de 100 ml de la muestra estándar, en los siguientes casos:

- * dos muestras consecutivas.
- * más de una muestra cuando se examina menos de cinco.
- * más de 20% de las muestras cuando se examinan cinco o más.

3. Cuando se aplica la técnica del filtro de membrana, la densidad aritmética media de los coliformes para todas las muestras estándar no debe exceder de 1 por 100 ml. Además, las colonias de coliformes por muestra estándar no debe exceder de 3 por 50 ml, 4 por 100 ml, 7 por 200 ml ó 13 por 500 ml en los siguientes casos:

- dos muestras consecutivas.
- más de una muestra estándar cuando se examinan menos de 20.
- más del 5% de las muestras estándar cuando se examinan 20 o más.

1.9.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las características físicas del agua que abastece a una comunidad deberá ser examinada por lo menos una vez a la semana, tomándose también las muestras en lugares representativos a lo largo de todo el sistema. La turbidez, el color, el olor y el sabor no deberán ser tan fuertes que molesten los sentidos de la vista, gusto y olfato del consumidor. Los valores máximos aceptables son los siguientes:

Turbidez	5 unidades
Color	15 unidades
Olor	3 unidades

1.9.4. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Las características importantes se determinan por lo menos dos veces al año de acuerdo con el criterio de las agencias informantes y de las autoridades encargadas de la certificación. Se requieren análisis más frecuentes cuando existen dudas razonables sobre la estabilidad de los valores registrados o cuando el abastecimiento se trata con fluoruros.

El agua no debe contener impurezas en concentraciones peligrosas, ni ser excesivamente corrosiva, ni tener residuos excesivos de sustancias que se utilizaron en el tratamiento. Las sustancias nocivas fisiológicamente no se deben de añadir en las vías que las lleven al consumidor. El cuadro siguiente muestra las sustancias químicas que no deberán estar presentes en cantidades superiores a las que se indican:

Sustancia	Concentración, mg/lt
Alquilbencensulfonatados (ABS), productores de sabor	0.5
Arsénico (As), veneno	0.01
Cloruros (Cl), productores de sabor	250.0
Cobre (Cu), productor de sabor	1.0
Extracto de carbón en cloroformo (CCE), productores de sabor y posiblemente tóxico	0.2
Cianuros (CN), veneno	0.01
Hierro (Fe), productor de sabor y olor	0.3
Manganeso (Mn), productor de sabor y color	0.05
Nitratos (NO ₃ ⁻), productores de metahemoglobinemia	45.0
Fenoles, productores de sabor	0.001
Sulfatos (SO ₄ ⁻²), productores de sabor	250.0
Sólidos disueltos totales, laxantes	500.0
Cinc (Zn), productor de sabor	5.0

Ref.(9)

La presencia de las siguientes sustancias, que son venenosas en exceso, se muestran en la siguiente tabla:

Sustancia	Concentración, mg/lt
Arsénico (As)	0.05
Bario (Ba)	1.0
Cadmio (Cd)	0.01
Cromo hexavalente (Cr ⁺⁶)	0.05
Cianuros (CN)	0.2
Plomo (Pb)	0.05
Selenio (Se)	0.01
Plata (Ag)	0.05

1.9.5. FLUORUROS

Los fluoruros naturales presentes en el agua potable no deberán tener valores promedios superiores a los límites que son mostrados en la siguiente tabla que indica el promedio anual de las temperaturas máximas diarias del aire y los límites de control recomendados en las concentraciones de fluoruros:

Grados °F	Grados °C	Límite inferior, mg/lt	Límite óptimo, mg/lt	Límite superior, mg/lt
50.0-53.7	10.0-12.0	0.9	1.2	1.7
53.8-58.3	12.1-14.5	0.8	1.1	1.5
58.4-63.8	14.6-17.6	0.8	1.0	1.3
63.9-70.6	17.7-21.4	0.7	0.9	1.2
70.7-79.2	21.5-26.3	0.7	0.8	1.0
79.3-90.5	26.4-32.5	0.6	0.7	0.8

Cuando se añaden fluoruros al agua potable, su concentración promedio deberá mantenerse entre los límites de control superior e inferior mostrados en la tabla.

1.10. PLANTAS DE TRATAMIENTO Y NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA

En la evolución de las normas de la calidad del agua y la construcción de plantas que cumplan con las normas actuales, los ingenieros han avanzado desde prescribir eficiencias con la remoción, hasta definir la calidad. Hace tiempo se aceptaba como norma una eficiencia de 99.99% en la remoción de las bacterias del agua por autopurificación, independientemente de la carga bacteriana impuesta a las plantas de tratamiento por el agua cruda recibida. Hoy en día esta norma ya no se cumple.

El avance en los métodos para el tratamiento de agua ha establecido normas definidas sobre la calidad del agua potable; estas normas son normas de convergencia, sin embargo, la experiencia ha probado que en lo posible protegen la salud y aseguran el aprovechamiento útil y placentero del agua, por lo que parecen ser los medios adecuados.

2. ESPECIFICACIONES SANITARIAS PUBLICADAS EN EL DIARIO OFICIAL DE LA REPÚBLICA MEXICANA

Está basada en la norma NOM-127-SSA1-1994 Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. También da una definición del agua potable y que es la siguiente: el agua potable es aquella cuyo uso y consumo humano no causa efectos nocivos al ser humano. Para más información ver el apéndice.

2.1. ESPECIFICACIONES SANITARIAS

El agua debe de cumplir con las siguientes especificaciones:

2.1.1. ORGANOLÉPTICAS Y FÍSICAS

Olor	Inodoro
Sabor	Inspido
Color	15 unidades de color verdadero* en la escala de platino-cobalto
Turbiedad	5 unidades de UTN**

* Únicamente el producto producido por sólidos disueltos en el agua.

** Unidades de turbidez nefelométricas.

2.1.2. FISICOQUÍMICAS

PH	6.5-8.5
Nombre	Límite máximo, mg/lt
Alcalinidad total como CaCO ₃	300.0
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros como CN ⁻	0.05
Cloro residual libre después de un tiempo de contacto mínimo de 30 minutos	0.10
Cloruros como Cl ⁻	250.0
Cobre	1.00
Cromo total	0.05
Dureza total como CaCO ₃	200.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001
Hierro	0.30
Fluoruros como F ⁻	0.70
Manganeso	0.05
Mercurio	0.001
Nitratos como N	10.00
Nitritos como N	0.05
Nitrógeno amoniacal como N	0.50
Nitrógeno orgánico como N	0.10
Oxígeno consumido en medio ácido	2.00
Ozono al envasar	0.40
Plata	0.5
Plomo	0.02
Sólidos disueltos totales	500.00
Sulfatos como SO ₄ ⁻²	250.00
Sustancias activadas al azul de metileno	0.50
Trihalometanos totales	0.10
Zinc	3.00

2.1.3. MICROBIOLÓGICAS

Nombre	Límite máximo
Mesofílicos aerobios UFC/ml	100
Coliformes totales* NMP/100 ml	No detectable
Coliformes totales** UFC/100 ml	Cero
Vibrio cholerae***	Negativo

UFC.- Unidades formadoras de colonias.

NMP.- Número más probable.

*Técnica del número más probable.

** Método de filtración por membrana.

*** Bajo situaciones de emergencia sanitaria la Secretaría de Salud, sin perjuicio a las atribuciones de otras Dependencias del Ejecutivo, establecerá los casos en los que se habrá de determinar la presencia de este agente biológico.

2.1.4. PLAGUICIDAS

Nombre	Límite máximo, µg/l
Aldrín y Dieldrín (separados o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.30
Dicloro difenil tricloro etano (D.D.T.) (total de isómeros)	1.00
Gamma-HCH (lindano)	2.00
Hexaclorobenceno	0.01
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Metoxicloro (1,1,1-Tricloro, 2,2, bis (p-metoxi-fenil) etano)	20.00
2,4-D (Ácido 2,4-diclorofenoxiacético)	30.00

Ref(9).

! CAPÍTULO V

PROPUESTA DE UN TREN DE PURIFICACIÓN

1. ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO

Ya investigados los métodos que existen para la purificación del agua en el capítulo III, ahora se compararán dichos métodos realizando un estudio técnico y económico, sin olvidar la parte de la calidad del agua que se obtiene, para elegir el método más adecuado para la instalación de los bebederos.

1.1. PRECIPITACIÓN

Tipo de tratamiento	Tipo de agua que se trata	Empleo de agentes químicos	Empleo de otros tipos de agentes	Disponibilidad de los agentes	Tipo de uso del agua
Ablandamiento por precipitación	Dura	Cal hidratada y aluminato de sodio	Temperatura (ambiente)	Disponibles	Potable
Ablandamiento parcial con cal	Dura	Cal hidratada	Temperatura y tiempo	Disponible	Potable
Ablandamiento completo con cal	Dura	Cal hidratada y carbonato de sodio	Temperatura (frío)	Disponibles	Potable
Ablandamiento más completo a temperaturas elevadas	Dura	Cal hidratada combinada con zeolita	Temperatura (elevada)	Disponibles	Potable

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Tipo de tratamiento	Inversión inicial	Costos de operación	Costos de mantenimiento	Costos totales
Ablandamiento por precipitación	Elevada (más de \$10,000)	Elevado (más de \$10,000)	Elevado (más de \$10,000)	Elevado (más de \$30,000)
Ablandamiento parcial con cal	Elevada (más de \$10,000)	Elevado (más de \$10,000)	Elevado (más de \$10,000)	Elevado (más de \$30,000)
Ablandamiento completo con cal	Elevada (más de \$10,000)	Elevado (más de \$10,000)	Elevado (más de \$10,000)	Elevado (más de \$30,000)
Ablandamiento completo a temperaturas elevadas	Elevada (más de \$10,000)	Elevado (más de \$10,000)	Elevado (más de \$10,000)	Elevado (más de \$30,000)

Las ventajas del método de precipitación es la eliminación de la sílice y de los metales pesados (teniendo en cuenta las consideraciones ya expuestas en el capítulo III); las desventajas son el tamaño de los equipos, la mano de obra para la construcción y la operación de la planta, la disponibilidad del terreno para la construcción de la planta, el añadir productos químicos al agua y al atacar el problema de la dureza se producen lodos que se deben de tratar, disponer y/o eliminar haciendo que los costos totales se eleven más, además este método es más factible para la potabilización del agua para las ciudades.

1.2. INTERCAMBIO IÓNICO

Tipo de tratamiento	Tipo de agua que se trata	Empleo de agentes químicos	Empleo de otros tipos de agentes	Disponibilidad de los agentes	Tipo de uso del agua
Intercambio de aniones	Cruda	Sosa cáustica, carbonato de sodio (para lavado)	Resina funcional amina (grupo)	Disponibles	Potable y para agua purificada
Intercambio ciclo de sodio	Dura	Cloruro de sodio (regenerador de la resina)	Resina sintética de estireno-divinilbenceno sulfonado	Disponibles	Potable
Intercambio del ciclo de hidrógeno	Cruda	Acido sulfúrico (regeneración de la resina)	Resina de ácido carboxílico (catión débil)	Disponibles	Potable y para agua purificada

Tipo de tratamiento	Inversión inicial	Costos de operación	Costos de mantenimiento	Costos totales
Intercambio de aniones	Elevado (más de \$10,000)	Elevado (más de \$10,000)	Elevado (más de \$10,000)	Elevado (más de \$30,000)
Intercambio ciclo de sodio	Elevado (más de \$10,000)	Elevado (más de \$10,000)	Elevado (más de \$10,000)	Elevado (más de \$30,000)
Intercambio del ciclo de hidrógeno	Elevado (más de \$10,000)	Elevado (más de \$10,000)	Elevado (más de \$10,000)	Elevado (más de \$30,000)

La ventaja del intercambio iónico es la remoción de los iones indeseables del agua, la facilidad de utilizar un ciclo completo (retrolavado, regeneración, enjuagado y servicio); la desventaja es que se deben emplear grandes equipos y para este caso no es necesario tener un tren de intercambio iónico por la falta de espacio y de terreno, la mano de obra (desde la construcción hasta la operación y el mantenimiento del equipo) es costosa, el empleo de productos químicos para regenerar la resina intercambiadora produce desechos que deben tener un lugar de disposición y/o tratarlos aumentando el costo total, además de que este método es más adecuado para la potabilización del agua para las ciudades y las empresas productoras de agua purificada.

1.3. SEPARACIÓN MEDIANTE UNA MEMBRANA

Tipo de tratamiento	Tipo de agua que se trata	Empleo de agentes químicos	Empleo de agentes de agentes	Empleo de otros tipos de agentes	Disponibilidad de los agentes	Tipo de uso del agua
Filtración	Cruda	No	Membrana (acetato de celulosa)	Membrana (acetato de celulosa)	Disponible	Potable y agua purificada
Ultrafiltración	Cruda	No	Membrana	Membrana de colodión, presión	Disponible	Potable y agua purificada
Electrodialisis	Agua Salobre	No	Membrana	Membrana de intercambio de anión y catión, energía eléctrica	Disponible	Potable
Ósmosis inversa	Cruda	No	Membrana (polímero), presión	Membrana (polímero), presión	Disponible	Agua purificada

Tipo de tratamiento	Inversión inicial	Costos de operación	Costos de mantenimiento	Costos totales
Filtración	Elevada (industrial, más de \$10,000) y baja (menos de \$10,000)	Elevado (industrial, más de \$10,000) y bajo (menos de \$10,000)	Elevado (industrial, más de \$10,000) y bajo (menos de \$10,000)	Elevado (industrial, más de \$30,000) y bajo (menos de \$30,000)
Ultrafiltración	Elevada (más de \$10,000)	Elevado (más de \$10,000)	Elevado (más de \$10,000)	Elevado (más de \$30,000)
Electrodialisis	Elevada (más de \$10,000)	Elevado (más de \$10,000)	Elevado (más de \$10,000)	Elevado (más de \$30,000)
Osmosis inversa	Elevada (más de \$10,000)	Elevado (más de \$10,000)	Elevado (más de \$10,000)	Elevado (más de \$30,000)

Las ventajas de la filtración son la retención de sólidos en suspensión, coloides, de materia orgánica de peso molecular elevado, el no utilizar agentes químicos en su proceso; las desventajas son que el agua debe de tratarse en forma previa para después emplear cualquier método de separación por medio de membrana, el lugar que ocupa el equipo de proceso (industrial).

La mejor opción en este caso es la filtración que los demás procesos, sin embargo, la filtración no retiene partículas coloidales que tienen un tamaño de 1 a 10 μ m ni los olores y sabores que son causados por la actividad biológica que existe en el agua potable.

La filtración al no retener los organismos unicelulares que son causantes en muchas ocasiones del olor y sabor, se debe de buscar alternativas para la resolución de este problema y revisar que los criterios de valoración y los factores principales para la desinfección del agua se cumplan. Pero también se debe de tomar en cuenta que esa alternativa sea económica y técnicamente factible.

1.4. MÉTODOS PARA EL CONTROL DE MICROORGANISMOS

Revisando el capítulo III se encuentra que existen métodos para poder controlar la actividad de los microorganismos empleando biocidas oxidantes, biocidas no oxidantes, biocidas catiónicos, organometálicos, tratamientos físicos, iones metálicos, productos químicos tensoactivos, álcalis y ácidos. Empleando la principal ventaja y desventaja de cada método y comparando cada uno, obtenemos el método más adecuado para el control microbiano en el agua.

1.4.1. BIOCIDAS OXIDANTES

Nombre del biocida	Ventaja	Desventaja
Cloro, hipocloritos y materiales organoclorados	Mata rápidamente los organismos	Reaccionan con contaminantes (NH_3 y H_2S) y otras sustancias orgánicas, no penetra el limo y pierde efectividad al aumentar el pH.
Bromo	Buen agente germicida	No se aplica en abastecimientos de aguas públicas.
Yodo y derivados del yodo	Eficaz con organismos patógenos con bajas dosificaciones y tiempo corto.	Deja un ligero sabor, es más costoso que el cloro y a gran escala su empleo está prohibido económicamente.
Ozono	Destruye materia orgánica, no forma sales perjudiciales, no deja olor ni sabor.	Gastos elevados de los aparatos y funcionamiento, altas cantidades de energía eléctrica para producir 4 g de ozono.
Permanganato de potasio	Buen oxidante.	Rara aplicación.
Peróxido de hidrógeno	Buen germicida.	Rara aplicación.

1.4.2. BIOCIDAS NO OXIDANTES

Los biocidas no oxidantes ofrecen una posibilidad de control microbiano en sistemas que no son compatibles con el cloro (agua con alto contenido en materia orgánica o amoníaco), pero este beneficio no se encuentra en un solo biocida sino que se tienen que formular ingredientes individuales para diseñar un producto adecuado para el incremento del funcionamiento global de estos biocidas en aplicaciones específicas.

1.4.3. BIOCIDAS CATIONICOS

Son aminas y productos cuaternarios que se emplean en la penetración del limo y algas, se añade en el proceso de cloración para reducir la dosis de cloro para que tenga más contacto con los organismos que en condiciones normales no dañaría.

1.4.4. ORGANOMETÁLICOS

Se emplea para el control de algas y hongos pero también se utiliza para el control de bacterias anaerobias y de estaño presente en el agua.

1.4.5. IONES METÁLICOS

El ion más empleado es la plata porque en concentraciones muy reducidas es eficaz en el control de bacterias, inhibe el desarrollo de algas y hongos; el problema es que con fosfatos, cloruro, sulfuros y sulfatos impiden su actividad desinfectante, el tratamiento es costoso y requiere de períodos largos de contacto.

1.4.6. ÁLCALIS Y ÁCIDOS

Las bacterias patógenas no sobreviven demasiado tiempo en aguas fuertemente alcalinas o ácidas, los períodos de contacto son muy largos y su empleo es muy limitado en la purificación de agua.

1.4.7. PRODUCTOS QUÍMICOS TENSOACTIVOS

Se emplean compuestos de amonio pero cada compuesto tiene una capacidad para el control de los microorganismos distinta, por eso no son considerados como desinfectantes en el agua.

1.4.8. TRATAMIENTOS FÍSICOS

Se emplea un tratamiento calorífico que desinfecta el agua, el problema es que no es práctico y eleva su costo. El empleo de radiación con luz ultravioleta mata a los microorganismos, disminuye la cantidad de hierro en el agua, el tiempo de contacto es corto y una sobredosificación no produce efectos nocivos, el equipo tiene un bajo costo de mantenimiento (principalmente la lámpara), los gastos de funcionamiento son bajos; las desventajas es que las esporas, los quistes y los virus son menos susceptibles que las bacterias vegetativas y no penetra más de 30 cm de profundidad en el agua. Los nuevos estudios realizados con la aplicación de materiales de construcción de la lámpara y de materiales refractarios en los tubos, los microorganismos que eran menos susceptibles en los primeros estudios ahora son destruidos.

Al realizar las comparaciones de los métodos vemos que el empleo de productos químicos nos lleva a emplear más equipo para evitar principalmente el sabor y el olor que algunos compuestos dejan en el agua. Además, la utilización de productos químicos hace que los costos totales se eleven en forma considerable.

1.5. MÉTODOS PARA EL CONTROL DEL OLOR Y SABOR

Para evitar los olores y sabores en el agua se emplean métodos de oxidación para destruir las sustancias odoríferas utilizando productos químicos como son el cloro y derivados, el ozono, sulfato de cobre y permanganato de potasio. Estos productos se emplean en los procesos de aireación, coagulación, floculación y sedimentación (que para la instalación de los bebederos en la F.E.S. Zaragoza Campus II no son factibles porque el tamaño de los equipos son para el tratamiento de grandes volúmenes de agua y de aguas negras) y filtración.

Asimismo se puede utilizar carbón activado (adsorbedor) y aplicar en cualquier fase del tratamiento que preceda a la filtración y se debe considerar el tiempo máximo de adsorción por medio del carbón y el flujo que se va a manejar. El carbón activado que se empleará es el de hueso por la mejor retención que tiene este carbón al de los demás carbones existentes, además se puede regenerar el carbón mediante un proceso térmico (calentamiento en horno), evitar así un gasto más en el proceso.

2. SELECCIÓN DEL EQUIPO DE PURIFICACIÓN

Después de analizar los diferentes tipos de purificación existentes, se optó por el sistema de purificación por medio de luz ultravioleta (UV), ya que recientemente se ha mejorado la tecnología en la luz ultravioleta permitiendo aplicaciones importantes en diferentes procesos químicos y control de la contaminación. La luz ultravioleta rompe los enlaces de la molécula para inducir o catalizar la reacción química. Cuando la

contaminación biológica es el objetivo, la luz ultravioleta impulsa además el poder oxidante de algunos químicos, tal como el ozono.

La ventaja de la aplicación de la luz ultravioleta es su rendimiento, debido a que tiene bastante energía que es absorbida por los organismos. Este equipo ofrece muchas ventajas en comparación con los otros sistemas; el equipo consta del elemento básico que es la lámpara de luz ultravioleta, la lámpara de vapor de mercurio emite principalmente ondas de 253.7 nm. La longitud de onda emitida por la luz ultravioleta es empleada principalmente para eliminar microorganismos, bacterias, protozoarios, virus, levaduras, hongos y algas; teniendo la ventaja de que no cambia las propiedades del agua, ya que está dentro de las normas establecidas de la calidad del agua.

Las ventajas del equipo son las siguientes:

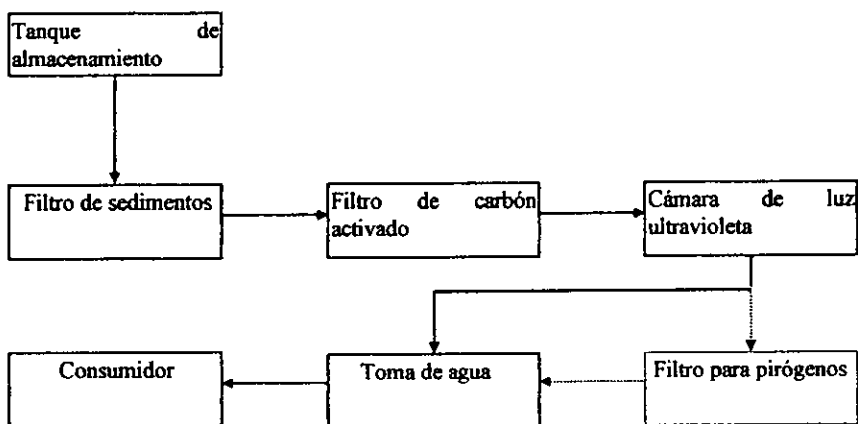
- 1) El mantenimiento es mínimo.
- 2) Ocupa poco espacio.
- 3) Costo de operación bajo.
- 4) Flujo constante.
- 5) Retiene partículas en suspensión.
- 6) Elimina olor, sabor y color del agua.
- 7) Destruye el 99.9% de microorganismos.

El equipo consta principalmente de cuatro partes fundamentales, en caso de que el agua contenga demasiados microorganismos se le adiciona un filtro después de la cámara de luz ultravioleta para retener los microorganismos muertos y alguna basura que se pueda haber pasado para que no vaya afectar la salud de los consumidores. El equipo es el siguiente:

1. Tanque de almacenamiento.
2. Filtro de sedimentos.
3. Filtro de carbón activado.
4. Cámara de luz ultravioleta.
5. Filtro para pirógenos (en caso de ser necesario).

A continuación se muestra el diagrama de flujo donde se indica el tren del proceso de purificación a través de luz ultravioleta:

2.1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE PURIFICACIÓN DE AGUA



El tanque de almacenamiento es un tinaco de plástico para evitar que se adhieran plantas acuáticas y se desarrollen en él, además de la facilidad de instalación y mantenimiento.

El filtro de sedimentos es utilizado para retener partículas y materia orgánica disuelta (tierra, basura, limo y sólidos disueltos), esto nos permite mejorar la calidad del agua. El diámetro del poro para este paso es de $5\ \mu$, ya que el tamaño de las partículas mencionadas es mayor a este diámetro. La ventaja es que el flujo es constante, dependiendo de la calidad del agua que se tenga en la escuela es el mantenimiento del filtro. Los filtros menores a $5\ \mu$ no son recomendables en esta etapa, ya que disminuyen el flujo y aumenta el mantenimiento. El material del filtro que se recomienda para este paso es de poliéster.

El tercer paso emplea un filtro de carbón activado para la eliminación de olor y sabor provocado por la actividad microbiana y el uso de agentes químicos en el proceso de potabilización, teniendo la ventaja de poder regenerarse por medio de un tratamiento térmico reduciendo de esta manera los costos de mantenimiento.

El cuarto paso es la utilización de una cámara de luz ultravioleta y es en donde se lleva a cabo la purificación del agua, esto se debe a la radiación emitida por la lámpara de luz UV que ejerce un poder germicida de más del 99.9% sobre los microorganismos, bacterias, hongos, virus, levaduras, protozoarios y algas. La lámpara está construida por un tubo de cuarzo, su vida útil es de 10 meses a pesar de que siga encendida; al concluir este tiempo la lámpara pierde su poder germicida y, por ende, se tiene que reemplazar por una nueva; el reemplazo de la lámpara no es costoso (alrededor de \$350).

El quinto paso es utilizar un filtro para pirógenos de un diámetro menor de 5 μ , esto es por si los niveles de microorganismos presentes en el agua sobrepasan los límites establecidos en la norma. Como la luz ultravioleta mata el 99.9% de los microorganismos y el filtro de carbón activado retiene parte de los microorganismos que lleva consigo el agua no es necesario la instalación, a menos que el agua al término de la purificación presente restos de microorganismos; para evitar que éstos causen alguna enfermedad se hará la instalación.

3. COSTOS

A continuación se presenta en la siguiente tabla una serie de diferentes purificadores de luz UV serie doméstico-comercial y sus especificaciones técnicas:

Modelo	Flujo máximo, litros/minuto	Número de lámparas UV	Watts	Amperaje
IP-4	4	1	8	0.2
IP-15	12	1	15	0.4
IP-30	30	1	30	0.7
IP-60	60	2	60	2.1
IP-90	90	3	90	2.1
Solquip	60	1	30	0.7

La presión y la temperatura máximo son:

Temperatura máxima de operación: 30°C (86°F).

Presión máxima de operación: 2.5 Kg/cm² (36 psi).

El equipo que se recomienda es el modelo IP-4 y su costo aproximado es de \$3,500 (este precio puede variar). El costo del agua purificada por el equipo es el siguiente:

$$(3,500/300) * (1/24) * (1/60) * (1/4) = 0.002 \text{ pesos/litro.}$$

El análisis dimensional es el siguiente:

$$(\text{Pesos/días}) * (\text{día/horas}) * (\text{hora/minutos}) * (\text{minuto/litro}) = \text{Pesos/litro.}$$

Tomando en cuenta el costo aproximado del tinaco, la tubería, la mano de obra, el equipo de purificación y el mantenimiento de la instalación es de \$5,000 dando el costo del agua purificada:

$$(5,000/300) * (1/24) * (1/60) * (1/4) = 0.003 \text{ pesos/litro.}$$

Revisando en la tabla 10 que nos indica los precios del agua embotellada en la PROFECO, la tabla 11 muestra datos acerca de la industria del agua purificada, la tabla 12 muestra el valor de las inversiones que realiza dichas empresas, el consumo de agua purificada aumentó 300% en los últimos tres años (datos proporcionados por la Asociación Nacional de Productores y Embotelladores de Agua Purificada, ANPDAP, el aumento es de 600 empresas de agua embotellada subió en los últimos tres años a 3,500 empresas) y que existen dudas sobre la pureza del agua embotellada por algunas empresas (datos proporcionados por la PROFECO en un estudio realizado a 305 marcas de agua purificada - procedentes de 27 ciudades del país (ver gráfica) y la calificación de la calidad sanitaria en el agua - ver tabla 13 -); la instalación del sistema de purificación para bebederos en la F.E.S. Zaragoza Campus II es factible.

Tabla 11: Precio en pesos por botella de litro y medio

Nombre de la marca	Precio
Bonafont	7.00
Electropura	6.00
Aguafiel	5.00
Santa María	4.90
Otras	3.50

Tabla 12: Industria del agua purificada

Número aproximado de purificadores en México	3,500
Número de purificadores afiliados a la ANPDAP, A.C.	980
Consumo diario per cápita en litros*	0.722
Consumo mensual en litros	1,949'400,000
Consumo anual en litros	23,400'000,000

* Base 90'000,000 de habitantes.

Tabla 13: Inversiones en millones de pesos

Grandes consorcios de agua	2,600
Empresas grandes	1,900
Empresas medianas	2,850
Empresas pequeñas	1,000
Empresa micro	545
TOTAL	8,895

Tabla 14: Calificación de acuerdo a la calidad sanitaria dada por la PROFECO

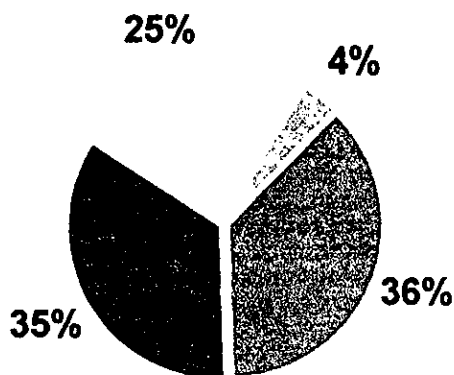
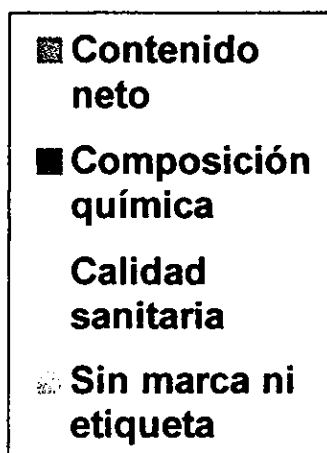
Cantidad de colonias por mililitro	Calificación del agua
Hasta 100	Excelente
De 101 hasta 200	Buena
Más de 200	Regular
Presencia coliformes totales en el agua	Deficiente o mala

Esta gráfica es el resultado del estudio realizado de la PROFECO y que dio los siguientes resultados (de una base de 305 marcas):

- A) Contenido neto declarado en la etiqueta: 93.4%.
- B) Composición química exigida por la norma oficial: 87.5%.
- C) Calidad sanitaria exigida por la norma oficial: 62.6%.
- D) Marcas que no presentaron marca ni etiqueta: 8.85%.

Estos resultados indican que 36% de las marcas de agua cumplen con el contenido neto, un 35% cumple con la composición química, un 25% con la calidad sanitaria y 4% no mostró marca ni etiqueta. (Ref. Hem.(3)).

ESTUDIOS DEL LABORATORIO DE CALIDAD DE LA PROFECO



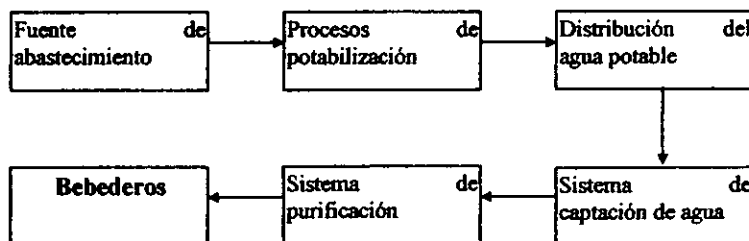
4. CONCLUSIÓN

Después de realizar el estudio técnico-económico a los diferentes métodos para la purificación de agua, el sistema de purificación de agua por medio de luz ultravioleta es el más adecuado para los bebederos en la F.E.S. Zaragoza, porque elimina el 99.9% de los microorganismos presentes en el agua (causantes de enfermedades gastrointestinales), no produce olor ni sabor, no emplea productos químicos ni produce desechos que se traten o se confinen, no se necesita una inversión igual a la que realizan las empresas micro, el costo del agua es muy inferior al costo de las marcas y se tiene la plena seguridad de que el agua si es purificada (mientras que el agua embotellada se desconoce si es purificada o no).

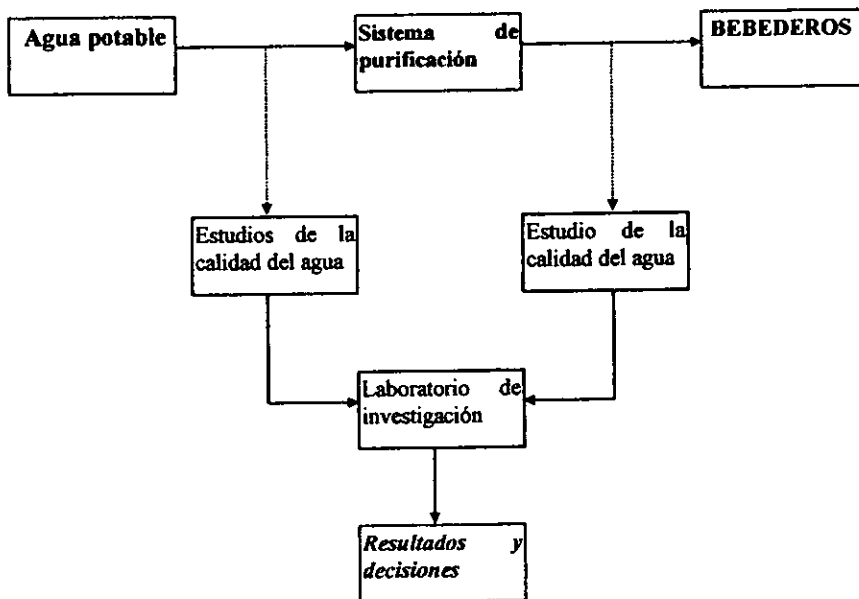
SUGERENCIAS

Dada la extensión del tema acerca del agua y la problemática que se debe atacar, este trabajo se enfoca a la propuesta para la instalación de un sistema de purificación para que la comunidad zaragozana tenga en sus instalaciones de Campus II de agua que cumpla con las normas requeridas que fueron publicadas en el Diario Oficial de la Nación para aguas de uso y consumo humano.

El diagrama de flujo que a continuación se muestra indica el seguimiento que realiza el agua para llegar a Campus II.

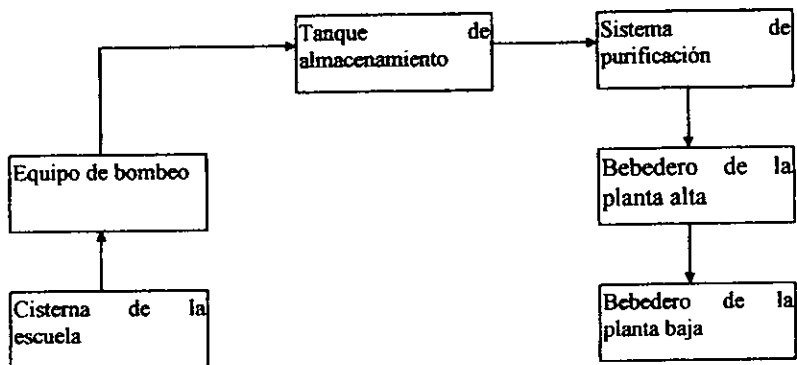


Para que el sistema de purificación dé buenos resultados, se sugiere que exista un laboratorio de investigación en donde se realicen los estudios de la calidad del agua que llega al Campus II y la calidad que se obtiene a través del sistema de purificación (si cumple con las normas establecidas). En este laboratorio tomará las decisiones necesarias, dependiendo de los resultados que obtenga de los estudios, para obtener un agua purificada que cumpla con las normas establecidas.

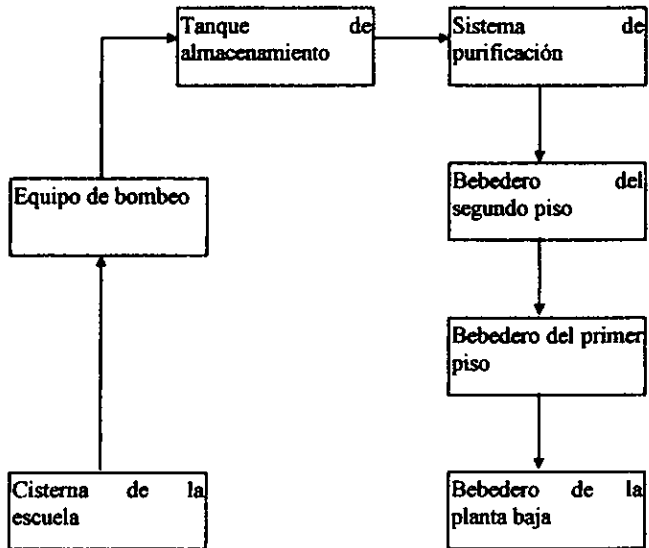


Otra sugerencia es que en las escaleras que conectan a los edificios se instale un sistema de purificación y en la planta piloto.

El diagrama de flujo del sistema de purificación de agua para la planta piloto es el siguiente:



El diagrama de flujo para el sistema en los edificios:



APÉNDICE

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para la cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas.

Con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor, se debe someter a tratamientos de potabilización. A continuación se presenta un glosario de términos y la Norma Oficial Mexicana respecto a la calidad del agua para consumo humano.

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimientos públicos y privados o cualquier persona física o moral que distribuya, en todo el territorio nacional.

2. REFERENCIAS

NOM-008-SCF1-1993 "Sistema General de Unidades de Medida"

3. DEFINICIONES

1. **Ablandamiento:** Proceso de remoción de iones calcio y magnesio, principales causantes de la dureza del agua.
2. **Adsorción:** Remoción de iones y moléculas de una solución que presentan afinidad a un medio sólido adecuado, de forma tal que son separadas de la solución.
3. **Agua para uso y consumo humano:** Aquella que no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causa efectos nocivos al ser humano.
4. **Angstrom:** Unidad de longitud que se utiliza para medir longitudes de onda y dimensiones atómicas. (Vale 10^{-10} m y su símbolo es Å).
5. **Aragonito (a):** La forma ortorrómbica y relativamente inestable del carbonato de calcio cristalino, producido por precipitación desde el agua caliente, pero propensa a convertirse en calcita.
6. **Arcilla:** Silicato aluminico hidratada natural, puro o impurificado por óxidos de hierro, que empapado con agua adquiere una plasticidad y que por calcinación se contrae y endurece.
7. **Arcilla no plástica:** Atapulguita, montmorillonita, galactita, bentonita.
8. **Bacteria:** Ser unicelular, de estructura simple, núcleo difuso, generalmente sin clorofila, y que se reproduce por bipartición. Son visibles al microscopio y su

- clasificación se hace según su imagen y pueden ser esféricas (cocos), cilíndricas (bacilos), incurvadas (vibrios), espirales (espirilos); pueden estar aisladas (micrococos) o permanecer agrupadas con los individuos resultantes de su división: dos (diplococos), cuatro (tetracocos), en cadena (estreptococos). El tamaño varía entre 1 y 6 μ .
9. **Bentonita:** Arcilla valiosa, parecida en sus propiedades a la galactita, y formada por la descomposición del vidrio volcánico bajo el agua. Está constituida principalmente por montmorillonita.
 10. **Calcita:** Forma cristalina del carbonato de calcio, que muestra simetría trigonal y una gran variedad de formas mineralógicas. Es uno de los minerales que más comúnmente se hallan asociados a la vez a rocas ígneas y sedimentarias.
 11. **Características bacteriológicas:** Son aquellas debidas a los microorganismos nocivos a la salud humana. Para efectos de control sanitario se determina el contenido de indicadores generalés de contaminación microbiológica, específicamente organismos coliformes totales y organismos fecales.
 12. **Características físicas y organolépticas:** Son aquellas que se detectan sensorialmente. Para efectos de evaluación, el sabor y el olor se pondrán por medio de los sentidos, el color y la turbiedad se determinan por medio de métodos analíticos de laboratorio.
 13. **Características químicas:** Son aquellas debidas a elementos o compuestos químicos, que como resultado de investigación científica se ha comprobado que pueden causar efectos nocivos a la salud humana.
 14. **Características radiactivas:** Son aquellas resultantes de la presencia de elementos radiactivos.
 15. **Cilio (a):** Filamento protoplásmico que emerge del cuerpo de los protozoos ciliados y de algunas otras células. Representa en los protozoos los órganos de locomoción, también ayudan para la digestión o como elementos táctiles.
 16. **Coagulación química:** Adición de compuestos químicos al agua, para alterar el estado físico de los sólidos disueltos, coloides o suspendidos, a fin de facilitar su remoción por precipitación o filtración.
 17. **Contingencia:** Situación de cambio imprevisto en las características del agua por contaminación externa, que ponga en riesgo la salud humana.
 18. **Desinfección:** Destrucción de organismos patógenos por medio de aplicación de productos químicos o procesos físicos.
 19. **Detersorio (a):** Lo que limpia o purifica.
 20. **Espora:** Forma de resistencia de un elemento microbiano que facilita su persistencia y conservación en un medio hostil, en el que no puede desarrollarse, pero conserva un estado de vida latente, que se activa de nuevo y reproduce al hallar otra vez condiciones favorables. Son pequeñas, redondeadas, muy resistentes al calor, el frío y la desecación, y persistentes a veces durante años en un lugar determinado, pero no todos los gérmenes las poseen.
 21. **Filtración:** Remoción de partículas suspendidas en el agua, haciéndola fluir a través de un medio filtrante de porosidad adecuada.
 22. **Floculación:** Aglomeración de partículas desestabilizadas en el proceso de coagulación química, a través de medios mecánicos o hidráulicos.
 23. **Galactita o Galactites:** Variedad de arcilla detersoria que se deshace en el agua, dándole apariencia de leche.

24. **Germen:** Organismo de tamaño microscópico, en especial de los que pueden causar enfermedades; gérmenes patógenos.
25. **Helminto:** Nombre usado antiguamente en clasificación, para designar un gran grupo de invertebrados vermiformes, actualmente divididos en platelmintos, nematodos y otros grupos más pequeños, y que viven como parásitos en el hígado e intestinos de los vertebrados.
26. **Hongo:** Uno de los principales grupos de las talofitas, que se diferencia de las algas, principalmente, por carecer de clorofila; no pueden vivir en fotosíntesis y lo hacen como saprófitos o parásitos.
27. **Infusorio:** Seres microscópicos, unicelulares y con cilias, que abundan en las aguas estancadas.
28. **Inocuo:** Aquello que no hace o causa daño.
29. **In situ:** Señala el lugar natural o normal.
30. **Intercambio iónico:** Proceso de remoción de aniones o cationes específicos disueltos en el agua, a través de su reemplazo por aniones o cationes provenientes de un medio de intercambio, natural o sintético, con el que se pone en contacto.
31. **Límite permisible:** Concentración o contenido máximo o intervalo de valores de un componente, que garantiza que el agua será agradable a los sentidos y no causará efectos nocivos a la salud del consumidor.
32. **Lignito:** Carbón mineral, negro o pardo, y cuyo poder calorífico es inferior al de la hulla.
33. **Lixiviación:** Operación consistente en hacer pasar lentamente un disolvente a través de una sustancia pulverizada y dispuesta en forma de una delgada capa, para extraerle una o varias sustancias solubles.
34. **Micra:** Unidad de longitud que vale un milésimo de milímetro, o sea, un millonésimo de metro (símbolo μ).
35. **Microbio:** Nombre genérico que se designa a los seres organizados, sólo visibles al microscopio, como bacterias, infusorios, hongos, levaduras, etc.
36. **Mineralógico (a):** Lo relativo a la mineralogía, que es la ciencia que estudia los minerales.
37. **Montmorillonita:** Silicato hidratado de magnesio; uno de los más importantes minerales arcillosos y principal constituyente de la bentonita.
38. **Movimiento browniano:** Es el movimiento desordenado que ejecutan en los líquidos las partículas materiales cuyas dimensiones son inferiores a 0.2μ . Se explica como efecto de los choques que cada partícula recibe de las moléculas del líquido en virtud de la teoría cinética de la materia. Las partículas más voluminosas, al tener mayor inercia, no participan visiblemente de este movimiento, que se observa con el ultramicroscopio, y que constituye una de las características de los cuerpos en estado coloidal. Este movimiento fue descubierto en 1827 por Robert Brown.
39. **Nanómetro:** Medida de longitud que es de 10^{-9} metros y que se emplea en la medición de longitudes de onda; su símbolo es nm.
40. **Neutralización:** Ajuste del pH, mediante la adición de agentes químicos básicos o ácidos al agua en su caso, con la finalidad de evitar incrustación o corrosión de materiales que puedan afectar su calidad.

41. **Oligodinámico (a):** Acción oligodinámica, propiedad que tienen cantidades pequeñísimas de ciertos metales que ejercen efectos letales sobre las bacterias o plantas.
42. **Ortorrómico (a):** Es el adjetivo de rómico.
43. **Ósmosis inversa:** Proceso esencialmente físico para remoción de iones y moléculas disueltos en el agua, en el cual por medio de altas presiones se fuerza el paso de ella a través de una membrana semipermeable de porosidad específica, reteniéndose en dicha membrana los iones y moléculas de mayor tamaño.
44. **Parásito:** Animal o vegetal que vive dentro o en la superficie de otro organismo, de cuya sustancia se nutre.
45. **Oxidación:** Introducción de oxígeno en la molécula de ciertos compuestos para formar óxidos.
46. **Patógeno (a):** Elementos y medios que producen las enfermedades.
47. **Plaguicidas:** Sustancia o mezcla de sustancias utilizadas para prevenir, destruir, repeler o mitigar cualquier forma de vida que sea nociva para la salud, los bienes del hombre o el ambiente, excepto las que exista sobre o dentro del ser humano y los protozoarios, virus, bacterias, hongos y otros microorganismos similares sobre o dentro de los animales.
48. **Potabilización:** Conjunto de operaciones y procesos, físicos y/o químicos que se aplican al agua a fin de mejorar su calidad y hacerla apta para uso y consumo humano.
49. **Precipitación:** Proceso físico que consiste en la separación de las partículas suspendidas sedimentables del agua, por efecto gravitacional.
50. **Protozoario:** Subreino que comprende a todos los microorganismos unicelulares considerados como animales y que constituyen el único tipo de protozoos. Es muy variada su forma: esférica, ovoide, periforme, de configuración compleja, etc.; las amibas o amebas tienen contornos cambiantes; carecen de simetría, pero en algunos grupos se observa simetría radial y en otros grupos simetría bilateral. También existen formas espiradas. Miden entre 20 y 30 μ .
51. **Saprófito:** Cualquier microbio que se desarrolla comensal sobre un ser vivo, sin interferir nunca el normal funcionamiento del huésped.
52. **Sistema de abastecimiento:** Conjunto intercomunicado o interconectado de fuentes, obras de capacitación, plantas cloradoras, plantas potabilizadoras, tanques de almacenamiento y regulación, cárcamos (hueco que deja el rodezno, que es una rueda hidráulica con paletas curvas y eje vertical de los molinos) de bombeo, líneas de conducción y red de distribución.
53. **Talofita:** Plantas que tienen talo. El talo es un cuerpo vegetativo de una planta no diferenciada en raíz, tallo y hojas.
54. **Trigonal:** Minerales de la importancia de la calcita, el cuarzo y la turmalina cristalizan en este sistema.
55. **Turba:** Carbón combustible, negruzco, ligero, esponjoso, producido por materias vegetales más o menos carbonizadas.
56. **Vermiforme:** En forma de gusano.
57. **Ultramicroscopio:** Tipo de microscopio que, utilizando un sistema de iluminación particular, permite observar la existencia y los desplazamientos de objetos de dimensiones inferiores a las que pueden ser observadas con el máximo aumento de un microscopio fotónico normal.

58. **Ultravioleta:** Radiaciones del espectro luminoso, cuya longitud de onda está comprendida entre los 4,000 Å y 200 Å aproximadamente.
59. **Virus:** Son microorganismos muy pequeños, capaces de atravesar incluso los filtros que impiden el paso de las bacterias; sus dimensiones oscilan entre las 10 y 300 m μ (bacteriófago, de 1 a 50 m μ ; virus de la vacuna, 175; de la poliomielitis, 15; del herpes, 300; etc.). Son sensibles al paso de la corriente eléctrica, a las radiaciones ionizantes y a los antisépticos.

4. ESPECIFICACIONES SANITARIAS

El producto objeto de este ordenamiento, debe cumplir con las siguientes especificaciones:

4.1. ORGANOLÉPTICAS Y FÍSICAS

Olor	Inodoro
Sabor	Insípido
Color	15 unidades de color verdadero* en la escala de platino-cobalto
Turbiedad	5 unidades de UNT

* Únicamente el producido por sólidos disueltos en el agua.

4.2. FISICOQUÍMICAS

pH	6.5-8.5
	Límite máximo, mg/lit
Alcalinidad total como CaCO ₃	300.00
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros como CN ⁻	0.05
Cloro residual libre después de un tiempo de contacto mínimo de 30 minutos	0.10
Cloruros como Cl ⁻	250.00
Cobre	1.00
Cromo total	0.05
Dureza total como CaCO ₃	200.00
Fenoles o compuesto fenólicos	0.001
Hierro	0.30

Fluoruros como F ⁻	0.70
Manganeso	0.05
Mercurio	0.001
Nitratos como N	10.00
Nitritos como N	0.05
Nitrógeno amoniacal como N	0.10
Oxígeno consumido en medio ácido	2.00
Plata	0.05
Plomo	0.02
Sólidos disueltos totales	500.00
Sulfatos como SO ₄ ⁻²	250.00
Sustancias activas al azul de metileno	0.50
Trihalometanos totales	0.10
Zinc	3.00

4.3. MICROBIOLÓGICAS

	Límite máximo
Mesofilicos aerobios UFC / ml	100
Coliformes totales* NMP / 100 ml	No detectable
Coliformes totales** UFC / 100 ml	Cero
Vibrio cholerae***	Negativo

* Técnica de número más probable (NMP)

** Método de filtración por membrana

*** Bajo situaciones de emergencia sanitaria, la Secretaría de Salud establecerá los casos en los que se habrá de determinar la presencia de este agente biológico.

4.4. PLAGUICIDAS

	Límite máximo, µg/lit
Aldrín y Dieldrín (separados o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.30
DDT (Dicloro difenil tricloro etano) (total de isómeros)	1.00
Gamma-HCH (lindano)	2.00
Hexaclorobenceno	0.01
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Metoxicloro (1,1,1-Tricloro, 2,2, bis (p-metoxi-fenil) etano)	20.00
2,4-D (Ácido 2,4-Diclorofenoxiacético)	30.00

4.5. RADIATIVIDAD

Característica	Límite permisible, Bq/lt*
Radiactividad alfa global	0.1
Radiactividad beta global	1.0

* Bq/lt: Becquerel por litro

5. MÉTODOS DE PRUEBA

Para la determinación de aluminio, cromo, manganeso y plata se debe aplicar el método de prueba establecido en la NOM-117-SSA1-1994, Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por absorción atómica.

La determinación de *Vibrio Cholerae*, se efectuará con el método contemplado en la Norma Oficial Mexicana NOM-031-SSA1-1993.

6. TRATAMIENTOS PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA

La potabilización del agua proviene de una fuente en particular, debe fundamentarse en estudios de calidad y pruebas de tratabilidad a nivel laboratorio para asegurar su efectividad.

Se deben aplicar los tratamientos específicos siguientes o los que resulten de las pruebas de tratabilidad, cuando los contaminantes biológicos, las características físicas y los contribuyentes químicos del agua enlistados a continuación, excedan los límites permisibles.

6.1. CONTAMINACIÓN BIOLÓGICA

- ◊ **Bacterias, helmintos, protozoarios y virus:** Desinfección con cloro, compuestos de cloro, ozono o luz ultravioleta.

6.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y ORGANOLÉPTICAS

- * **Color, olor, sabor y turbiedad:** Coagulación-floculación-precipitación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos, absorción en carbón activado u oxidación.

6.3. CONSTITUYENTES QUÍMICOS

- 1) **Arsénico:** Coagulación-floculación-precipitación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos, intercambio iónico u ósmosis inversa.
- 2) **Aluminio, bario, cadmio, cianuros, cobre, cromo total y plomo:** Intercambio iónico u ósmosis inversa.
- 3) **Cloruros:** Intercambio iónico u ósmosis inversa o destilación.
- 4) **Dureza:** Ablandamiento químico o intercambio iónico.
- 5) **Fenoles o compuestos fenólicos:** Adsorción en carbón activado u oxidación con ozono.
- 6) **Fierro y/o manganeso:** Oxidación-filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa.
- 7) **Fluoruros:** Ósmosis inversa o coagulación química.
- 8) **Materia orgánica:** Oxidación-filtración o adsorción en carbón activado.
- 9) **Mercurio:** *Proceso convencional:* coagulación-floculación-precipitación-filtración, cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 µg / lt. *Procesos especiales:* en carbón activado granular y ósmosis inversa cuando la fuente de abastecimiento contenga más de 10 µg / lt; carbón activado en polvo cuando la fuente de abastecimiento contenga más de 10 µg / lt.
- 10) **Nitratos y nitritos:** Intercambio iónico o coagulación-floculación-precipitación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos.
- 11) **Nitrógeno amoniacal:** Coagulación-floculación-precipitación-filtración, desgasificación o desorción en columna.
- 12) **Potencial de hidrógeno (pH):** Neutralización.
- 13) **Plaguicidas:** Adsorción en carbón activado granular.
- 14) **Sodio:** Intercambio iónico.
- 15) **Sólidos disueltos totales:** Coagulación-floculación-precipitación-filtración y/o intercambio iónico.
- 16) **Sulfatos.** Intercambio iónico u ósmosis inversa.
- 17) **Sustancias activas al azul de metileno:** Adsorción en carbón activado.
- 18) **Trihalometanos:** Aireación u oxidación con ozono y adsorción en carbón activado granular.
- 19) **Zinc:** Destilación o intercambio iónico.
- 20) **En caso de contingencia, resultado de la presencia de sustancias especificadas o no especificadas en los cuadros, se deben coordinar con la autoridad sanitaria competente, las autoridades locales, la Comisión Nacional del Agua, los responsables del abastecimiento y los particulares, instituciones públicas o empresas privadas involucrados en la contingencia, para determinar las acciones que se deben realizar con relación al abastecimiento de agua a la población.**

7. OBSERVANCIA DE LA NORMA

Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional para los organismos operadores de los sistemas de abastecimientos públicos y privados o cualquier persona física o moral que distribuya agua para uso y consumo humano.

La vigilancia del cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Salud y a los gobiernos de las entidades federativas en coordinación con la Comisión Nacional del Agua, en sus respectivos ámbitos de competencia.

REFERENCIAS

1. BIBLIOGRÁFICAS

1. George T. Austin, *Manual de Procesos Químicos en la Industria*, McGraw-Hill, México, 1992.
2. Edward A. Bryant, *Desinfection Alternatives for Safe Drinking Water*, Estados Unidos de América, 1992.
3. Ruth Ann Buzzi, *Chemical Hazards at Water and Wastewater Treatment Plants*, Estados Unidos de América, 1992.
4. T. C. Collocott, *Diccionario Científico y Tecnológico*, Omega, España, 1979.
5. *Control de Calidad y Tratamiento del Agua (Manual de Abastecimientos Públicos de Agua)*, McGraw-Hill, México, 1975.
6. *Diccionario Enciclopédico Quillet*, Cumbre, México, 1988.
7. *Enciclopedia de las Ciencias*, Cumbre, México, 1989.
8. Ernest W. Flinck, *Water Treatment Chemical (An Industrial Guide)*, Noyes Publications, Estados Unidos de América, 1991.
9. John Charles Geyer, *Purificación de Agua, Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales*, Limusa, México, 1980.
10. Charles E. Gilbert, *Regulating Drinking Water Quality*, Lewis Publisher, Estados Unidos de América, 1992.
11. *Gran Diccionario de las Ciencias Larousse*, Larousse, España, 1980.
12. *Gran Enciclopedia Larousse*, Planeta, México, 1980.
13. N. F. Gray, *Calidad del Agua Potable*, Alcribia, España, 1994.
14. Mark J. Hammer, *Water Supply and Pollution Control*, Estados Unidos de América, 1993.
15. W. A. Hardenbergh, *Ingeniería Sanitaria*, C.E.C.S.A., México, 1984.
16. Herman E. Hillebog, *Manual de Tratamientos de Aguas*, Limusa, México, 1993.
17. Frank N. Kemmer, *Manual de Agua (Su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones)*, McGraw-Hill, México, 1984.

18. Willy J. Masschelein, *Unit Processes in Drinking Water Treatment*, Estados Unidos de América, 1992.
19. Wolfgang Pürschel, *La Calidad de las Aguas y su Tratamiento*, Urno, México, 1976.
20. John Cary Stewart, *Drinking Water Hazards*, Estados Unidos de América, 1990.
21. T. H. Y. Tebbutt, *Fundamentos de Control de la Calidad del Agua*, Limusa, México, 1994.
22. Robert E. Treybal, *Operaciones de Transferencia de Masa*, McGraw-Hill, México, 1993.
23. Dean. j. A., *Lange's Handbook of Chemistry*, Mc Graw-Hill, New York, 1973.

2. HEMEROGRÁFICAS

1. Diario Oficial de la Nación, 24 de Mayo de 1995.
2. Diario Oficial de la Nación, 18 de Enero de 1996.
3. El Financiero, 5 de Mayo de 1998.
4. El Financiero, 15 de Julio de 1998.
5. Chemical Engineering January 25, 1982.