



CAPITULO 3

CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LAS AGUAS



CAPITULO III

CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LAS AGUAS

3.1 CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS (Fuente Cepis/OPS/ pub/04.109)

3.1.1 INTRODUCCIÓN

Considerando el agua como un compuesto químico producto de la unión de una molécula de oxígeno con dos de hidrógeno, el agua pura solamente podría existir en el laboratorio y esto bajo condiciones especiales. En la naturaleza el agua al entrar en contacto con el suelo va adquiriendo elementos o compuestos que desvirtúan su condición original tanto desde el punto de vista físico, esto es que se hacen tangibles a la vista, al gusto y al olfato, como desde el punto de vista químico, que pueden necesitar, en la mayoría de los casos, análisis específicos para comprobar su presencia.

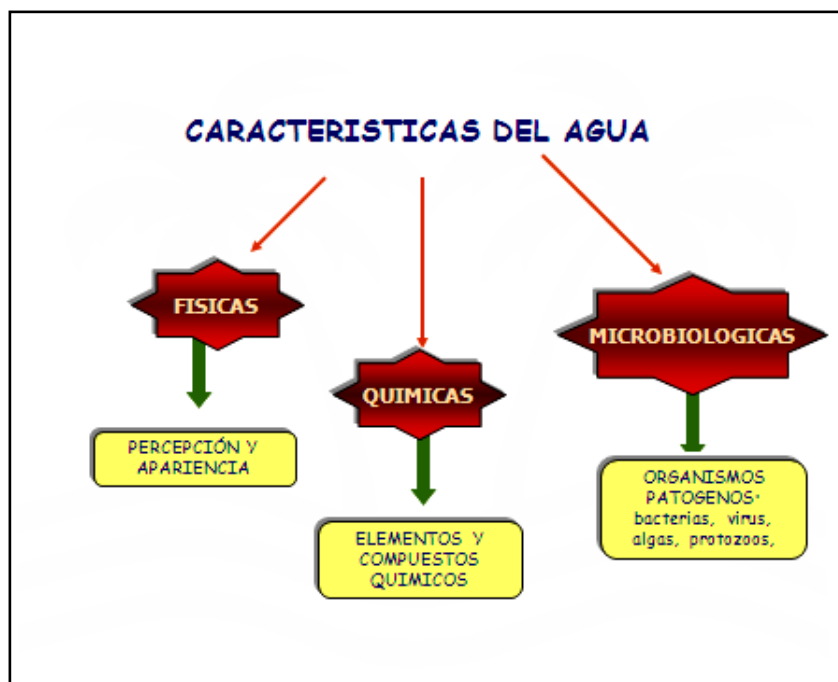


Figura 3.1 Características del agua

Fuente: ACODAL

3.1.2. CARACTERÍSTICA FÍSICAS DEL AGUA

Las cinco características físicas del agua son: Turbiedad, color, olor y sabor, temperatura y solidos, se llaman físicas porque se pueden detectar con los sentidos (vista, olfato, etc.) y esto implica que tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas del agua

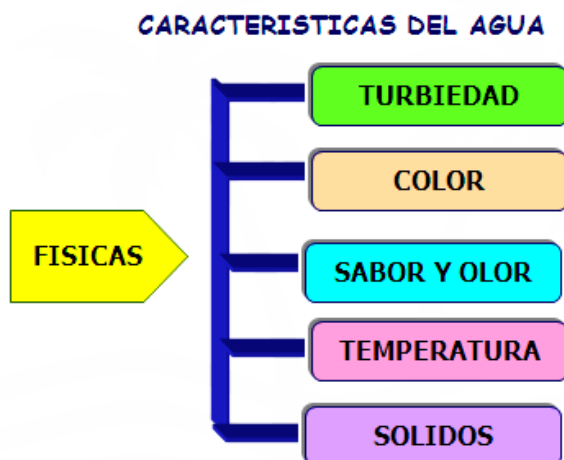


Figura 3.2 Características Físicas del agua

Fuente: ACODAL

a) Turbiedad: Es la principal característica física porque cualquier persona normal está familiarizada con esta; así se habla de “agua turbia” o “agua clara” que directamente implica presencia o ausencia de turbiedad. La turbiedad es debida a partículas que estando en suspensión o como coloides (arcilla, limo, polos, plancton, tierra finamente dividida, etc.) le dan al líquido la capacidad de diseminar un haz de luz y este fenómeno simplemente óptico es indirectamente lo que se determina turbiedad y siendo la diseminación proporcional al tamaño de las partículas, se podría decir que la turbiedad es una forma de medir la concentración de partículas coloidales y suspendidas en un líquido.

Es muy importante tener en consideración no sólo la naturaleza misma de la partícula (origen, estructura, composición y forma) sino también su tamaño, se deben diseñar los sistemas para remover la turbiedad; el escoger este sistema tiene incidencia no solamente en la efectividad en la remoción sino también en los costos que estos implican. Así pues, mientras que en algunos casos un sistema de filtración ascendente puede ser suficiente para remover turbiedad eficientemente y a bajo costo, en otros se tiene que diseñar estructuras y procesos más elaborados y con mayores costos de operación.

Como regla general la remoción de turbiedad no es un proceso difícil de llevar a cabo en forma continua y eficiente en la planta de purificación, pero así mismo es uno de los procesos que afecta más los costos de producción porque requiere, en su mayoría, el uso de coagulantes, acondicionadores de pH, auxiliares de coagulación, etc., productos relativamente costosos y que deben ser aplicados en cantidades determinadas en cada momento del proceso. El RAS 2000 clasifica según el grado de polución una fuente como muy deficiente cuando tiene una turbiedad por encima de 150 UNT.

La turbiedad en sí puede considerarse que no tiene efectos sobre la salud, pero como se dijo, afecta la calidad estética del agua y puede ocasionar, cuando está presente, el rechazo por parte de los consumidores. Por otra parte, estudios han demostrado que en el proceso de eliminación de los organismos patógenos por la acción de agentes químicos como el cloro, las partículas causantes de la turbiedad reducen la eficiencia del proceso protegiendo físicamente a los microorganismos para que tengan un contacto directo con el desinfectante. La turbiedad debe mantenerse a un valor máximo de 2 UT según la resolución 2115 del 2007 para garantizar la eficacia del proceso de esterilización.

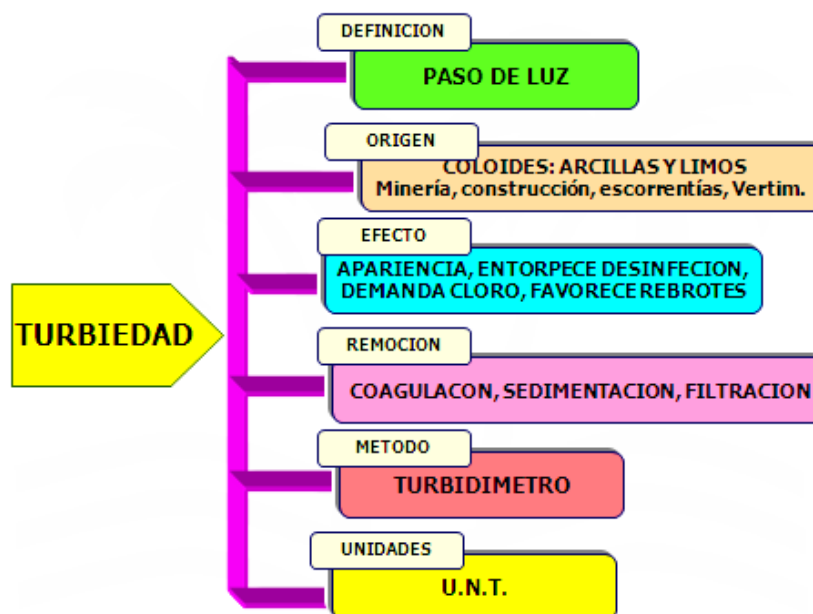


Figura 3.3 Turbiedad

Fuente: ACODAL

b) Color: Es en importancia el segundo parámetro físico del agua y aunque está íntimamente ligado a la turbiedad, puede presentarse como una característica independiente de ella. Las aguas naturales que exhiben un tinte amarillo caramelo se denominan “aguas de pantano” o “terrosas” o el término más aplicable “aguas coloradas”, definen de por sí el color, que incide sobre el aspecto estético de la misma, quitándole transparencia.

A pesar de los extensos estudios que se han hecho sobre el tema del color y su remoción, la estructura química fundamental de las moléculas responsables por él permanecen como materia de contradicción entre los autores. Se habla frecuentemente de taninos, de lignina, de humus como

responsables del color, y más recientemente ácido húmico, polisacáridos, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, ácidos himatomelánicos, etc. han sido agregados a la lista de los responsables por el color. A pesar de lo complejo del tema, parece ser lo más aceptado que el color natural del agua, excluyendo el que resulta de descargas industriales, puede provenir de: a) la extracción acuosa de sustancias de origen vegetal vivo; b) la solución de productos resultantes del proceso de descomposición de la madera; c) la solución de materia orgánica del suelo; d) la presencia de hierro y de otros compuestos metálicos; e) una combinación de los procesos descritos. Se ha comprobado que en el proceso de formación del color en el agua intervienen factores como el pH, la temperatura, el tiempo de contacto, la materia orgánica y vegetal disponible, etc.

Debido a que la materia que origina el color es tan variada, así mismo existen muchas variantes que determinan los métodos de remoción del color; mientras que en algunos casos la coagulación por compuestos como alumbre o sulfato férrico a pH bajos resulta extraordinariamente efectiva para la remoción, en otros se tiene que recurrir a otras variantes (como las unidades de contacto o filtración ascendente) para lograr un proceso efectivo. Recientes estudios han llegado a comprobar que la aplicación de cloro como esterilizante hecha en presencia de color, puede, dependiendo de la naturaleza de las sustancias que lo causan, (ácido húmico en particular) dar origen a la formación de trihalometanos, compuestos que han tenido efectos cancerígenos en animales. El cloroformo, que es el más común de los trihalometanos encontrados en el agua de bebida, ha mostrado tener estos efectos en animales.

EL RAS 2000 clasifica una fuente de agua con más de 40 UPC como muy deficiente; se deben sin embargo tener en cuenta que este puede ser removido eficientemente por métodos convencionales y como medida preventiva la aplicación de cloro como agente esterilizante se debe hacer después de que el color haya sido removido para evitar la posible formación de compuestos nocivos. La resolución 2115 establece como valor máximo admisible de color aparente 15 UC.

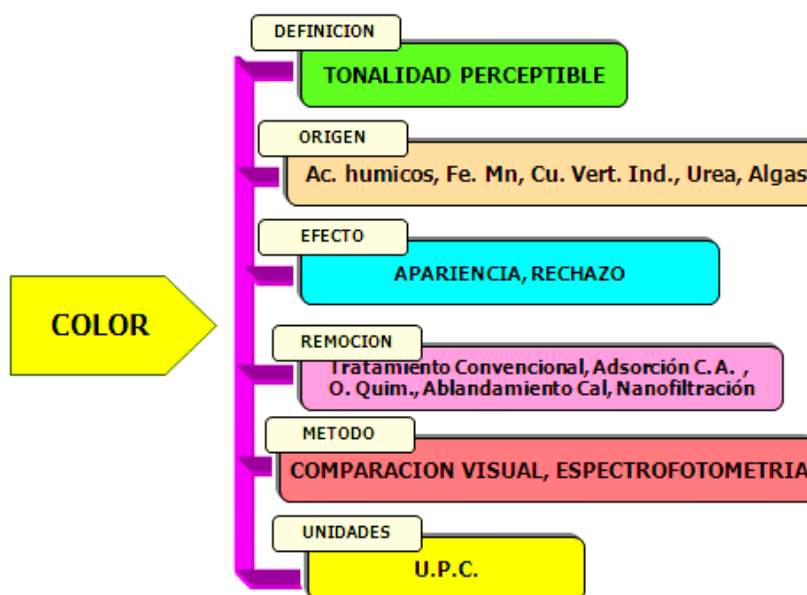


Figura 3.4 Color

Fuente: ACODAL

c y d) Olor y Sabor: Estos se mencionan juntamente porque están íntimamente relacionados y se puede decir que “sabe a lo que huele el agua”. Son por simple razón práctica uno de los primeros motivos para el rechazo por parte del consumidor. La ausencia de olor, por ejemplo, es un indicio indirecto de que contaminantes tales como compuestos fenólicos pueden estar ausentes; por otra para la presencia de olor a sulfuro de hidrógeno puede indicar una condición séptica de materia orgánica. Aunque ni el olor ni el sabor pueden ser directamente correlacionados con la seguridad sanitaria de una fuente de abastecimiento, su presencia puede causar que los consumidores tiendan a buscar otras fuentes, que a la larga puedan ser menos seguras.

La mayoría de las sustancias productoras de olores en las aguas crudas son compuestos orgánicos generados por la actividad de microorganismos y algas y también de descarga de desechos industriales. Algunos compuestos naturales como los cloruros o los sulfatos pueden producir sabores sin producir olores y su eliminación puede requerir procesos costosos y sofisticados; afortunadamente son escasas las fuentes que tienen contenidos por encima de los establecidos como aceptables para aguas de bebida. La eliminación de los olores puede completarse con procesos como la aireación, adición de carbón activado, etc. Debe tenerse en consideración en el diseño de un sistema que por ejemplo la cloración en presencia de compuestos fenólicos tiende a incrementar el sabor por la formación de otros compuestos que le dan al agua el típico sabor a hospital.

El RAS 2000 recomienda como criterio por razones estéticas las fuentes de abastecimiento deben estar razonablemente exentas de olores y sabores.

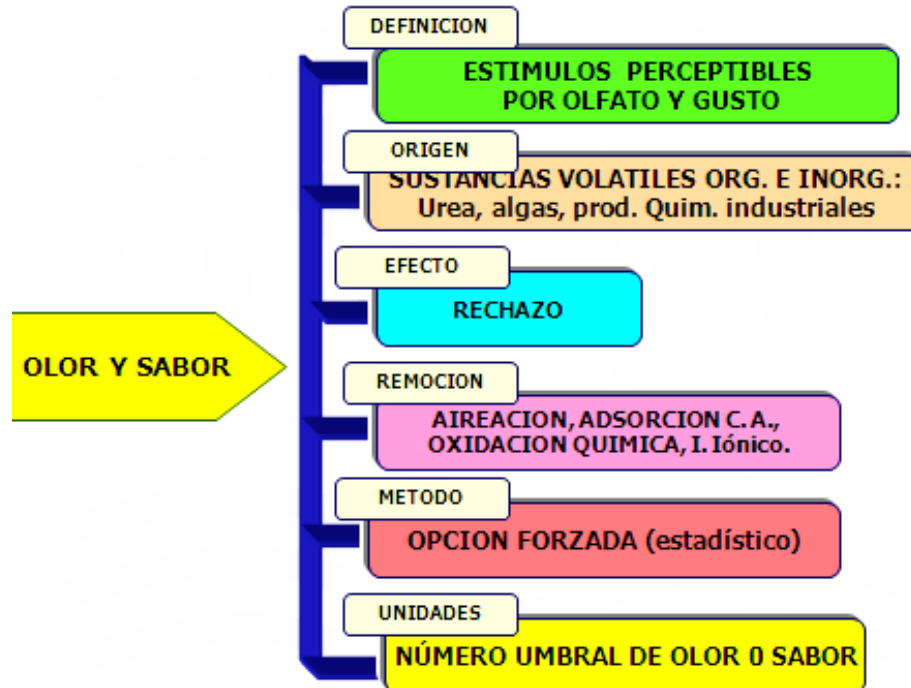


Figura 3.5 Olor y sabor

Temperatura: Es uno de los parámetros físicos importantes y está determinado por múltiples factores que los hace variar continuamente. Solamente en casos extremos se prevén las medidas para controlar este factor generalmente para rebajarlo, como el caso de la ciudad de Tibú, Colombia, abastecida por un pozo profundo que proporciona agua abundante pero a 55° C y en el cual se ha previsto torres de enfriamiento con ventilación forzada para que después de los tratamientos se le entregue al consumidor a una temperatura más razonable 25° C. Excepto en casos extremos como en el descrito, el factor temperatura se toma como naturalmente se presenta en el agua cruda, pero es muy importante porque actúa como elemento que retarda o acelera la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección por cloro y puesto que tiene influencia sobre viscosidad, afecta también indirectamente los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración.

El factor temperatura no se ha tomado mucho en consideración cuando se importan a los países bienes de tecnología foránea, diseñados y concebidos para ciertas condiciones ambientales que al ser localizados en ciudades de diferentes condiciones climatológicas trastornan todos los procesos y pueden llevarlo a completos fracasos.

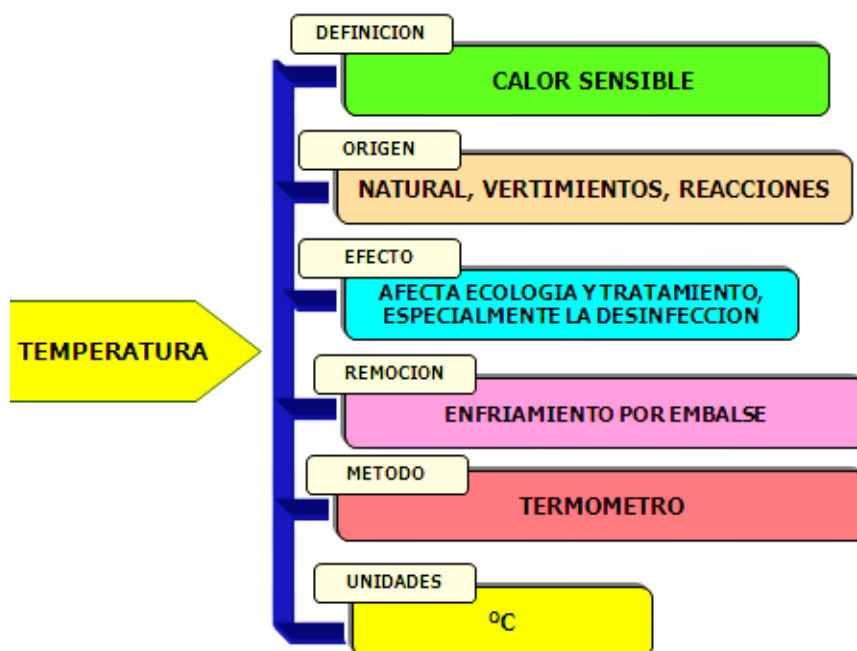


Figura 3.6 Temperatura

Fuente: ACODAL

Solidos:

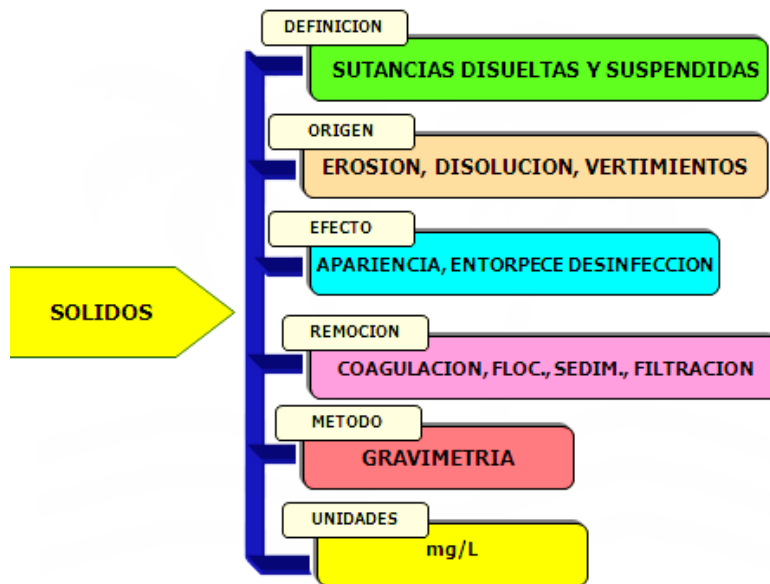


Figura 3.7 Solidos

Fuente: ACODAL

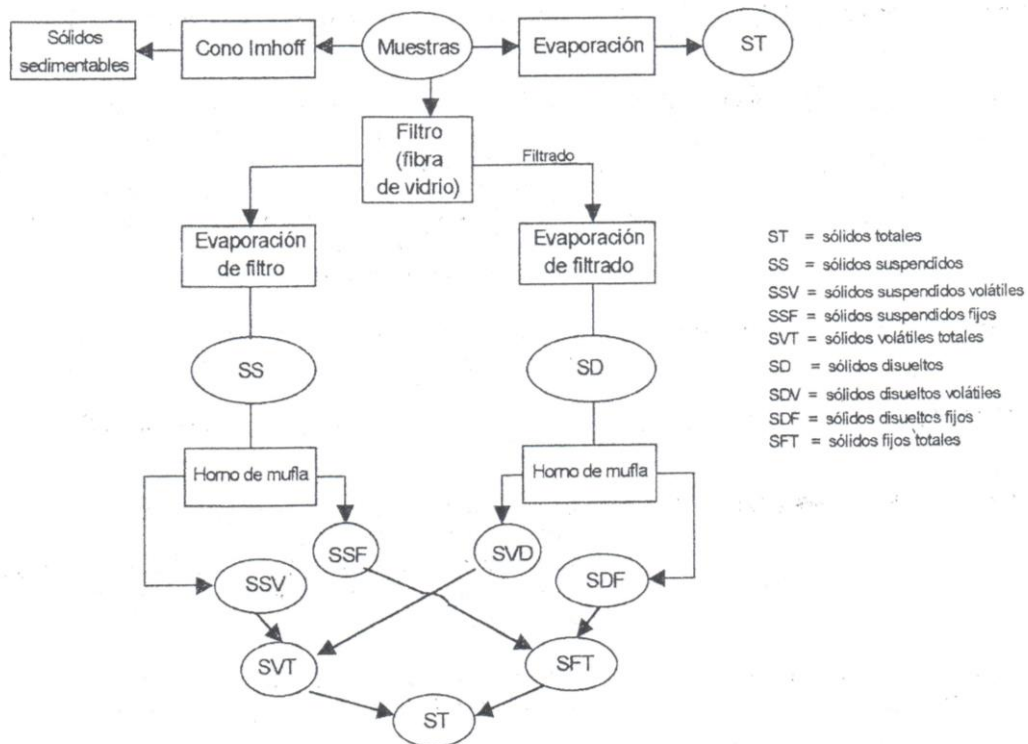
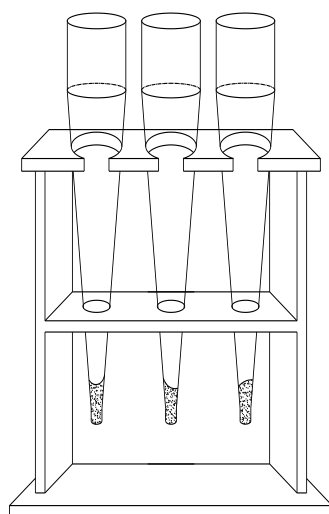
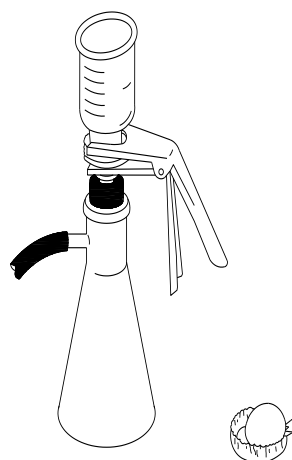


Figura 3.8 Clasificación de los solidos



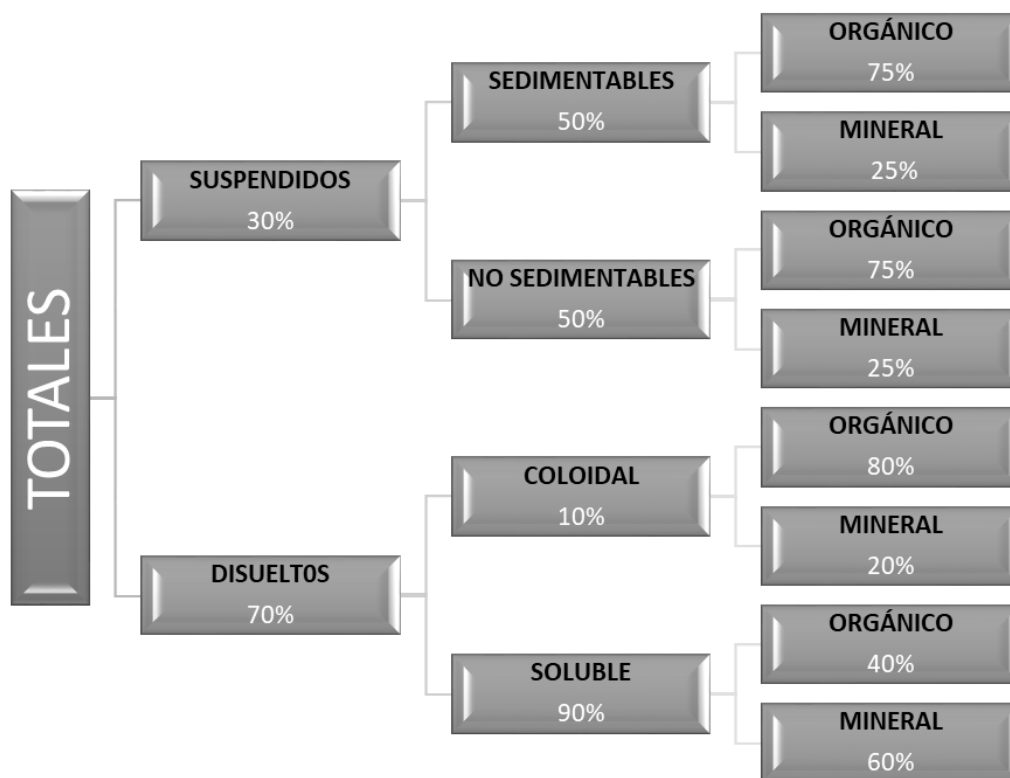
a)



b)

FIGURA 2.1. Aparatos para la determinación de sólidos
a) Cono Imhoff (SSV) y b) Filtro al vacío (SST).

Clasificación Sólidos totales



Fuente <https://www.youtube.com/watch?v=hT4C11>

3.1.3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL AGUA (Fuente Cepis/OPS/ pub/04.109)

Considerando el agua como el solvente universal, se puede decir que cualquiera de los elementos de la tabla periódica podría estar presente en el agua. Se debe comprender sin embargo que resultaría inoficioso tomar todos estos elementos en consideración puesto que algunos no tienen significancia; es por ello que se escogen los principales teniendo en cuenta su posible prevalencia en el agua y los efectos que pueda tener en la salud o el impacto que causan sobre los procesos de tratamiento.

Para que las fuentes de agua que después de tratamiento o los tratamientos a que deben ser sometidas van a ser utilizadas para el consumo humano, se dan a continuación los siguientes parámetros químicos, biológicos y radiológicos y las recomendaciones que como criterios de calidad han publicado la Environmental Protection Agency (EPA) y el RAS





Figura 3.9 Características químicas del agua

Fuente: ACODAL

Aceites y Grasas: Los aceites y grasas si están presentes en el agua producen problemas de olor, sabor, deterioran la calidad estética y aunque pueden ser un riesgo potencial para la salud, pueden estar ausentes del agua de consumo, más por razones estéticas que por su incidencia sobre los sistemas de tratamiento o sobre la salud.

Agentes Espumantes: Bajo este nombre genérico se consideran todos los productos que en mayor o menor grado producen espuma cuando el agua es agitada. Su causa es principalmente el residuo de detergentes domésticos, entre los cuales el Alkyl - Benceno – Sulfonato Linear (LAS) y el Alkyl – Benceno – Sulfonato Ramificado (ABS) son los más comunes.

Además de poder causar imperceptibles masas de espumas tanto en la fuente como los grifos domésticos, tienden a dispersar las sustancias insolubles o absorbidas, interfiriendo así con los procesos de coagulación, sedimentación y filtración.

La concentración de estos agentes aniónicos surfactantes se determina en el laboratorio por medio de su reacción con el azul de metileno (MBAS). En concentraciones menores de 0.5 mg/l han demostrado no tener efectos adversos ni en los procesos ni en la salud,

Alcalinidad: Básicamente es la medida de la capacidad del agua para neutralizar ácidos, aunque los aniones de ácidos débiles (bicarbonatos, carbonatos, hidróxido, sulfuro, bisulfuro, silicato y fosfato) pueden contribuir a la alcalinidad; la composición de la alcalinidad es función del pH, la composición numeral, la temperatura y la fuerza iónica. Por regla general está presente en las aguas naturales como un equilibrio de carbonatos y bicarbonatos con el ácido carbónico, aunque con una tendencia a que los iones de bicarbonato sean prevalentes, de ahí que un agua pueda tener baja alcalinidad y un pH relativamente alto o viceversa, por lo cual su medida solamente no tiene importancia como factor de calidad. La alcalinidad es importante en el tratamiento porque reacciona con coagulantes hidrolizables (como las sales de hierro y aluminio) para dar origen al proceso de floculación. Por regla general la alcalinidad presente en el agua cruda es suficiente para producir este proceso, pero si esta es baja, debe recurrirse a la adición de un alcalinizante

primario (generalmente hidróxido de calcio) para incrementarla lo cual incide en los costos de operación. Tiene incidencia sobre el carácter corrosivo o incrustante que pueda tener en el agua y si se presenta en cantidades altas tiene además efectos sobre el sabor.

La resolución 2115 del 2007 recomienda como valor máximo admisible de alcalinidad total para aguas de consumo 200 mg/lts, no se hace ninguna recomendación especial para la alcalinidad en fuentes de agua ya que esta se liga a factores como el pH y dureza, pero concluye que la fuente no debe mostrar variaciones repentinas en el contenido de alcalinidad.

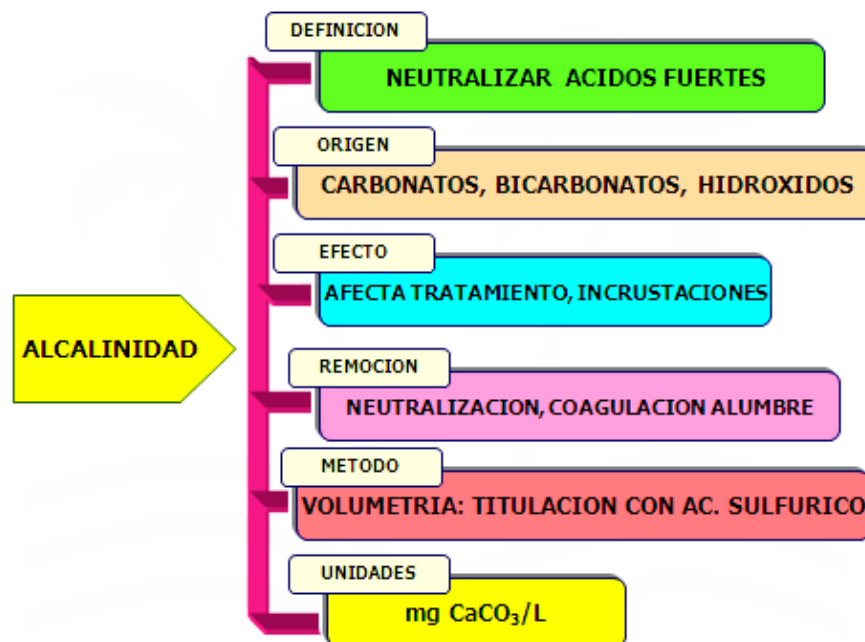


Figura 3.10 Alcalinidad

Fuente: ACODAL

Acidez:

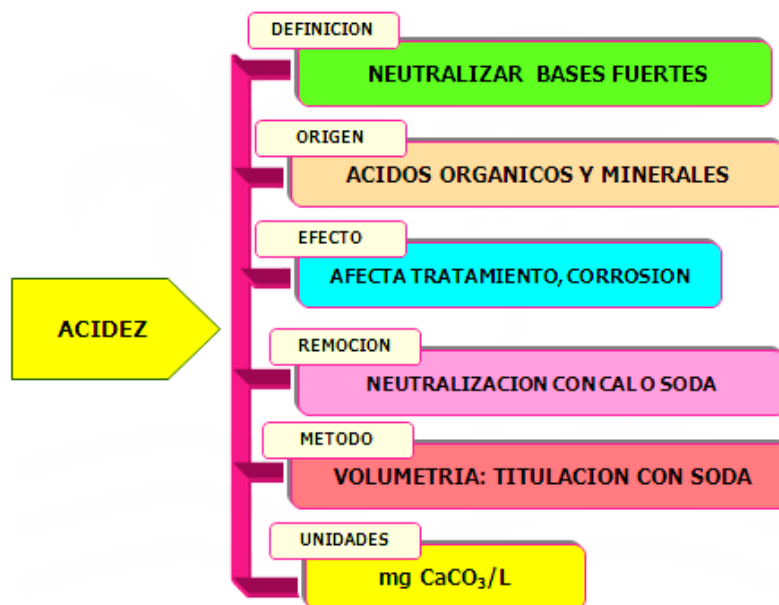


Figura 3.11 Acidez

Fuente: ACODAL

Amonio: Puede considerarse como un constituyente “normal” de aguas superficiales pero en cantidades superiores a 0.1 mg/l (como N) puede ser un índice de contaminación por aguas servidas o residuos industriales.

En el proceso bioquímico de oxidación a nitritos y nitratos consume oxígeno y se considera un nutriente para microorganismos y algas en los sistemas de distribución. Tienen influencia en el proceso de desinfección con cloro pues incrementa su demanda en las plantas que practican el sistema de mantener un residual en las redes y forman con él, cloraminas que tienen menos efecto bactericida que el cloro puro. En casos en que exista en concentraciones altas su eliminación es fácil por medio de oxidación con cloro, pero esto viene a añadir un nuevo costo a los procesos.

En vista de que puede ser un índice de contaminación y por la influencia que tiene sobre el proceso de cloración la EPA recomienda que en fuentes de abastecimiento no exceda de 0.5 mg/l, cantidad que sin ser un número definitivo, puede considerarse como tolerable.

Arsénico: Es un metaloide que está en muchos sitios de la naturaleza y que puede ser aguda o crónicamente tóxico para el hombre. Como criterio de calidad la EPA considera que en vista de los efectos adversos que puede causar el arsénico en los humanos y en que hay información inadecuada sobre la efectividad de un tratamiento definido para la remoción de arsénico, recomienda que el contenido en fuentes de abastecimiento no debe exceder de 0.1 mg/l, cantidad que prácticamente ha demostrado no producir efectos nocivos. El Decreto 2115 del 2007 recomienda un valor máximo admisible de 0.01 mg/lts para aguas de consumo humano.

Aluminio:

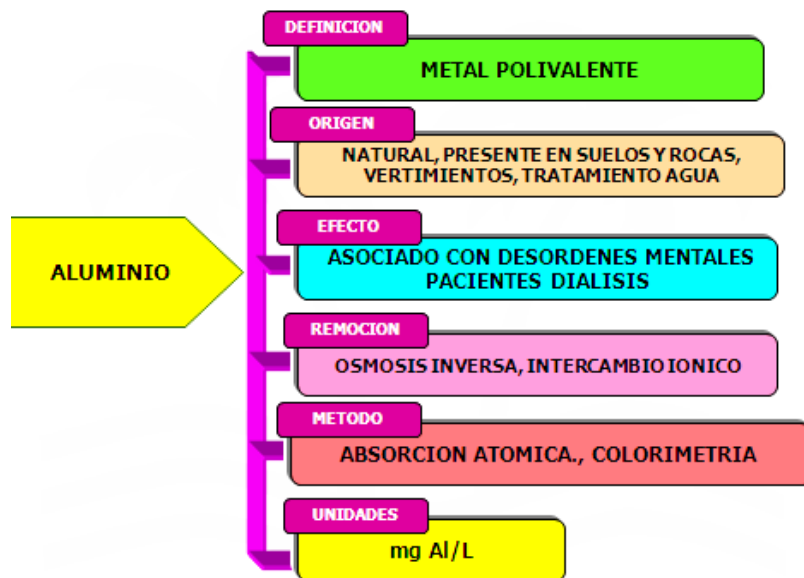


Figura 3.12 Aluminio

Fuente: ACODAL

Bario: Es un elemento altamente tóxico para el hombre y causa serios trastornos cardíacos, vasculares y nerviosos, considerándose fatal una dosis 0.8 a 0.9 gramos de cloruro de bario (550 a 600 mg de Ba); sin embargo los casos fatales se deben más bien a envenenamientos por productos que utilizan el bario como componente, (ejemplo: raticidas) que por aguas. En base a estas evidencias, y como un margen de seguridad, el Decreto 2115 del 2007 fijó a cantidad límite de 0.07 mg/l en las agua de uso humano.

Conductividad:

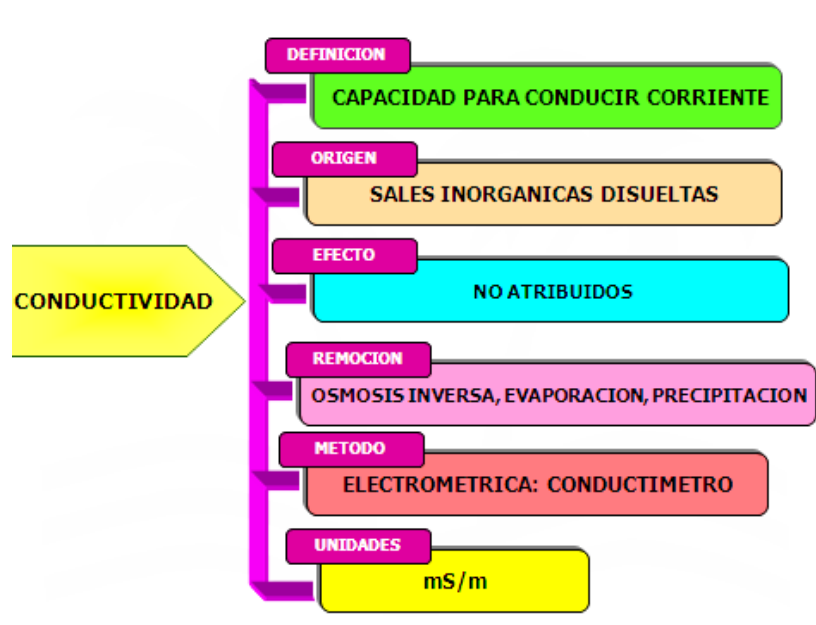


Figura 3.13 Conductividad

Fuente: ACODAL

Cadmio: Este elemento, desde el punto de vista biológico ni es esencial ni benéfico. Cuando se detecta en aguas, por regla general, se asocia con contaminación o filtración de plantas eléctricas o de galvanizado, en las que el cadmio es uno de los componentes. Es potencialmente tóxico y su ingestión tiene efectos acumulativos en el tejido del hígado y los riñones. El Decreto 2115 del 2007 recomienda establecer, como margen de seguridad, un límite máximo permisible de 0.003 mg/l en aguas destinadas a consumo humano.

Cloruros: Los cloruros constituyen, en su forma más común, cloruro de sodio o sal común, un compuesto de diaria ocurrencia en la dieta humana. De ahí que los límites que pueda fijarse en el agua se basen más en razones del gusto que le imparten al agua que por motivos de salubridad.

Por regla general las aguas superficiales no contienen cloruros en cantidades tan altas como para afectar sus condiciones de sabor, excepto en aquellas fuentes provenientes de terrenos salinos o de acuíferos con influencia de corrientes marinas.

La eliminación de los cloruros presenta métodos sofisticados que se apartan de los convencionales y que agregan costos adicionales muchas veces impracticables, especialmente cuando los caudales por tratar son moderadamente altos. El método tradicional que aparentemente puede resultar más eficiente y práctico es el de la destilación y actualmente se está trabajando en este campo, para lograr unidades que aprovechando la energía solar eliminan los cloruros eficientemente y a bajo costo; este sistema puede resultar especialmente útil en comunidades costeras cuya única fuente sea el agua del mar.

Más basado en funciones de sabor que en razones de índole fisiológica, se ha establecido un límite de 250 mg/l de cloruro (como Na Cl) en aguas de consumo, aunque este límite puede ser razonablemente excedido teniendo en cuenta condiciones locales, en las que por ejemplo, el

continuo uso de aguas con contenidos superiores al límite, han creado un hábito de gusto entre los consumidores.

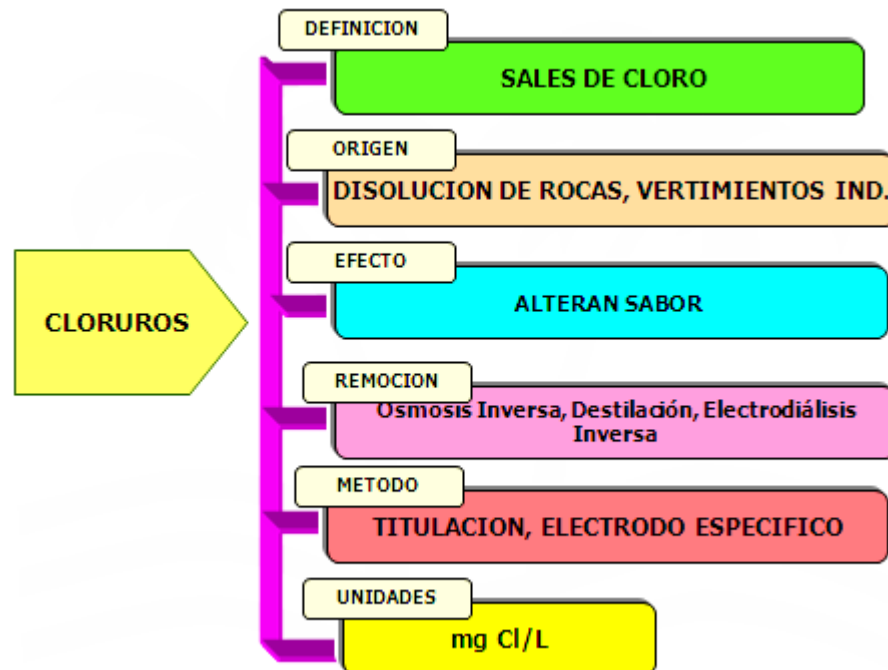


Figura 3.14 Cloruros

Fuente: ACODAL

Cromo: Es un elemento muy raro de encontrar en aguas naturales, siendo su presencia índice de contaminación, por desechos o filtraciones de establecimientos de cromado electrolíticos de artefactos, desperfectos en torres de enfriamiento o en equipos de aguas en los que el cromo se utiliza como enlucido y para control de la corrosión, también se encuentra en las descargas de curtiembres por utilizárselo en sus procesos. El cromo en estado hexavalente ha probado provocar tumores pulmonares cuando es inhalado, mientras que la forma trivalente no parece tener estos efectos nocivos.

La eliminación del cromo trivalente ha probado ser muy efectiva a escala de laboratorio usando la coagulación con alumbre o sulfato férrico, y en los sistemas de ablandamiento con cal. Por sus adversos efectos fisiológicos, el Decreto 2115 del 2007 recomienda como factor de seguridad, que el límite no exceda de 0.05 mg/l como cromo total en agua potable.

Cobre: Este elemento puede encontrarse en forma natural en las aguas pero es raro en concentraciones superiores a 1 mg/l. Se considera elemento benéfico para el metabolismo y su deficiencia se ha asociado con anemia nutricional de los niños. En ésta dosis generalmente no tiene efectos nocivos y en algunos sistemas se aplica el sulfato de cobre en dosis controladas que

no excedan esta cifra, como mecanismo para control de algas, pero a la vez favorece la corrosión del aluminio y el zinc y puede originar problemas de sabor.

Por consideraciones basadas principalmente en el factor sabor antes que en el de salubridad, se ha recomendado un límite de 1 mg/l de cobre en aguas destinadas al consumo humano.

Cianuro: Es un elemento tóxico para el hombre y se estima que una dosis de 50 – 60 mg puede ser fatal, pero si ésta es del orden de 10 mg o menos no es nociva; el cuerpo rápidamente lo convierte en tiocianatos, cuya forma es menos tóxica. La cloración llevada hasta obtener cloro residual, a pH neutro o ligeramente alcalino, reduce los niveles de cianuro por debajo de los límites propuestos como deletéreos. No es común encontrar cianuro en el agua natural. Se recomienda un contenido no mayor de 0.05 mg/l de cianuros libre y disociable en aguas destinadas a consumo público.

Dureza: Esta se define como la suma de los cationes polivalentes expresados como la cantidad equivalente de carbonato de calcio, entre los cuales los más comunes son los de calcio y magnesio. Se han postulado algunos conceptos sobre los efectos adversos o benéficos de la dureza sobre la salud, pero ninguno de ellos ha sido demostrado plenamente.

La dureza está ligada a otros parámetros como el pH y la alcalinidad, y dependiendo de ellos, puede formar depósitos en las tuberías y hasta obstruirlas completamente. Este fenómeno es particularmente nocivo en las aguas de alimentación de calderas, en que la formación de sedimentos se ve favorecida por la alta temperatura. Por otra parte, son frecuentes los reclamos de las amas de casa en caso de aguas duras porque esta agua consume más jabones y detergentes cuando se les usa en operación de lavado.

A escala industrial, cuando la presencia de dureza aun en cantidades pequeñas es objetable (como en el caso de las calderas), estas se pueden rebajar eficientemente mediante el uso de resinas de intercambio iónico (zeolitas); a escala de planta de purificación para abastecer una comunidad, como este proceso resultaría inadecuado y costoso, se puede rebajar a niveles aceptables por precipitación con cal, o con el proceso combinado cal – carbonato. Hay una consideración entre el contenido de dureza y el gusto particular de cada comunidad; en términos generales puede considerarse blanda un agua con menos de 100 mg/l (como CaCO_3), medianamente dura de 100 – 200 mg/l y de 200 a 300 se cataloga dura, sin que este efecto implique que un agua dura tenga necesariamente que ser ablandada para servir una comunidad.

Por esta razón se concluye que los niveles de dureza están basados en los gustos de cada localidad sin embargo se da un límite de 300 mg/l en la resolución 2115 de 2007 en aguas destinadas a consumo público.

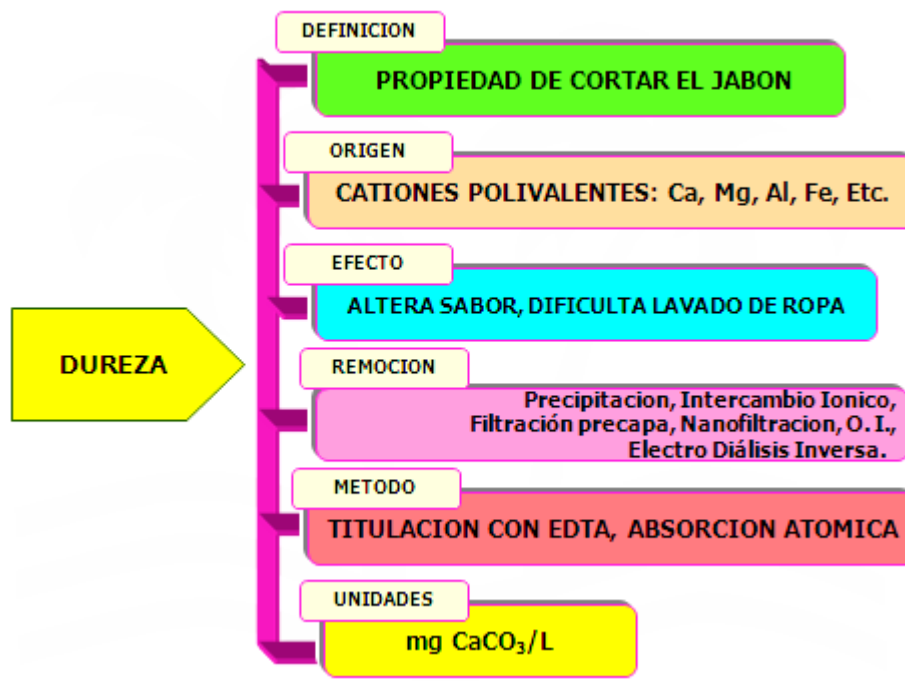


Figura 3.15 Dureza

Fuente: ACODAL

Fenoles: Estos se definen como los hidroxí derivados del benceno y su núcleo condensado; naturalmente no ocurren en las aguas y su presencia es relacionada con la contaminación de las fuentes por desechos industriales, aguas hervidas, fungicidas y pesticidas, hidrólisis y oxidación de pesticidas organofosforados, degradación bacteriológica de herbicidas del ácido fenoxialquílico, etc.

Aunque los fenoles afectan la calidad del agua en varias formas la principal tal vez es el efecto que cantidades muy pequeñas de compuestos fenólicos tienen sobre las condiciones organolépticas del agua de bebida; estas cifras generalmente se consideran en el orden de microgramos por litro.

Generalmente los compuestos fenólicos no son removidos eficientemente por los tratamientos convencionales, y si a esto se agrega que por regla común las aguas tratadas antes de ser distribuidas se someten a un proceso de desinfección por cloro, este forma con los fenoles clorofenoles que afectan el gusto y sabor del agua, fenómeno que desafortunadamente pasa desapercibido en la planta y solamente viene a aparecer en las conexiones domiciliarias.

En base que los fenoles afectan notoriamente las condiciones organolépticas del agua de bebida, se recomienda que el contenido de compuestos fenólicos no debe ser superior a 1 microgramo por litro.

Fosfatos: Son compuestos esenciales para toda forma de vida acuática y si se pretende controlar el crecimiento de plantas indeseables, esto se puede hacer limitando el contenido de fosfatos. Su presencia pues esta asociada con eutrofización de las aguas, problemas de crecimiento indeseable

de plantas en depósitos estáticos y acumulación de sedimentos y desarrollo desmedido de la vegetación acuática, etc.

Las concentraciones críticas de fósforo varían notoriamente en las aguas y se ven afectadas por factores como la turbiedad, que puede inhibir los efectos de la producción de algas en aguas con alto contenido de fósforo. Sin embargo, se ha llegado a evidenciar que concentraciones relativamente bajas de complejos fosforados afectan el proceso de coagulación.

No se puede establecer un límite debido a la complejidad entre la concentración de fosfatos en el agua, la productividad biológica y los problemas que se generan por olores y en el proceso de filtración, sin embargo el Decreto 2115 del 2007 establece una concentración máxima de 0.5 mg/lts para aguas de consumo humano

Fluoruro: Se ha llegado a comprobar que el contenido natural de flúor, dentro de ciertos límites, pues resulta benéfico en los niños que están desarrollando el esmalte dental pues la incorporación de éste ión en la apatita, sustancia que es el principal compuesto del esmalte, forma el compuesto flúor–apatita, que tiene propiedad de ser más resistente a los ácidos y protege así la dentadura contra la caries dental. Por otro parte si el contenido se excede de ciertos límites, el fenómeno de protección del esmalte prevalece pero el esmalte puede adquirir manchas permanentes que es lo que se conoce como “diente moteado”. Si el contenido es elevado y la ingestión es permanente y sistemática, se presenta la fluorosis (dientes manchados severamente) y otros fenómenos indeseables especialmente en las estructuras óseas. Cuando naturalmente los contenidos son elevados, estos se rebajan hasta límites muy bajos como una consecuencia derivada del proceso de ablandamiento con cal de la dureza debida al magnesio, o mediante un intercambio iónico en el cual se usan huesos largos de rumiante previamente calcinados (bone char) o alúmina activada como resinas de intercambio. Muchos países entre ellos Colombia han adoptado programas de adición de flúor en la sal de consumo como medida tendente a prevenir la incidencia de la caries dental. El Decreto 2115 del 2007 especifica un contenido de 1. mg/lts como valor máximo admisible para consumo humano.

Hierro: La presencia de hierro en las aguas no tiene efectos de salubridad, pero afecta el sabor, produce manchas indelebles sobre los artefactos sanitarios y la ropa blanca, y se depositan en las redes de distribución, causando a veces obstrucciones y alteraciones en la turbiedad y el color.

Se presenta en la forma ferrosa especialmente en aguas subterráneas pero puede ser oxidado relativamente con facilidad al ponerlo en contacto con el aire en sistemas sencillos de aireación; en la forma férrico se puede precipitar como hidróxido férrico mediante la adición de cal (conjuntamente con alumbre) mediante el proceso de floculación.

El límite que puede establecerse se basa no en razones de orden de salubridad sino de estética y detección del sabor; es sorprendente por ejemplo que ensayos hechos en éste campo, los gustos de las personas que participaron mostraron variaciones muy notorias, y mientras unas no detectaron concentraciones tan altas como 200 mg/l de hierro ferroso, otras describieron concentraciones muy bajas como “dulce astringente, amargo, clavo oxidado, orín”, etc.

En base a los gustos particulares de los usuarios en general y debido a que los tratamientos convencionales pueden efectivamente eliminar el hierro en estado férrico pero pueden no ser efectivos para eliminar el hierro soluble (Fe^{++}): El decreto 2115 del 2007 recomienda que el límite de 0.3 mg/l de hierro total no debe sobrepasarse para aguas destinadas al consumo humano.

Manganeso: Este elemento está muy frecuentemente asociado con el hierro y son raras las aguas que lo contienen en forma independiente. Se presenta por regla general en su estado reducido (Mn^{++}) y su disposición al aire lo lleva a óxidos hidratados mucho menos solubles.

Tienen prácticamente los mismo efectos que los del hierro y su eliminación generalmente se lleva conjuntamente con este, excepto en aquellos de contenidos altos de manganeso sin el asocio de hierro, para lo cual se hace necesario elevar el pH hasta cifras superiores a 10, en donde es satisfactoriamente removido. El decreto 2157 del 2007 establece como límite 0.1 mg/l

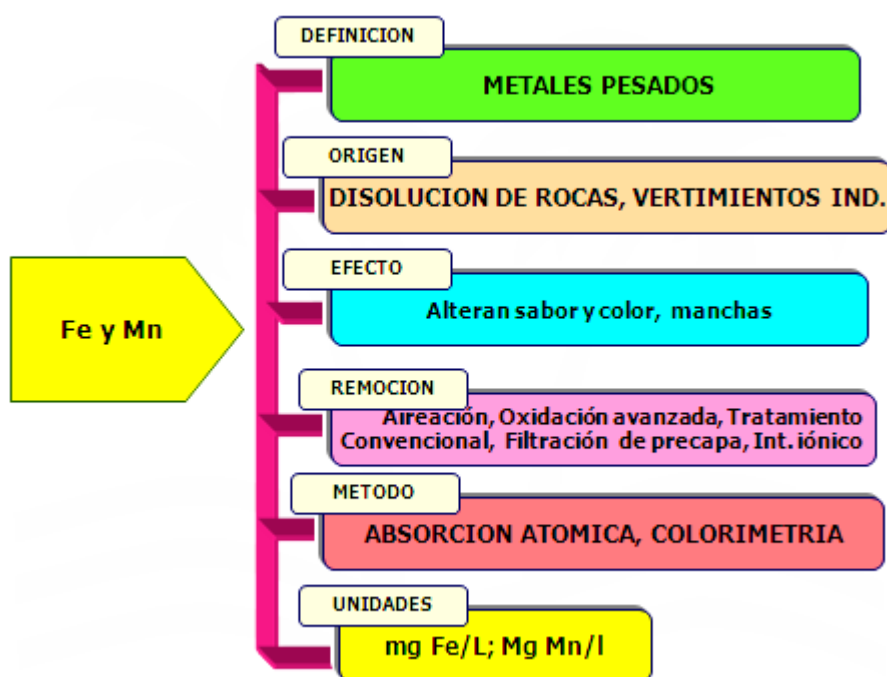


Figura 3.16 Hierro y Manganeseo

Fuente: ACODAL

Mercurio: Está distribuido indistintamente en el mundo. Debido al desarrollo en la industria y las ciencias agrícolas, la tendencia general de los contenidos de mercurio se han incrementado, por ejemplo con el uso de combustibles que provienen de los fósiles que se consideran una fuente adicional de polución para el agua, el aire y el suelo. En adición, las fuentes de mercurio para el hombre se aumentan con ciertos tipos de alimentos, entre los cuales el principal es el pescado.

El mercurio es tóxico para el hombre en las formas agudas y crónicas. Las sales mercuriosas son menos solubles en el tracto intestinal que las mercúricas, y por lo tanto son menos tóxicas. La dosis de mercurio que se considera fatal se estima entre 20 y 30 mg en forma mercúrica. Las afecciones crónicas por compuestos orgánicos mercuriales se asocian con exposiciones

industriales en donde han entrado estas formas por accidente o por contaminación. Estas se caracterizan por inflamación de la boca y encías, hinchazón de las glándulas salivales, salivación excesiva, flojedad de los dientes, calambres, temblores, espasmos, cambios de personalidad, depresión, irritabilidad y nerviosismo.

Las intoxicaciones agudas se caracterizan por náuseas, dolores abdominales, diarreas con sangre, lesiones renales y muerte en aproximadamente 10 días.

El carbón activado pulverizado aumenta los porcentajes de remoción si se usa conjuntamente con alumbre pero requeriría cantidades mayores que las usadas en el control de sabores y olores para obtener remociones que pudieran ser significativas. En términos generales se requiere 1 mg/l de carbón activado pulverizado por cada microgramo removido. El carbón granulado probó remover hasta el 80% del mercurio inicial (29 microgramos por litro) en un tiempo de contacto de 3.5 minutos con 25000 volúmenes de agua como lecho.

Teniendo en cuenta los efectos tóxicos ya que no se ha establecido tratamiento definido para la remoción de mercurio, el Decreto 2115 del 2007 recomienda no exceder el límite de 0.001 mg/l como mercurio total para aguas de consumo humano.

Nitratos: Su presencia no es extraña, especialmente en aguas de aljibes en comunidades rurales; en el año de 1945 Comly reportó por primera vez la asociación de una circunstancia normal en la sangre de niños llamada metahemoglobinemia con la ingestión de agua con un contenido de 10 mg/l de nitratos en NO_3 . El contenido de nitratos tiende a ser más alto cuando los aljibes se localizan en un área donde puedan recibir infiltraciones de establos o pozos sépticos. Sin embargo, no todos los niños que ingieren agua contenidos altos de nitratos 10 mg/l o más necesariamente desarrollan la enfermedad, a menos que naturalmente haya predisposición para ello; La edad es también importante porque raramente se presenta en niños de más de 3 meses de edad y mucho menos en adultos. Aunque la toxicidad relativa de los nitratos es bien conocida, un nivel para reconocer una dosis nociva es difícil de establecer; cuando se presentan en la forma de nitritos estos tienen mayor efecto que los nitratos, pero como generalmente en las aguas naturales no exceden de 1 mg/l y la oxidación con cloro los convierte en nitratos, el problema prácticamente queda solucionado.

Los métodos tradicionales de floculación y aún ablandamiento con cal no son efectivos para la remoción de nitratos, siendo el más efectivo el de resinas de intercambio iónico. Por sus adversos efectos sobre la salud de los lactantes y porque no se tienen procesos definitivos para su remoción, el contenido de nitratos en aguas de consumo público no debe exceder de 10 mg/l; puesto que los nitritos tienen un efecto tóxico superior a los nitratos, el contenido no debe exceder de 0.1 mg/l.

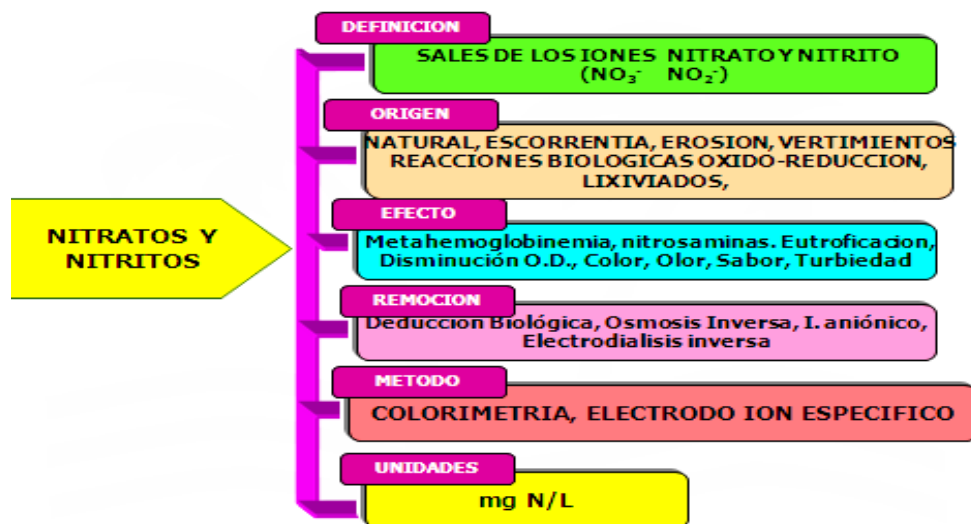


Figura 3.17 Nitratos y nitritos

Fuente: ACODAL

Oxígeno Disuelto: El oxígeno en el agua, proveniente de la absorción del que contiene el aire, es un elemento necesario para oxidar otros elementos contenidos en ella y contribuir a su eliminación posterior, como el caso del hierro, el manganeso y el amonio. Su ausencia en el agua, o niveles bajos, puede indicar contaminación elevada, condiciones sépticas de materia orgánica, y una actividad bacterial intensa, por lo cual, indirectamente se le puede considerar como un índice de detección de polución. Por otro lado, el oxígeno contribuye a la oxidación de los accesorios que componen un sistema de purificación, incluyendo las redes metálicas de distribución. A pesar de este factor adverso es preferible contar con un agua que contenga oxígeno en un punto cercano al de saturación.

Con estas consideraciones no se puede establecer una recomendación en cuanto al contenido ideal ya que hay aspectos positivos y negativos. Sin embargo, si el agua contiene hierro, manganeso o amonio en forma reducida, se obtiene más ventajas que desventajas manteniendo el contenido del oxígeno disuelto en el punto o cerca del punto de saturación.

Pesticidas: Bajo este nombre genérico se agrupan los muchos compuestos orgánicos que se usan con variados propósitos en el campo agrícola: control de plagas, matamalezas, herbicidas, etc. Entre estos productos se puede mencionar como los más comunes, los hidrocarburos clorados, carbamatos, organofosforados, y clorofenolados. Aunque se usan en fines agrícolas con un sano propósito, han llegado a generar problemas mayores en la ecología y en el mismo medio ambiente.

El efecto de los pesticidas sobre la salud humana difiere dependiendo de su naturaleza química pues mientras unos se acumulan en los tejidos, otros son metabolizados. Por esta razón y porque en el campo de la bioquímica el efecto de estos compuestos todavía no ha sido plenamente investigado, se considera en el agua en grupos separados, dependiendo de su origen químico inicial (ejemplo: insecticidas de hidrocarburos clorados y herbicidas clorofenolados). Los métodos para la remoción de los pesticidas en las aguas están todavía en la fase experimental, pero parece ser que la aplicación de carbón activado puede reducir notoriamente el contenido de alguno de ellos.

Pero la detención de éstos compuestos requiere equipos sofisticados de análisis y personal altamente calificado, por lo cual no se llevan controles de estos sino en grandes ciudades que pueden contar con infraestructuras diseñadas para el efecto.

pH: El pH del agua cruda es importante porque va a tener efectos sobre los procesos de tratamiento y a contribuir a fenómenos como la corrosión. En el agua de consumo no se puede decir que tiene efectos sobre la salud pero afecta procesos tan importantes como la desinfección con cloro y se liga a fenómenos tanto de corrosión como de incrustación de las redes de distribución.

El factor pH en una fuente, cruda o tratada, es muy fácil de controlar a nivel de una planta que suministre a una comunidad agua destinada a usos domésticos generales, incluyendo consumo humano. Generalmente las aguas naturales exhiben un pH por debajo del punto neutro (7.0) y esto hace más fácil que mediante la adición de un álcali primario (en su forma más común, cal) el pH se lleve hasta el límite esperado para conseguir los niveles óptimos de floculación. Posteriormente, cuando por efecto de la adición de un coagulante se destruye parte de la alcalinidad para formar un flóculo y el pH desciende, es también relativamente fácil volverlo a llevar (mediante la adición de un álcali secundario) hasta los niveles en que el agua tratada sin tener características corrosivas tampoco tenga las de incrustante. En este proceso debe tener importancia el criterio de la autoridad que así lo decida, pues las aguas corrosivas no tienen incidencia sobre la salud pero deterioran las redes, las incrustantes tampoco desde el punto de vista de salubridad pero afectan la capacidad de transporte de las mismas si el proceso no es controlado adecuadamente.

Se entiende entonces que el factor pH no es tan importante desde el punto de vista de salud como es el de economía y por ser de fácil control. El pH en las aguas crudas puede estar entre 5.0 hasta 9.0 y en aguas tratadas según el decreto 2115 del 2007 entre 6.5 y 9.0

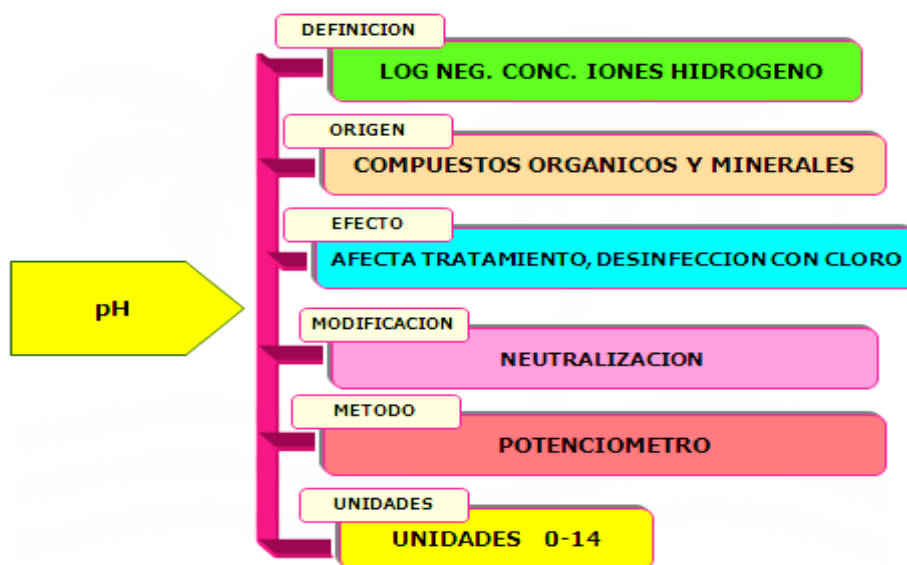


Figura 3.18 pH

Fuente: ACODAL

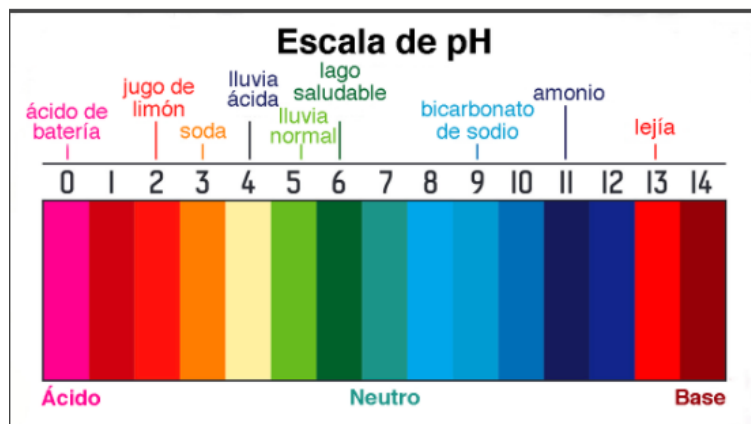


Fig. 16 La escala de pH, mostrando algunas soluciones acuosas típicas. Wikimedia Commons

Plomo: El plomo puede provocar en el hombre intoxicaciones agudas o crónicas y por el avance de la tecnología se está actualmente más expuesto a su contaminación por vía de los alimentos, el aire o el agua.

Las cantidades que pueden encontrarse en fuentes naturales varían notoriamente y pueden estar entre cifras tan pequeñas como trazas hasta cantidades que superan los límites establecidos. El contacto prolongado de aguas ácidas y suaves con tuberías o accesorios de plomo puede contribuir a incrementar notoriamente el contenido de este.

La remoción de este elemento es muy efectiva pues los hidróxidos y carbonatos de plomo son muy insolubles y estos se pueden formar durante los procesos convencionales de floculación o ablandamiento con cal; los porcentajes de remoción pueden llegar hasta el 98%.

Ya que la exposición al plomo es tan de común ocurrencia, porque hay que tener en consideración el peligro potencial que representa por ejemplo cierto tipo de pintura doméstica, los límites para el plomo deben ser mantenidos a niveles bajos en el agua.

En vista de la toxicidad de este elemento, el Decreto 2115 del 2007 recomienda que el límite de 0.01 mg/l no debe excederse en las aguas destinadas al consumo humano.

Selenio: Los efectos del selenio son similares a los del arsénico y como los de este, pueden ser agudos o crónicos y llegar a ser fatales.

El selenio se encuentra en el agua con valencia +4 (selenitos) y con valencia +6 (selenatos). Ambas formas son muy estables e independientes una de la otra. Hay que recalcar que los métodos tradicionales de análisis determinan el selenio total pero no hacen una distinción entre una y la otra. Debido a esta estabilidad, las características de oxidación – reducción en el agua cruda tienen muy poco efecto para hacer variar la forma.

Debido a que los métodos tradicionales de tratamiento han demostrado tener un efecto moderado en la remoción del selenio y a que este elemento ha probado tener efectos nocivos sobre la salud, el Decreto 1575 del 2007 recomienda que el límite de 0.01 mg/l no debe sobrepasarse en las aguas destinadas a consumo humano.

Sulfatos: Las aguas no tienen altos contenidos de sulfatos, cuando estos están presentes en cantidades apreciables pueden tener efectos sobre el sabor y actuar como laxantes, especialmente en los consumidores que no están habituados a aguas de estas condiciones. Su remoción puede resultar costosa y requerir de métodos sofisticados para lograrlo por lo cual es preferible elegir fuentes naturales con contenidos de sulfatos por debajo de los límites aconsejados.

Por sus efectos laxantes, su influencia sobre el sabor, y por que no hay métodos definidos para su remoción, el Decreto 1215 del 2007 recomienda que el límite de 250 mg/l no debe excederse en aguas destinadas a consumo humano.

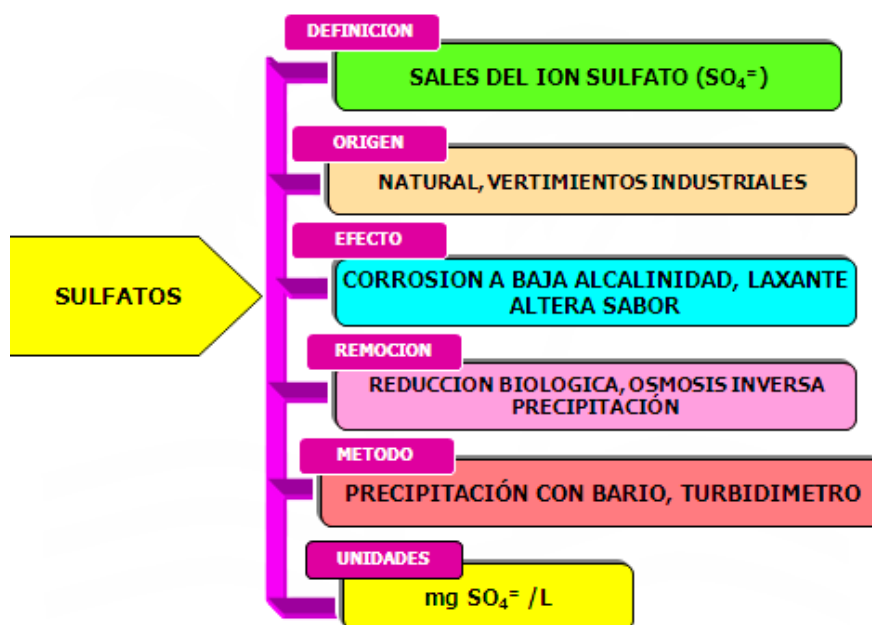


Figura 3.19 Sulfatos

Fuente: ACODAL

Zinc: Este elemento es esencial y benéfico para el metabolismo humano pues la actividad de la insulina y de muchas enzimas depende de él. La salubridad del zinc es variable y depende del pH y de la alcalinidad; en el agua proviene generalmente del contacto con accesorios y estructuras galvanizadas o de bronce.

Diferentes estudios hechos han demostrado que no tiene efectos sobre la salud en concentraciones tan altas como 40 mg/l, pero como tiene un marcado efecto sobre el sabor, su contenido debe limitarse a 3 mg/l recomendado por el Decreto 2115 del 2007, para agua destinada a consumo humano.

Sustancias orgánicas:

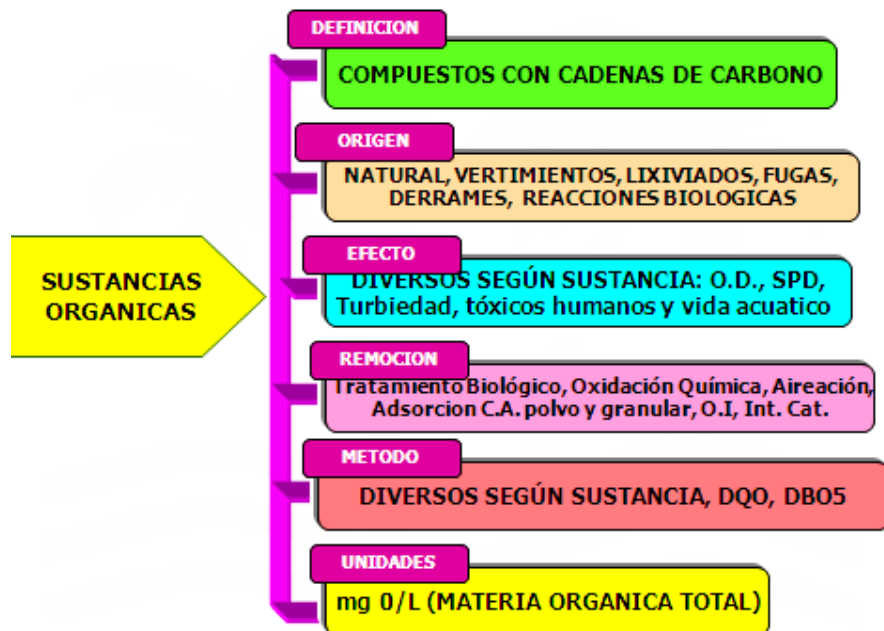


Figura 3.20 Sustancias orgánicas

Fuente: ACODAL

SPD : Subproductos de la desinfección: trihalometanos(THMs), ácido haloacético (HAAs)

Pesticidas y herbicidas:

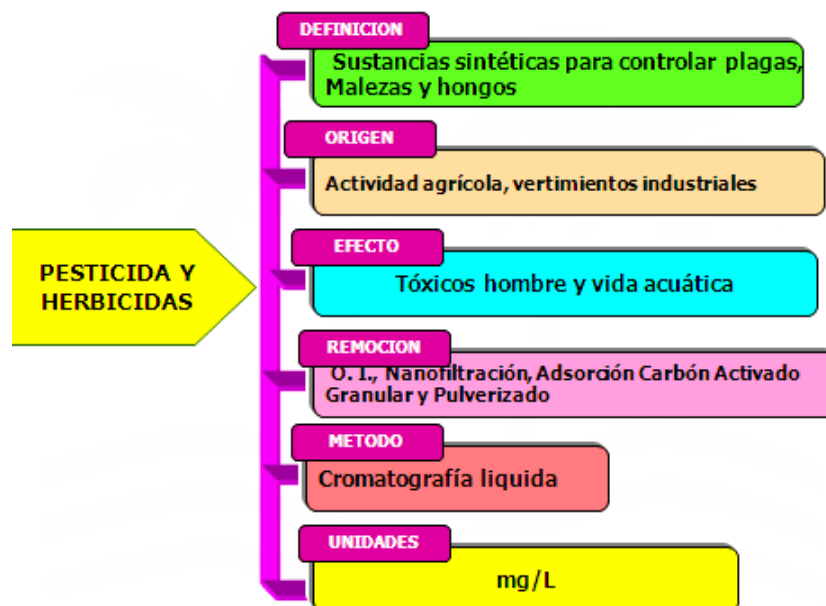


Figura 3.21 Pesticidas y herbicidas

Fuente: ACODAL

Gases disueltos:

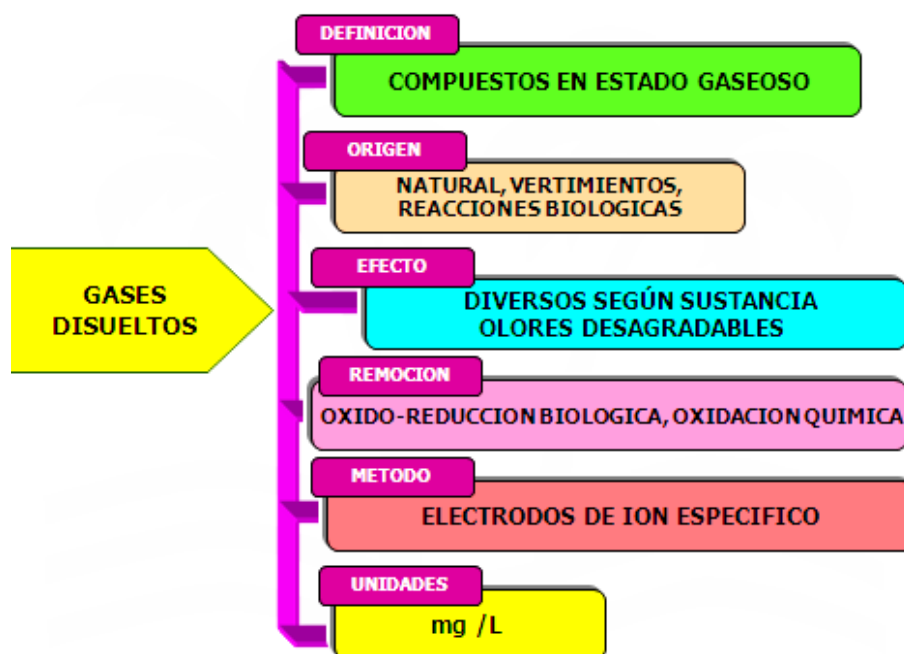


Figura 3.22 Gases disueltos

Fuente: ACODAL

Trihalometanos: La aplicación de cloro como desinfectante hecha en presencia de color orgánico, originado por los ácidos húmicos particularmente puede dar origen a los trihalometanos, los más comunes en las aguas potables son el cloroformo, el bromoformo, que se producen por la reacción del cloro con los siguientes elementos orgánicos: Plantas: ácidos fúlvicos y húmicos productores de color productos de la degradación de la materia orgánica. Algas: Biomasa de algas, aminoácidos y pirimidinas. Hombre: desechos industriales (fenoles).

A los anteriores compuestos se los llama precursores, de forma que la reacción se establece de la siguiente manera



Compuestos que han tenido efectos cancerígenos en animales dependiendo de factores tales como el tiempo de contacto, el pH del agua, el contenido de ácido húmico del agua, temperatura. Esta situación ocurre en cualquier planta de tratamiento en la cual se practique la cloración y exista la presencia de materia orgánica natural en forma de Humus. Sin embargo esta reacción no es instantánea sino que se desarrolla lentamente mientras el cloro residual o los ácidos húmicos se hayan agotado completamente, por lo que la concentración de trihalometanos aumenta desde la planta hasta el punto de utilización por el consumidor. Es por esto que es importante definir la clase de color que llega a la planta y la posible formación de aquellos. Por esta razón es recomendable

en estos casos la desinfección como postcloración, debido a que en los procesos precedentes se logra una muy significativa remoción de color orgánico.

En el caso de que el agua afluente a la planta requiera oxidación previa antes de los procesos de clarificación se recomienda remplazar la precloración por adición de permanganato de potasio o peróxido de hidrógeno. Otra alternativa posible es realizar la precloración, agregar a continuación carbón activado para adsorber los compuestos organoclorados y adicionar posteriormente a la clarificación cloro y amoníaco permitiendo un tiempo de contacto del orden de 10 minutos, esto es efectuando una cloraminación. El Decreto 2115 del 2007 establece como valor admisible máximo 0.2 mg/lts de trihalometanos totales para aguas de consumo humano.

3.1.4. ANÁLISIS

La determinación en el laboratorio de cada uno de los parámetros físicos y químicos aquí descritos, pueden completarse siguiendo los métodos particulares detallados en diferentes publicaciones.

Como primer texto de consulta se aconseja el Standard Methods for the Analysis of Water and Sewage, publicado por la AWWA por ser este el más completo y el más actualizado de todos los que resumen los análisis para cada uno de los parámetros y que han probado su exactitud hasta el punto de poder ser tomados como oficiales, esto es, tienen vigencia en todo el mundo. También a nivel nacional se aconseja la Norma Técnica Colombiana NTC que resume los principales aspectos del Standard Methods.

En la figura 3.23 se detallan los principales análisis para la determinación de la materia orgánica

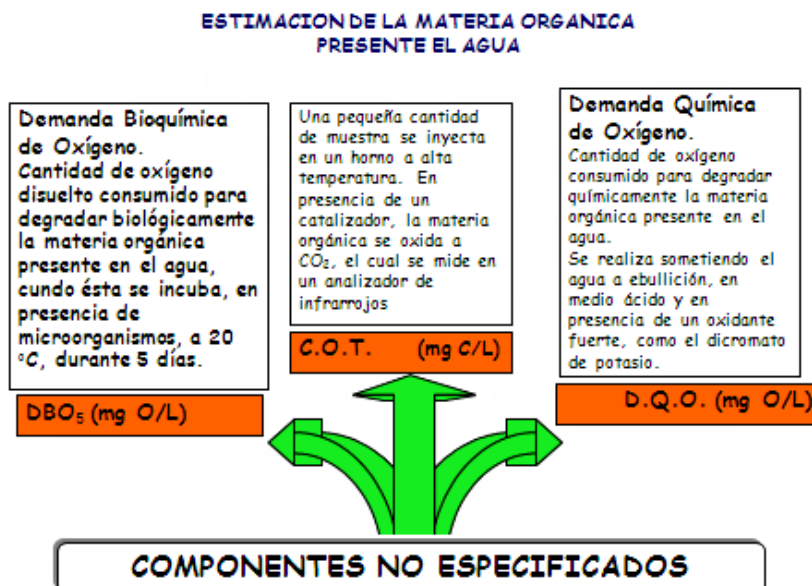


Figura 3.23 Estimación de la materia orgánica

Fuente: ACODAL



Fuente: <https://www.google.com/search?q=Eterminacion+dbo+dqo&sxsrf=ALeKk00nrGzJu>

Figura Equipo para determinacion de DBO y DQO

3.1.5 INFLUENCIA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS

La mayoría de las veces los tratamientos que se dan a un agua en las plantas de purificación, están enfocadas hacia la eliminación parcial o completa de los componentes que ocasionan las condiciones físicas como turbiedad, color, olor, y sabor, puesto que la temperatura es un aspecto que en muy contados casos tiene que ser controlada; aparte también por regla general los tratamientos se enfocan en rebajar los contenidos de hierro, manganeso y dureza, a la eliminación de la materia orgánica, a la estabilización del pH para corregir los fenómenos de corrosividad o incrustaciones, a la eliminación de los organismos por medio de un agente desinfectante y en algunos casos a la adición de una sal fluorada para el control masivo de la incidencia de la caries dental. Todos estos procesos conllevan al estudio de las posibles fuentes de abastecimiento y los procesos de tratamiento más adecuados; posteriormente el diseño, construcción, operación y mantenimiento de todas las instalaciones y los costos que los procesos técnicos, administrativos y operacionales requieren. Quiere esto decir que el aspecto económico juega un papel muy importante en la determinación del grado de tratamiento que una fuente necesita y de la clase de infraestructura sanitaria de que se dispone.

Se debe tomar como principio básico que un sistema de abastecimiento de agua cumplirá más fácilmente con los requisitos que le puedan ser exigidos si cuenta en principio con una buena fuente de abastecimiento.

Puede pensarse entonces que las fuentes subterráneas ofrecen características ventajosas para ser utilizadas en abastecimientos de comunidades, especialmente aquellas que no necesitan de caudales apreciables, la natural filtración en los acuíferos puede ser ventajosa ya que se eliminan las altas turbiedades y además no están, por regla general, expuestas a bruscos cambios en las condiciones físicas o químicas que son las que básicamente generan los mayores costos en el tratamiento por el alto consumo de coagulantes, alcalinizantes, etc.

Comparadas con las fuentes superficiales, un buen sistema abastecido por una fuente subterránea cuesta mucho menos en términos de tratamiento, monitores, operación y mantenimiento. Sin embargo, los sistemas de pozos deben ser desarrollados adecuadamente con el propósito de prevenir su contaminación, y lograr su máximo rendimiento.

A pesar del tipo de fuentes que se use, subterránea o superficial, es muy importante tener en cuenta la localización de las posibles fuentes de contaminación y esto no aplica particularmente a

fuentes superficiales sino a las subterráneas, en donde es importante determinar la existencia de lagunas de oxidación o rellenos sanitarios, por ejemplo, que pueden afectar de pronto la calidad de los acuíferos.

En las aguas superficiales se deben así mismo investigar las posibles fuentes de contaminación, algunas de ellas aparentemente sin importancia en algunas épocas, pero que en otras presentan graves deterioros en la calidad; como ejemplo se pueden citar las contaminaciones que sufren algunas fuentes por mucílago vegetal durante la época de cosecha y beneficio del café en ciertas zonas en que este cultivo está generalizado, o las cargas anormalmente altas de pesticidas y nitratos de algunas fuentes durante la época de cultivos agrícolas como el algodón.

Como criterio general se debe considerar dos tipos de tratamiento sea cual fuere la calidad de la fuente que se use:

- Desinfección
- Filtración en toda fuente superficial.

El primer tratamiento (cloración) aparentemente es el más fácil de cumplir, y es por ello que en las diferentes conferencias internacionales en que el tema del abastecimiento del agua es relacionado con la salud de los consumidores, se ha hecho especial énfasis en que en principio toda fuente que sea destinada al uso público general debe al menos contar con el sistema de desinfección.

El segundo tratamiento recomendado se puede cumplir y llevar a cabo porque este conlleva efectuar procesos preparatorios con adición de coagulantes y/o alcalinizantes, mezcla rápida, floculación mecánica y sedimentación, las cuales necesariamente requieren de instalaciones y equipos apropiados, que incrementan los costos iniciales. Ha sido práctica en Colombia, por ejemplo y debido únicamente al factor de disponibilidad de recursos, hacer los procesos de tratamiento por etapas, esto es, como tratamiento inicial se recurre a la cloración y posteriormente se van adicionando otras etapas, siendo las principales mezcla rápida, floculación química y sedimentación pero sin adicionar los filtros, que son materia de una etapa posterior. Con este sistema, aunque no se estén cumpliendo las recomendaciones que se han sugerido para aguas superficiales, se ha mejorado notoriamente la calidad estética y sanitaria de muchas ciudades, pues como se ha explicado anteriormente, el proceso de floculación química y sedimentación, pueden llegar a eliminar las impurezas presentes hasta cifras del orden del 95%.

Otro aspecto que reviste gran importancia y que debe ser tomado en consideración, cuando se proyecte un sistema de purificación de aguas, y que es independiente de la calidad de la fuente utilizada, es relativo a la operación y mantenimiento del mismo; muy frecuentemente un sistema que aparece como ideal en los proyectos, resulta inoperante en la práctica y se convierte en un verdadero lastre para la comunidad por una inadecuada operación y mantenimiento debido a la falta de personal idóneo y capacitado para operarlo técnica y económicamente, y a la ausencia de catálogos, manuales e instructivos de operación. En muchos casos los esfuerzos financieros que se hicieron para construir un sistema se ven perdidos por este factor.

Para la selección de un tratamiento adecuado se deben tomar en cuenta muchos factores, entre los cuales los financieros y la fuente de captación son los principales.

Un aspecto que debe tenerse en cuenta en los procesos de tratamiento por su impacto sobre las fuentes receptoras es el manejo de lodos, el cual es parte integrante del sistema de potabilización

y por ende tiene incidencia en los costos de diseño, operación y mantenimiento del sistema. Además deberá preverse las áreas específicas para esta infraestructura.

Para que se tenga una idea de lo que pueden ser los procesos, en una fuente se deben considerar: contaminantes inorgánicos, contaminantes orgánicos, contaminantes biológicos, contaminantes radiológicos, puesto que cada tipo exige tratamiento y técnicas diferentes para su eliminación completa o para llevarlos a cifras aceptables.

Contaminantes inorgánicos: Este es el grupo que más dificultades puede presentar ya que los métodos convencionales de tratamiento pueden no ser efectivos para la remoción de algunos de ellos y en algunos casos, como factor de seguridad, es más recomendable buscar fuentes alternas que no los contengan. Sin embargo, afortunadamente los contaminantes inorgánicos que afectan la salud generalmente no están naturalmente presentes en las aguas por encima de los niveles máximos de contaminación y cuando los sobrepasan, generalmente se debe a contaminaciones de origen industrial o por causas conocidas y de fácil control, como por ejemplo, inorgánicos deletéreos, como se expuso anteriormente, su estado de valencia y el pH se presentan como factores críticos que si no son tenidos en cuenta a nivel de planta pueden hacer fracasar el método de eliminación.

Contaminantes orgánicos: Por regla general pueden ser controlados mediante la adición de carbón activado pulverizado o el uso de carbón activado granular dispuestos sobre los lechos de los filtros, pero esto representan costos adicionales de tratamiento y un mayor control en los procesos de análisis. Se debe así mismo pensar que los plaguicidas que se mencionan en las "Normas" están representando a más de 500 compuestos inorgánicos que han sido detectados en las aguas de bebida y que provienen de contaminaciones por aguas industriales o domésticas, escorrentías de aguas rurales y urbanas, o de descomposición de material animal o vegetal; como se expuso, la descomposición de cierta materia vegetal genera ácidos húmicos que en combinación con el cloro usado en la desinfección da origen a la formación de trihalometanos, compuestos que están siendo asociados a la aparición de cáncer en animales de experimentación.

En casos en que se sospeche la presencia de compuestos que puedan descomponerse en trihalometanos, el sistema de cloración deberá localizarse en otro punto o deberá cambiarse a otro agente desinfectante no halógeno como el ozono.

Contaminantes biológicos: Los métodos para eliminar los contaminantes biológicos han sido experimentados y se conocen desde hace mucho tiempo, de ahí que con este grupo no existan mayores dificultades para su eliminación y para que las aguas de consumo cumplan con las normas que las autoridades sanitarias exijan. Sin embargo, al escoger el agente desinfectante debe ligarse a muchos factores, como calidad del agua cruda, el caudal por tratar; pero lo que sí es esencial es que toda agua que se destine al consumo humano debe estar desinfectada.

El uso del cloro como agente desinfectante, por su relativo bajo costo y aún facilidad de aplicación, se ha generalizado muchísimo y aún la práctica de obtener un residual a todo largo de la red es universalmente aceptada con un agua sanitariamente reconocida y mantener los problemas de formación de olores y sabores reducidos a un mínimo. Como una regla de oro se debe mantener en mente que la desinfección es un proceso esencial y que este es más efectivo al aplicarse a un agua de mejor calidad posible.

Contaminantes radiológicos: Se debe considerar dos tipos de contaminaciones radiológicas: las naturales y las provocadas por el hombre.

Los radionúcleos naturales (emisores alfa) es un nucleido radiactivo inestable y que por lo tanto degenera emitiendo radiaciones ionizantes. Este proceso radiactivo ocurre en principio de manera

espontánea, pero el ser humano ha aprendido a provocarlo de manera artificial. Ocurre algunas veces en aguas subterráneas, pero el tratamiento con cal-soda empleado para ablandamiento es suficiente para eliminarlos, como también la ósmosis inversa. Los radionúcleos artificiales (emisores beta y gama) son el producto de residuos de plantas atómicas o de fallas en el control de las mismas, y por lo tanto son fácilmente controlables ejerciendo una vigilancia permanente sobre las mismas, ya que para su eliminación se requieren estudios particulares para cada caso.

En Colombia las contaminaciones naturales han pasado prácticamente desapercibidas por ser un campo que aún no se ha explorado y las de origen humano no presentan ningún problema por no contar el país con instalaciones que puedan generar residuos radioactivos en cantidades como para producir situaciones de emergencia.

Con base a las consideraciones que se han hecho referentes a la calidad de las posibles fuentes, a los diferentes grupos de contaminantes y a los posibles métodos que pueden emplearse en su tratamiento, se diseña el sistema de tratamiento que se ciña no solamente a los recursos disponibles sino a las necesidades de la población y que cumplan en la mejor forma todas las especificaciones que para agua potable tenga cada país. Lo ideal sería que existiera una sola norma única universal, y que todas las aguas cumplieran estrictamente todos y cada uno de los parámetros estipulados, pero la infraestructura sanitaria de cada país, sus propias condiciones ambientales, sus costumbres, su propia geografía que determina la calidad de sus fuentes, su estándar de vida, en fin, un cúmulo de condiciones y situaciones hacen que dé una norma básica y de experiencias locales rehagan normas propias.

3.2 CARACTERISTICAS MICROBIOLOGICAS DE LAS AGUAS

3.2.1 EL AGUA COMO MEDIO ECOLÓGICO.

La característica fundamental que distingue a los seres vivos de los seres del reino mineral reside en la relación íntima y obligatoria que aquellos mantienen con el medio que los rodea. Si se trata de organismos y las características del medio, la población acuática varía sensiblemente con la composición del agua. Las características del agua que afectan las cualidades de esa población pueden ser de naturaleza física, como por ejemplo el color del agua, la tensión superficial, etc., o química como la cantidad de sales minerales y gases disueltos.

3.2.2 CLASIFICACION DE LOS MICROORGANISMOS.

Existen dificultades en clasificar los microorganismos ya que éstos carecen de características morfológicas definidas y de mecanismos sexuales de reproducción que son utilizados para su clasificación por las ciencias botánicas y zoológicas. Para obviar esta dificultad Haeckel, Zoólogo Alemán propuso el reino de los protistas en el cual se incluyen como más representativos las bacterias, las algas, los hongos y los protozoos. Atendiendo a su estructura celular, se ha considerado la siguiente clasificación:

- Protistas inferiores o procarióticos
- Protistas superiores o eucarióticos

Protistas inferiores. La unidad es la célula procariótica, de tamaño inferior a 5 micrones. No posee núcleo definido ni realiza mitosis. Tiene un solo cromosoma, su citoplasma es muy simple y su estructura no está definida en lo que respecta a respiración, producción de enzimas, transporte de sus productos metabólicos y la pigmentación fotosintética. Pertenece a este grupo: las bacterias y las algas verde-azules. Protistas superiores: Incluyen los hongos, los protozoos y las algas excepto las verde azuladas. La figura 3.1 muestra las principales formas de vida, incluyendo los animales y las plantas.

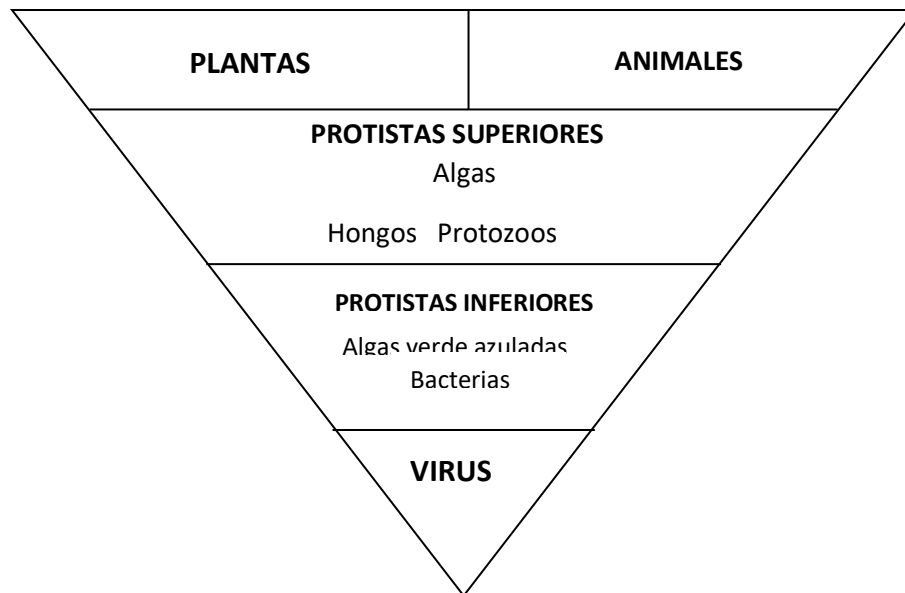


Figura 3.24 Principales formas de vida

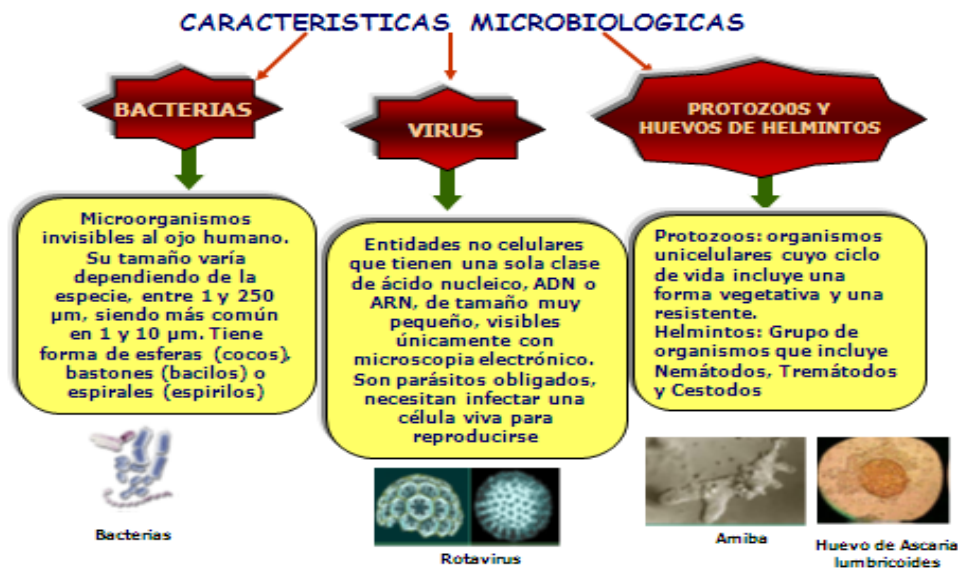


Figura 3.25 Características Microbiológicas

Fuente: ACODAL

3.2.3. PROBLEMAS CAUSADOS POR LOS ORGANISMOS EN LOS ABASTECIMIENTOS DE AGUA

El establecimiento de criterios para la determinación de la potabilidad de las aguas constituye un problema antiguo para el hombre.

El criterio bacteriológico no basta para la clasificación de un agua. Es indispensable el análisis físico químico, para ver la calidad. Otro factor para clasificar un agua es el análisis hidrobiológico, lo cual nos proporciona el tipo de organismo que puede afectar la potabilidad de un agua. Entre los principales factores que hacen al agua inadecuada tenemos los microorganismos parásitos (bacterias, virus, protozoarios, helmintos), elementos tóxicos, de gusto y olor desagradable; color y turbidez, elementos corrosivos, incrustaciones, etc.

3.2.3.1 Parasitismo.

El parásito es un organismo que se nutre a expensas de un huésped vivo, vegetal o animal siendo algunos de ellos patógenos. Entre los microorganismos patógenos al hombre tenemos a las bacterias, virus, protozoarios y a los helmintos. Entre los organismos que han sido considerados como causantes de brotes de enfermedades relacionados con la vía hídrica están:

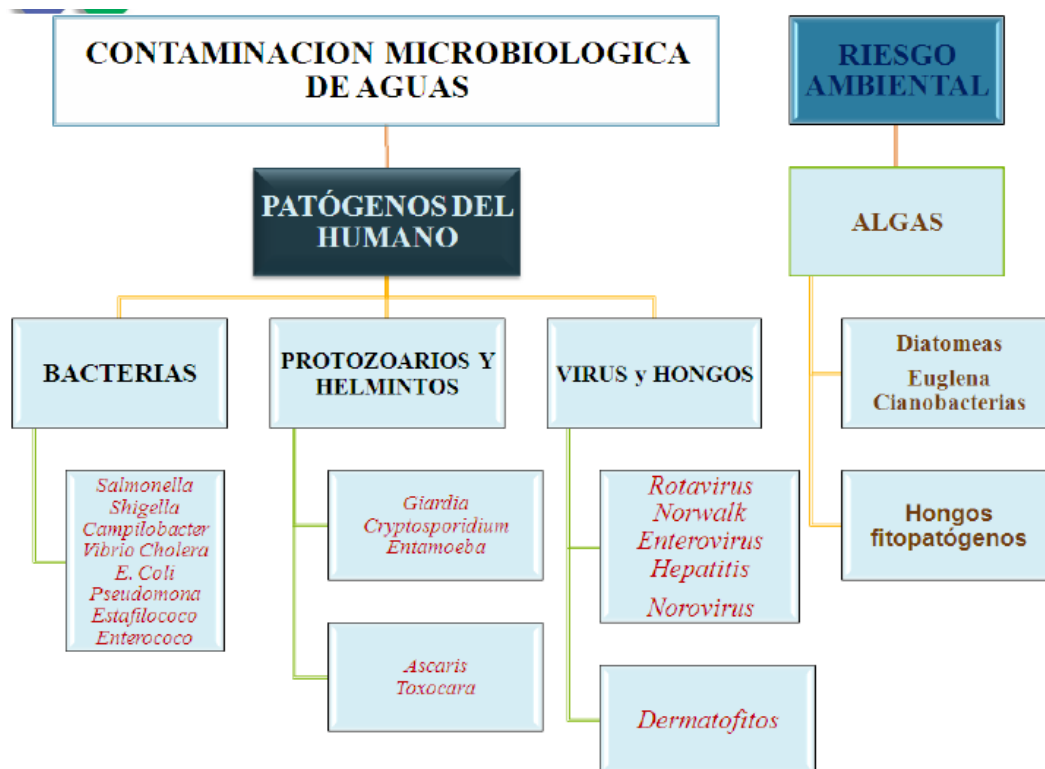


Figura xxx Contaminación microbiológica de las aguas (Fuente ACODAL)

a) Bacterias.

Según la forma las bacterias se clasifican en:

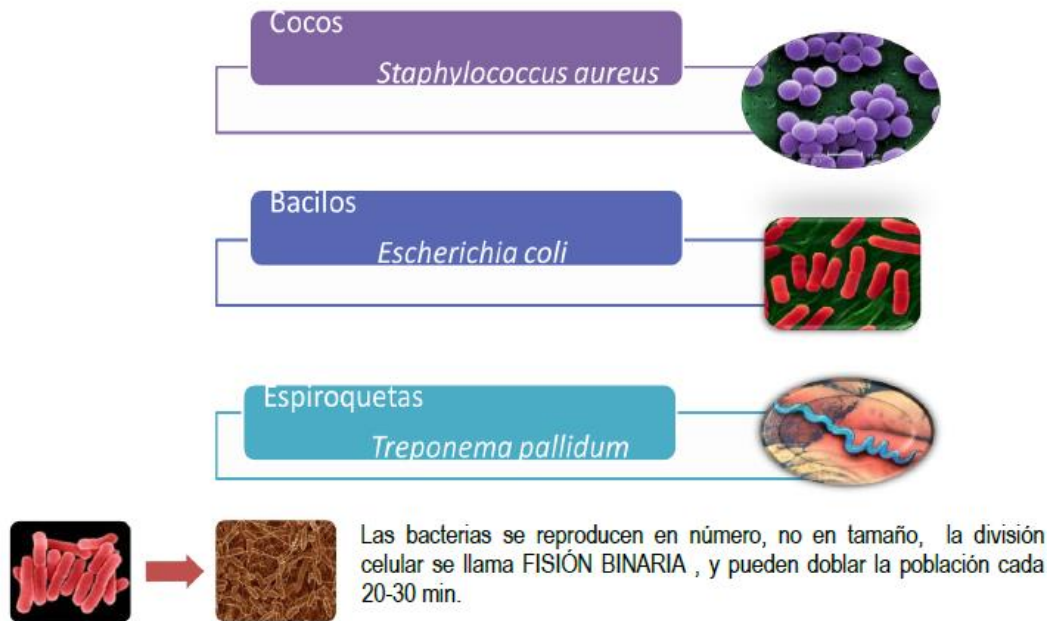


Figura XXX Clasificación de las bacterias (fuente ACODAL)

Son los organismos microscópicos monocelulares. Entre las bacterias del tipo patógeno, la más común es la salmonella. La infección bacteriana generalizada del hombre es la fiebre paratifoidea y los agentes que causan esta infección son: *Salmonella paratyphi*, A, B, C, Patógeno del hombre.

La fiebre tifoidea es una infección sistémica con una tasa de mortalidad del 10%. El agente infeccioso de la fiebre tifoidea es *Salmonella typhi*, las fuentes de infección son las heces y, en menor grado la orina de las personas infectadas. Se ha atribuido la infección a un cierto número de vehículos, entre ellos la leche, el agua, las frutas, verduras crudas, los productos lácteos.

La disentería bacilar es una infección bacteriana aguda del intestino y de las causas más importantes de fallecimientos entre las personas muy jóvenes y entre los ancianos debilitados. Los agentes infecciosos son las diversas especies del género *shigella*,

El Bacilo de Koch responsable de la tuberculosis en todas sus formas está presente en aguas residuales de los sanatorios, para su destrucción se necesita un exceso de cloro de más de 1 mg/l.

El vibrón cólico, que se presenta en la forma de bastoncillos arqueados, flagelados y móviles es la causa de terribles epidemias de cólera.

Las infecciones de *Escherichia coli* atacan con mayor frecuencia a los niños menores de un año. La relación de enfermedades diarreicas y las defunciones de los niños menores de un año es tan importante que necesita especial atención.

El hombre es el reservorio de la infección y las heces de las personas infectadas, son la fuente de los organismos que infectan a otros. Se ha considerado como vehículos de transmisión a los alimentos y la leche contaminada. Son raros los casos de brotes infecciosos que hayan tenido su origen en el agua. Además de la transmisión en el agua, la falta de ella juega un papel importante en el contagio de la disentería bacilar de persona a persona.

b) Virus.

Son la más pequeña estructura biológica que contiene toda la información para su reproducción. Están constituidos por la asociación de un ácido nucleico y una proteína. Son parásitos obligados y producen enfermedades como la hepatitis infecciosa la cual es aguda y de carácter benigno. El reservorio de esta enfermedad es el hombre y las fuentes de infección son las heces y la sangre de las personas infectadas. Otros tipos como el enterovirus, produce la gastritis, anomalías en el corazón, meningitis, parálisis, etc; el rotavirus produce gastroenteritis y diarreas infantiles y el adenovirus infecciones respiratorias, conjuntivitis y otras. La mayor parte de las pruebas disponibles indican que la infección del hombre ocurre a través de la boca, por el consumo de agua y alimentos contaminados por heces infectadas.

c) Protozoarios.

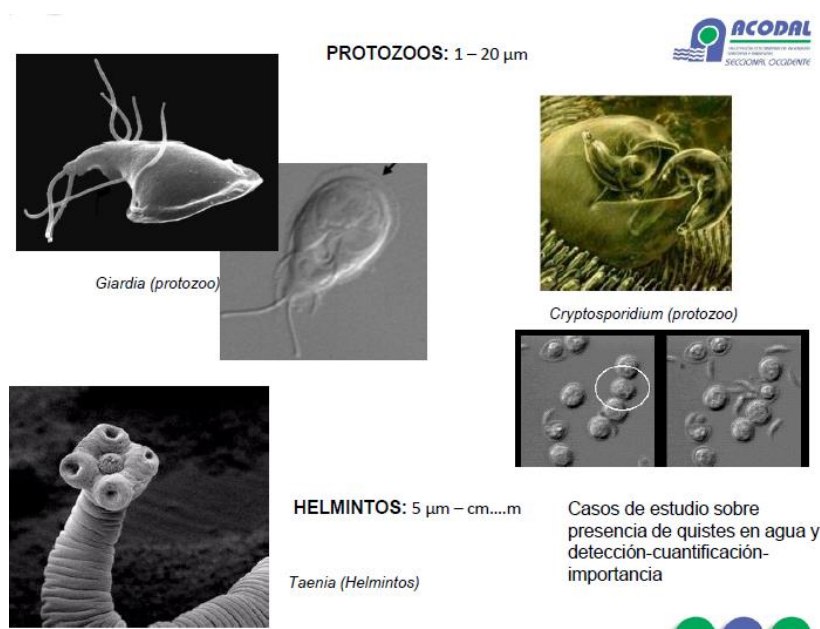


Figura xx protozoos (fuente ACODAL)

Son animales monocelulares. La amebiasis, que se manifiesta principalmente en el colon del hombre, es el resultado de la infección de un protozoo de la especie *Entamoeba histolytica*. Esta enfermedad, sólo en contadas ocasiones, es causa directa de muerte.

El reservorio del agente infeccioso es el ser humano infectado. La fuente de infección son los quistes contenidos en las heces de la persona infectada y el agua es un transmisor. Existen muchas personas que albergan quistes maduros sin mostrar síntomas clínicos.

El protozoo considerado recientemente de gran interés en el aspecto de la salud, es la *Giardia lamblia*, protozoo flagelado. Su distribución es mundial y la infección es más frecuente en los niños que en los adultos. La forma de transmisión es por contaminación fecal del agua y por transferencia, de la mano a la boca, de quistes procedentes de heces de un individuo infectado. El reservorio es el hombre o posiblemente, los animales domésticos.

Helmintos.

Son gusanos, se encuentran en el intestino y ciertos órganos como el hígado, musculo, cerebro y pulmones. Los helmintos son muy comunes y dependiendo de la especie existen en forma libre o parásitos. Los helmintos que parasitan al hombre viven dentro del cuerpo y por lo tanto provocan infecciones verdaderas.

La mayoría no requiere un hospedero intermediario. La *Ascaris* hembra produce 200.000 huevos diarios. Los huevos, particularmente de *Ascaris* y *Trichuris* son muy resistentes a los efectos del medio ambiente.

El modo de transmisión es por ingestión de huevos infectantes y procedentes del suelo contaminado con heces humanas, pero no directamente de una persona a otra. El desarrollo inicial del embrión requiere de dos a varias semanas a temperatura ambiente. Las ensaladas y otros alimentos que se ingieren crudos sirven normalmente de vehículos.

Necator americanus y *Ancylostoma duodenale* son dos nematelmintos que producen la mayor parte de los casos de uncinariasis. Cuando las heces de una persona infectada se depositan en un suelo favorable, se incuban los huevos y dan lugar a larva que crece a la fase filariforme que es la forma infectante para el hombre.

Trichuriasis. Enfermedad infecciosa del intestino grueso su distribución es cosmopolita, especialmente en ciudades calurosas y húmedas. El agente infeccioso *trichuris trichiura*.

Cestodes. Taenia saginata:

El reservorio es la persona infectada cuyas heces contienen huevos del parásito, en presencia o ausencia de proglótidos del parásito en las heces. La transmisión en el caso de *Taenia saginata* es por la ingestión de carne de res que contenga la larva, en el caso de *Taenia solium* es por ingestión de carne de cerdo cruda que contenga la larva infectante (cisticerco). Otra forma de transmisión es la directa: los huevos contenidos en las heces a la boca de una persona o por ingestión de alimentos, agua contaminada con huevos.

3.2.3.2 Toxicidad.

Entre los compuestos tóxicos que se pueden encontrar eventualmente en las aguas de abastecimiento, están aquellos elaborados por la actividad biológica de las algas, bacterias y plantas superiores.

Entre las algas tenemos el caso del alga verde azulada, aunque son raros y discutidos los casos de efectos tóxicos o fisiológicos producidos en el hombre por aguas de fuentes donde proliferan algas verde azules.

3.2.3.3 Sabor y Olor.

Las algas constituyen uno de los más importantes factores causantes del sabor y olor en las aguas de abastecimiento. De acuerdo a investigaciones analizadas, se llegó a la conclusión que los ácidos grasos contenidos en las células son los principales causantes de ese fenómeno. Las algas más viejas tienden a producir sabor y olor más pronunciado.

Muchas algas dan un sabor intensificado cuando se aplica cloro al agua, debido a la formación de Clorofenoles. El olor a pescado se presenta cuando las algas están en concentraciones elevadas. Olor séptico u olor de desagüe es característico de las algas verdes del genero: Hydrodictyon, y Cladophora. Algunas algas producen un sabor amargo o sabor dulce.

3.2.3.4 Color y Turbidez.

La presencia de microorganismos en el agua, puede ejercer dos tipos de influencia con respecto a la producción de color y turbidez. Primero debido a su presencia como partículas en suspensión o como productores de pigmentos solubles, y segundo indirectamente por medio de la interferencia que causan en los procesos de floculación, sedimentación y filtración. Las algas causan interferencias en el color y turbidez debido a las alteraciones que provocan en los procesos de floculación y sedimentación, la causa principal es debido a las alteraciones del pH. Además las algas se depositan en gran número en los sedimentadores produciendo un aumento en el lodo sedimentado.

Las aguas ricas en algas para producir la floculación exigen una mayor cantidad de coagulante. El agua que llega a los filtros con frecuencia contiene un gran número de algas, las cuales serán retenidas por la arena.

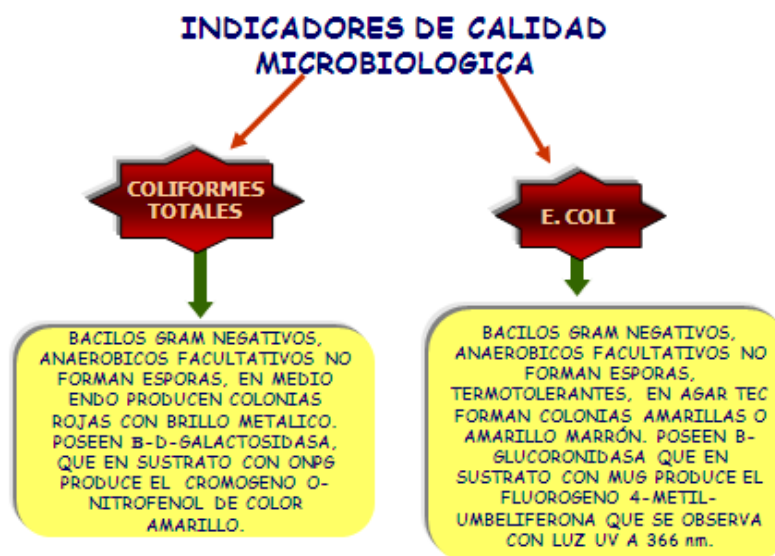


Figura 3.26 Indicadores de calidad microbiológicos

Fuente: ACODAL

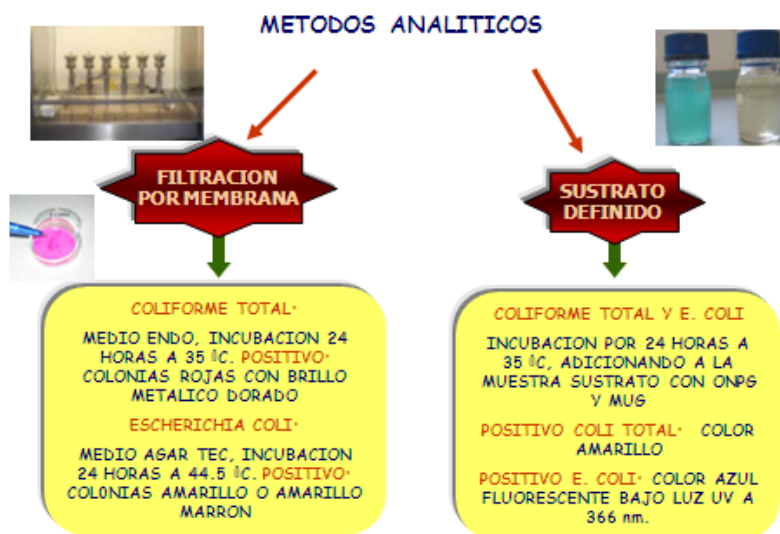


Figura 3.27 Metodos Analiticos

Fuente: ACODAL

3.2.4 REMOCION DE LOS MICROORGANISMOS EN LAS DIVERSOS FASES DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA

Algunas fuentes de agua tales como manantiales y pozos debidamente protegidos, poseen aguas de tal calidad que requieren como medida de seguridad la aplicación de algún desinfectante antes de su distribución.

Los diversos procesos de tratamiento remueven en mayor o menor grado los microorganismos presentes en el agua.

3.2.4.1 Predesinfección.

Se usa en los siguientes casos:

- a) Cuando la contaminación de la fuente de agua que se usa es muy alta.
- b) Cuando existen problemas de algas en los tanques de sedimentación o en los Filtros.
- c) Cuando se necesita aumentar el tiempo de contacto del cloro con el agua.
- d) Cuando se quiere oxidar sustancias tales como el hierro, manganeso y sustancias aromáticas, olor orgánico, compuestos fenólicos etc.
- e) Una combinación de los problemas anteriores.

La doble cloración se emplea generalmente en los casos que se usa la precloración. Pueden utilizarse las siguientes alternativas:

- a) Superprecloración al comienzo del tratamiento, conservación de cloro residual durante todos los procesos y de cloración parcial antes del tanque de almacenamiento.
- b) Precloración suficiente como para que alcance a llegar algo de cloro residual libre en el afluente a los filtros. Poscloración después de la filtración.
- c) Precloración con cloro libre al comienzo del tratamiento para mantener un pequeño residual en todos los procesos y cloraminación después de la filtración.

La alternativa (b) es tal vez la más recomendable por ser la de más fácil control. La poscloración simple solo se usa cuando la fuente no es muy contaminada y no hay problemas adicionales en la planta. La eficiencia de la cloración puede quedar total o parcialmente interferida por una variedad de agentes físicos, químicos y biológicos, tales como: la materia en suspensión, los nematodos (se conocen vulgarmente como gusanos redondos o cilíndricos muy abundantes en la tierra, resistentes al cloro y sus derivados), la temperatura, el contenido de calcio, nitrógeno orgánico y fenoles en el agua.

3.2.4.2 Coagulación - Floculación y sedimentación.

La coagulación y sedimentación química son eficientes para cierto número de bacterias. Se puede apreciar que la remoción de bacterias es directamente proporcional a la remoción de turbiedad y

que se pueden lograr remociones de hasta 99.7% cuando se obtiene una eficiencia muy alta en el proceso de coagulación y sedimentación.

Resultados similares se han obtenido con aguas sembradas con virus, al incrementar la dosis de sulfato de aluminio y dejar sedimentar, se podía obtener remociones de virus de hasta 99.9%.

Para lograr una reducción más efectiva de microorganismos, se efectúa una mezcla rápida y completa de coagulante seguido por una sedimentación adecuada, siendo necesario adecuados dispositivos para agitar las porciones de los compartimentos del tratamiento. La obtención de una turbidez baja, menos de 1.0 UTN en agua tratada, es un buen indicador de reducción bacteriana.

El pH tiene una gran importancia, valores superiores a 11 producen la desnaturalización de la capa proteica de los virus y la destrucción de los mismos.

3.2.4.3 Filtración.

El tener un filtro adecuado es esencial para remover quistes de amebas. Experiencias en laboratorio demostraron que *Entamoeba histolytica* inoculada en agua Pre-floculada, más no decantada, daba una reducción de 99.99% de quistes siendo la tasa de filtración de 81 litros por minuto por metro cuadrado. Una pre-floculación es esencial para la reducción óptima de virus. Cuando se inyecta dosis adecuada de sulfato de aluminio en el afluente del filtro, se obtiene remociones hasta del 98% de los virus, aún cuando se trabaje con ratas de filtración alta de $340 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$, medios de arena y antracita.

En el caso de filtración en lechos de arena y antracita, se ha observado que la remoción de turbiedad es proporcional a la remoción del virus.

3.2.4.4 Post-desinfección.

La desinfección de las aguas consiste en el empleo de un agente físico o químico (desinfectante), para destruir los microorganismos patógenos que puedan transmitir enfermedades a través de ella. La desinfección es un proceso selectivo, no destruye todos los microorganismos y no siempre elimina los organismos patógenos.

Las esporas bacterianas son las más resistentes, debido al estado de deshidratación parcial de su protoplasma.

Los quistes de protozoarios (quistes de amebas), siguen en resistencia, pues soportan pH altos y bajos pero son susceptibles al calor.

Los virus entéricos (Poliovirus, Coxsackievirus y Echovirus), son resistentes a la desinfección, debido a su falta de enzimas, pues están constituidos básicamente por ácido nucleico rodeado de una corteza proteínica. Los virus a un pH menor a 4 y mayor a 10 sobreviven solamente horas. El pH óptimo de los microorganismos es 7.

Las bacterias (Coliformes, Salmonellas), son las más fáciles de eliminar. La respiración bacteriana se efectúa en la superficie de la célula, lo que las hace muy sensibles a los agentes desinfectantes. Existen varios factores que influyen en la desinfección. Así tenemos que las bacterias son

altamente susceptibles al pH, como a la temperatura, en la cual el *Escherichia coli* a pH = 12 y *Salmonella* a pH = 11, sobreviven menos de 8 horas.

Los protozoarios pueden estar como quistes o en forma vegetativa. En el primer caso son más resistentes a la desinfección que en el segundo; pero en ambos son más difíciles de destruir que las bacterias. Es así que para dosis de cloro libre de 2 mg/l y pH igual a 7.5, se necesita no menos de 4 horas de tiempo de contacto para poder matar los quistes de amebas.

La cloración es el proceso de desinfección que reúne mayores ventajas. Se ha venido estudiando la eficiencia del cloro sobre los virus y la forma como éste actúa sobre las partículas virales. Esto no ha sido investigado suficientemente. Se cree que el HOCl ataca la envoltura proteínica de los virus, reaccionando con ella y esto explicaría la relativa lentitud con que se hace la desinfección. El comportamiento de los distintos compuestos de cloro, en la que muestra la relación del tiempo de contacto y dosis de ácido hipocloroso, ión hipoclorito y monoclaramina para destruir 99% de las bacterias *E. coli*, se nota que el HOCl, fue 14 veces más eficiente que el OCl, y 70 veces más eficiente que la monoclaramina.

Otro desinfectante es el yodo. La mayor dificultad es el precio y se desconoce los efectos fisiológicos continuos, en especial en el funcionamiento de la tiroides.

En conclusión, la coagulación, floculación, sedimentación y filtración solas no garantizan la destrucción de todos los virus patógenos. La ventaja es que la concentración de virus en el agua es baja.