

PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS NATURALES

1.0 FUENTES DE ABASTECIMIENTO:

El origen o fuentes de abastecimiento y suministro de agua para consumo como agua potable son muy importantes en lo referente a su calidad y composición.

Se pueden dividir las fuentes de abastecimiento en fuentes superficiales y fuentes subterráneas.



Figura 1: Fuentes de abastecimiento de agua potable. Fuentes superficiales

Fuentes superficiales: Las aguas que se encuentran en ríos, lagos y lagunas son susceptibles de emplearse con o sin tratamiento previo, para su consumo como agua potable.

Hace años y hasta fines del siglo XIX, era común tener una fuente de suministro de este tipo y era posible consumir esta agua de una manera segura sin ningún tratamiento previo, y sin requerir siquiera desinfección ya que el agua estaba libre de microorganismos patógenos. El crecimiento de la población con el consiguiente incremento en la producción de desechos que se integran a estas fuentes superficiales, y la revolución industrial, tuvieron como consecuencia el deterioro de la calidad del agua de las fuentes de suministro más inmediata que son las aguas superficiales.

Actualmente un río, lago o laguna no contaminada por sustancias orgánicas, inorgánicas o por bacterias patógenas es algo raro o inusual, por lo que todas estas aguas requieren de un tratamiento previo, para hacerla cumplir con los parámetros de calidad de agua potable.

Aunque estas fuentes de abastecimiento son las más contaminadas también son las que requieren de menor infraestructura para su extracción y consumo, por lo que cuando se tienen disponibles y en abundancia, es mejor opción que la perforación de pozos para extracción de agua subterránea.

Las aguas naturales se caracterizan por ciertos parámetros que definen sus propiedades y calidad. Esta caracterización se hace en virtud de sus propiedades físicas y químicas.

Fuentes subterráneas: Las fuentes subterráneas son aquellas en las que el agua se encuentra bajo la superficie y para extraerse se requiere de la perforación de un pozo. La calidad de estas aguas es mejor que las que se encuentran en la superficie, ya que es difícil o poco probable que éstas sean contaminadas por residuos y aguas residuales generadas por la actividad del hombre.

Su principal desventaja es que los acuíferos cada vez están a mayores distancias de perforación, lo cual encarece el costo de perforación y de bombeo, además de que a medida que se hace mas profunda la perforación, es mayor la probabilidad de que estas aguas contengan metales y compuestos tóxicos (plomo, arsénico, flúor, etc.), o metales problemáticos como fierro y manganeso.



Figura 2: Fuentes de abastecimiento de agua potable. Fuentes subterráneas.

1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS AGUAS POTABLES:

SÓLIDOS EN SUS DIFERENTES FORMAS: Los sólidos en las aguas potables y de proceso tienen gran importancia.

En las aguas potables indican la calidad de la misma. En las aguas de proceso es conveniente conocer la cantidad de sólidos que contiene ya que el agua es empleada en procesos tales como alimentación a calderas, sistemas de enfriamiento o como agua integrada al mismo producto.

Sólidos totales: Los sólidos totales es la suma de los sólidos disueltos y en suspensión que la muestra de agua pueda contener. Se puede decir que las aguas naturales son un conjunto de agua con sólidos disueltos y suspendidos,

Sólidos disueltos: Los sólidos disueltos lo constituyen las sales que se encuentran presentes en el agua y que no pueden ser separados del líquido por algún medio físico, tal como: sedimentación, filtración, etc. La presencia de estos sólidos no es detectable a simple vista, por lo que se puede tener un agua completamente cristalina con un alto contenido de sólidos disueltos.

La presencia de estos sólidos solo se detecta cuando el agua se evapora y quedan las sales residuales en el medio que originalmente contiene el líquido.

Análiticamente se miden pesando la cápsula con las sales residuales, una vez que el agua ha sido evaporada, y conociendo el peso neto de la cápsula es posible determinar la cantidad de sólidos disueltos por diferencia de peso.

También es posible cuantificar los sólidos disueltos midiendo la conductividad del agua: los sólidos disueltos se encuentran en forma de cationes y aniones, por lo que éstos como partículas con carga pueden conducir la

corriente eléctrica, y así pueden ser cuantificados indirectamente, con cierta precisión, midiendo la conductividad del agua como se describe posteriormente

Sólidos en suspensión: Los sólidos en suspensión es el material que se encuentra en fase sólida en el agua en forma de coloides o partículas sumamente finas, y que causa en el agua la propiedad de turbidez. Cuanto mayor es el contenido de sólidos en suspensión, mayor es el grado de turbidez.

A diferencia de los sólidos disueltos, estos pueden separarse con mayor o menor grado de dificultad por procesos mecánicos como son la sedimentación y la filtración.

Analíticamente se determinan pasando un volumen medido de una muestra de agua a través de una cápsula la cual tiene una membrana o filtro con poros de 0.2 micrones dónde son retenidos los sólidos suspendidos, cuando se filtra la muestra de agua.

Las partículas o sólidos suspendidos se componen de material orgánico e inorgánico. El material orgánico es principalmente algas o microorganismos y el inorgánico son: arcillas, silicatos, feldespatos, etc.

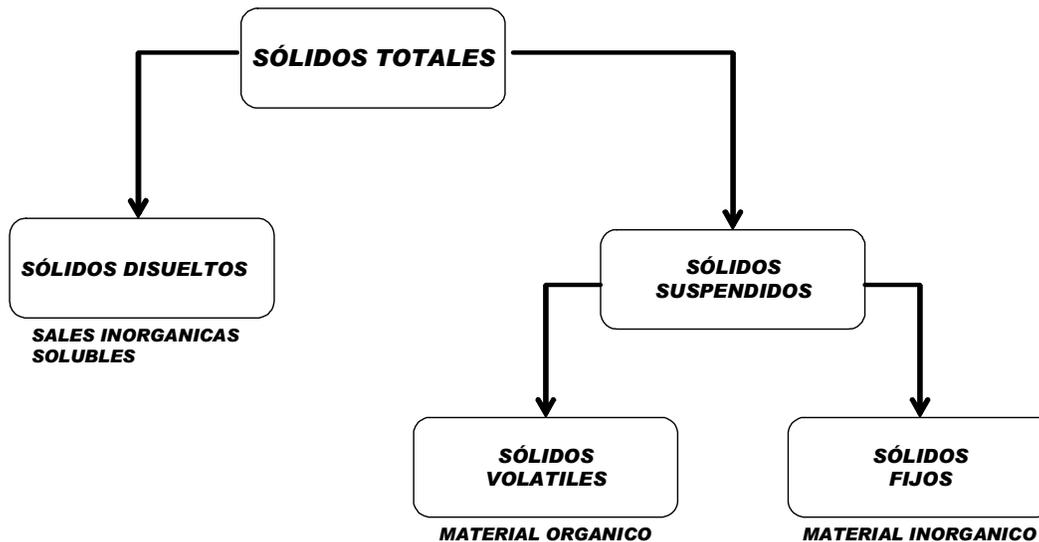


Figura 3: Sólidos disueltos y suspendidos en sus diferentes formas.

Sólidos volátiles y no volátiles: En los sólidos suspendidos se tiene material orgánico e inorgánico. La materia orgánica es susceptible de separarse por calcinación de la muestra. Para esto, la cápsula que retiene los sólidos suspendidos se calina a 550°C y el material orgánico se volatiliza en forma de bióxido de carbono y agua. El material inorgánico es inerte y no volátil, por lo que es retenido en la cápsula y por diferencia de peso se pueden cuantificar los sólidos volátiles y no volátiles.

Turbidez: Es la capacidad que tiene la materia finamente dividida o en estado coloidal de dispersar la luz. La turbidez es una característica que se relaciona con el contenido de sólidos finamente divididos que se presentan en el agua. Sus unidades son NTU's (Nephelometric Turbidity Units).

Un agua turbia estéticamente es desagradable y es rechazada por el consumidor. La turbidez del agua es un parámetro de importancia no solo porque es una característica de pureza en el agua a consumir. También la turbidez interfiere en procesos de tratamiento de las aguas como es en la desinfección con agentes químicos o con radiación ultravioleta, disminuyendo la efectividad biocida de éstos lo cual representa un riesgo en el consumidor.

Temperatura: La temperatura es un parámetro físico de suma importancia para los ecosistemas hidráulicos, aunque no es parte de las características de calidad del agua potable. Cuando la temperatura aumenta, disminuye la concentración de oxígeno disuelto y si las aguas son deficientes en oxígeno, esto puede ocasionar la muerte de especies acuáticas, especialmente peces. También, la contaminación térmica puede

causar trastornos en ecosistemas acuáticos ya que en algunos casos el rango de temperatura de estos, es sumamente restringido

Color: El color es una propiedad física que indirectamente describe el origen y las propiedades del agua. La coloración del agua indica la posible presencia de óxidos metálicos, como puede ser el óxido de hierro, el cual da al agua un color rojizo.

Las algas y material orgánico en degradación también imparten color al agua. Si esto ocurre, la coloración puede deberse a la presencia de algas y microorganismos en el agua de suministro.

El color, olor y sabor así como la turbidez, son parámetros que en forma conjunta le dan calidad al agua en lo que se refiere a sus características estéticas que son muy importantes para el usuario o consumidor.

1.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FISICOQUÍMICAS:

Cianuros: Los cianuros por supuesto no deben estar presentes en las aguas potables, sin embargo, por su alta toxicidad y por la posibilidad de que éste compuesto se presente en aguas potables debido a derrames accidentales o por infiltración de desechos con este contaminante, periódicamente se debe monitorear en los yacimientos y en el agua de suministro.

La toxicidad del cianuro se debe a que el radical $-C\equiv N$ se liga a la hemoglobina irreversiblemente y con mayor fuerza que el oxígeno y la persona o animal de sangre caliente muere de asfixia ya que no hay transporte de oxígeno.

El límite máximo permitido de este contaminante en aguas potables es de 0.2 mg/L

Radioactividad: La actividad radiológica es una medida de la emisión de partículas alfa y beta que se producen en la descomposición de materiales radioactivos.

Estas emisiones son nocivas a los órganos de los seres vivos por el daño que producen estas partículas. Estos son principalmente: deformaciones congénitas inducción a la formación de tumores y otros daños más a nivel celular.

La actividad radiológica en el agua se debe a la presencia de materiales radioactivos en el yacimiento donde se encuentra el acuífero. Estos elementos pueden ser radio, uranio y otros elementos químicos emisores de partículas alfa y beta

El límite máximo permitido de radiación emitida en el agua potable es de 15 picroCurios/L.

Nitratos: Los nitratos y especialmente los nitritos son indeseables en las aguas potables ya que pueden causar la enfermedad conocida como metahemoglobinemia.

La metahemoglobinemia es una condición en la cual el organismo intercambia nitritos en los grupos heme de la sangre que son los que se encargan del transporte de sangre en todo el organismo.

Como el nitrito es isoelectrónicamente similar al oxígeno, si la concentración de nitritos en los fluidos corporales es muy alta, los nitritos ocupan el lugar del oxígeno en la hemoglobina y bajo ciertas circunstancias se puede presentar una condición de anoxia,

Esto ocurre cuando una persona ingiere altas cantidades de nitritos y por su metabolismo es susceptible a esta condición, puede morir por asfixia.

La metahemoglobinemia que se supone es la causa de algunas muertes de cuna o muerte infantil en niños recién nacidos o de menos de tres meses de edad, puede ser atribuida a la presencia de altos niveles de nitratos en el agua de consumo en bebés predispuestos a esta condición

Esto puede explicarse porque los neonatos aún no tienen una alta acidez en sus jugos gástricos, y favorecen las condiciones reductoras en las cuales los nitratos presentes en el agua potable se convierten parcialmente a nitritos en un medio no ácido.

Esto no ocurre con frecuencia en adultos normales, pero sí puede presentarse cuando la persona es predispuesta o ingiere altas cantidades de nitritos (en embutidos y otras conservas).

Debido a los escurrimientos agrícolas, donde se emplean cantidades exageradas de fertilizantes nitrogenados, ya no es raro encontrar aguas superficiales y hasta los mantos acuíferos subterráneos con niveles anormales de nitrógeno en sus diferentes formas químicas, especialmente como nitratos.

La norma de calidad de agua potable permite un máximo de 10 mg/L de nitrógeno en forma de nitrato.

Fósforo: Aunque el fósforo no presenta toxicidad en los seres vivos, la presencia de fosfatos en aguas potables indica la posibilidad de contaminación del acuífero por aguas contaminadas o aguas residuales. Debido a que el fósforo se encuentra presente en cantidades relativamente altas en aguas residuales y aguas de riego agrícola, su presencia en valores mayores a los valores normales en aguas potables, puede deberse a una contaminación o infiltración de aguas residuales al yacimiento de agua potable, Aunque el fósforo no representa toxicidad o daño alguno, los herbicidas o pesticidas organofosforados que también están presentes en las aguas de riego agrícola son una advertencia de la calidad del agua ya que la presencia de fósforo en el agua puede ser debida a los agroquímicos fosforados. Si se debe a la infiltración de aguas residuales sin tratamiento previo, también son un riesgo al consumidor de estas fuentes de agua natural.

Pesticidas, agroquímicos y orgánicos sintéticos: La presencia de este tipo de compuestos en el agua siempre es por causas antropogénicas (generadas o inducidas por el hombre). Cuando se integran al agua, aún en muy pequeñas cantidades son sumamente nocivas y cuando sus valores son mayores a los máximos permisibles, hacen inadecuada el agua para su consumo. Estos compuestos resultan del uso indiscriminado y sin control de herbicidas y pesticidas en la actividad agrícola, o de la disposición inadecuada de solventes y compuestos orgánicos generados en la actividad industrial. También su presencia en el agua puede deberse a derrames y accidentes cuando estos compuestos orgánicos son transportados por vía terrestre. Estas sustancias son nocivas no únicamente al hombre sino también a los peces y a toda la vida acuática en general, por lo que su detección y cuantificación es sumamente importante para tomar acciones preventivas, así como para implementar sistemas que eliminen del agua estos agentes tóxicos. La detección y cuantificación de este tipo de compuestos es sumamente difícil y requiere de técnicas analíticas complejas y costosas ya que existen miles o cientos de miles de compuestos químicos de esta naturaleza, por lo que es prácticamente imposible detectar y cuantificar individualmente cada una de estas sustancias en una fuente de suministro de agua.

Demanda bioquímica de oxígeno: La Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO, es una de las pruebas mas importantes para medir los efectos contaminantes de un agua residual, pero también es un parámetro de importancia en aguas potables. La DBO es definida como la cantidad de oxígeno requerida por las bacterias, para estabilizar la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aerobias. Por materia biodegradable se entiende o se interpreta como la materia orgánica que sirve como alimento a los microorganismos y que proporciona energía como resultado de su oxidación. La DBO es ampliamente utilizada para determinar el grado de contaminación en materia orgánica biodegradable, en aguas residuales domesticas e industriales. Esta prueba es una de las mas importantes en el control de contaminación en aguas, por lo que las agencias de regulación de la contaminación le dan suprema importancia. También la DBO es imprescindible al estimar y diseñar reactores y equipo para la digestión aeróbica de las aguas residuales a depurar. Para esta prueba se mide la cantidad de oxígeno que requieren las bacterias aerobias cuando consumen la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual que se analiza. Para esto se inocula con bacterias aerobias la muestra de agua a analizar, y después de cinco días se mide la concentración de oxígeno residual. La cantidad de oxígeno consumido se determina midiendo el oxígeno disuelto al inicio y al termino de la prueba. Se ha tomado como tiempo de biodegradación de la muestra un tiempo de 5 días. Generalmente este es el tiempo que se requiere para que las bacterias digieran la materia orgánica biodegradable. También, debido a la baja solubilidad del oxígeno, en muestras con altos valores de DBO es necesario tomar alícuota de la muestra para asegurar que el oxígeno disuelto inicialmente, sea suficiente para la biodegradación completa. También para esta prueba se requiere que la temperatura se mantenga constante a 25°C durante los cinco días de incubación. Para que las bacterias aerobias inoculadas, tengan condiciones favorables de crecimiento y desarrollo deben estar ausentes sustancias tóxicas como: metales tóxicos, cloro, etc.; asimismo los nutrientes necesarios como: fósforo, nitrógeno, calcio, magnesio, potasio, etc. deberán encontrarse en la solución de fermentación.

Las aguas naturales generalmente tienen valores muy bajos de DBO, pero es muy conveniente medir este parámetro sobre todo cuando la fuente de suministro es un agua de dudosa calidad.

Demanda química de oxígeno: Este otro tipo de prueba consiste en determinar la cantidad total de materia orgánica, en términos de la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar ésta a dióxido de carbono y agua. Para esto se efectúa la oxidación de dicha materia orgánica utilizando agentes fuertemente oxidantes en un medio ácido.

Debido a las condiciones tan drásticas empleadas en la oxidación, prácticamente toda la materia orgánica es oxidada a bióxido de carbono y agua. Substancias que no son fáciles de digerir biológicamente como por ejemplo la lignina, son oxidadas completamente como resultado de los oxidantes empleados y debido a esto los valores de Demanda Química de Oxígeno DQO son siempre mayores a la DBO, en un agua residual específica.

La forma de llevar a cabo esta prueba es tomando una alícuota de la muestra y agregándole un volumen específico de solución de dicromato de potasio valorado. Bajo condiciones ácidas, a una temperatura de 150°C y en presencia de un catalizador la materia orgánica es completamente oxidada a bióxido de carbono y agua. Midiendo el dicromato de potasio consumido y de acuerdo a la relación estequiométrica, es posible determinar el oxígeno consumido por la muestra analizada, este oxígeno requerido es la DQO.

La medición de DQO y DBO en una muestra de agua, está directamente relacionado con su grado de contaminación, así como con la naturaleza de la materia que compone los desechos sólidos, ya que a través de esta prueba es posible estimar que proporción del total de la materia orgánica es biodegradable. Esto es de gran importancia en el proceso de digestión aeróbica, puesto que de antemano se conoce cual es el mínimo residual de materia orgánica en un agua de desecho.

Al igual que la DBO, la DQO en aguas potables debe ser sumamente baja y es un parámetro a determinar cuando la calidad del agua es incierta.

Compuestos Orgánicos Refractarios: Compuestos orgánicos refractarios son aquellos que son persistentes en su descomposición a otros compuestos diferentes de estructura química mas sencilla. También se le llama Compuestos Orgánicos Persistentes, por esta misma razón.

La mayoría de los compuestos orgánicos presentes en las aguas naturales son destruidos o transformados a otros compuestos inocuos (como bióxido de carbono y agua) por la acción de la radiación solar ultravioleta, por descomposición microbiana, por efecto del contacto con ozono o medios similares.

Los orgánicos refractarios o persistentes no se descomponen fácilmente y pueden permanecer inalterdos a pesar de los tratamientos biológicos, químicos y fisicoquímicos que se dan al agua. Muchos de estos compuestos son tóxicos por lo que su presencia en aguas que se pretenden emplear como potables representa un riesgo.

Los mas comunes son sintéticos como: gasolinas y derivados del petróleo, insecticidas, herbicidas y pesticidas, solventes orgánicos, etc.

Aunado a su toxicidad, otro gran inconveniente es la dificultad de su detección y cuantificación. La cantidad de compuestos tóxicos que se pueden presentar en el agua por derrames accidentales, por descuidos y negligencia u otras razones, es de miles de ellos, y para detectarlos se deben emplear individualmente técnicas de cromatografía de gases y/o de líquidos acoplado con espectrometría de masas, y espectroscopía de infrarrojo

Muy pocos organismos encargados de la calidad del agua que se suministra a los usuarios disponen del equipo, laboratorios, personal capacitado y tiempo para detectar y cuantificar cada uno de estos posibles componentes presentes en el agua. Se tiene la opción de efectuar en la muestra la prueba de Carbono Orgánico Total (COT) [o por sus siglas en inglés Total Organic Carbon (TOC)]

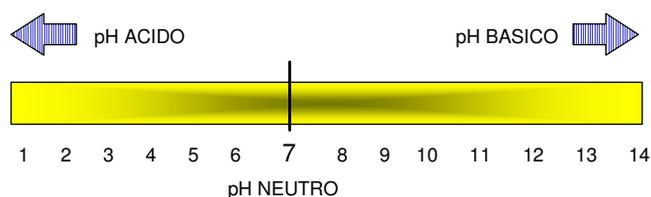
En esta técnica, a la muestra de agua se agrega ácido clorhídrico para descomponer a bióxido de carbono los bicarbonatos y carbonatos que contiene el agua y diferenciar del bióxido de carbono que se produce posteriormente por el tratamiento térmico de la muestra.

Se evapora el agua y los residuos se someten a altas temperaturas, y el material orgánico que pueda estar presente en la muestra de agua se descompone a CO₂ y H₂O. Un detector de infrarrojo cuantifica el CO₂ generado ya que este tiene una banda de absorción en el espectro infrarrojo, y se puede detectar con un espectrómetro IR no dispersivo, o también se puede absorber en agua el CO₂ generado en la combustión y se

mide la conductividad de ésta antes y después de la absorción y comparando con los estándares se puede medir el contenido de CO₂, que es directamente proporcional al contenido de materia orgánica presente en el agua.

Obsérvese que en esta técnica de COT, se cuantifica todo el material orgánico contenido en la muestra de agua y no solo los orgánicos refractarios, pero aunque todavía no se tienen parámetros de calidad, es la única forma relativamente sencilla de tener un valor de comparación y evaluar el riesgo de consumir aguas con COT relativamente alto.

pH: El potencial hidrogeno o pH, es un parámetro de suma importancia tanto para aguas naturales como aguas residuales. El rango de pH en el cual pueden interactuar los ecosistemas y sobrevivir las especies que lo conforman, está sumamente restringido, por lo cual si este valor es alterado, los procesos biológicos que normalmente se llevan a cabo pueden ser perturbados y/o inhibidos y las consecuencias son adversas. Por definición pH es el logaritmo inverso de la concentración de ión hidrogeno



Jugo Gastrico en el estomago: 1.0-2.0	Sangre: 7.3-7.4
Jugo de Limón: 2.4	Leche de Magnesia: 10.6
Vinagre: 3.0	Limpiador domestico a
Jugo de Toronja: 3.2	Base de amoniaco: 11.5
Jugo de Naranja 3.5	
Saliva 6.4-6.9	
Leche: 6.5	
Agua Pura: 7.0	

Figura 4: Rango de pH y valores de potencial hidrogeno para algunas sustancias.

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = \log(1/[\text{H}^+])$$

En aguas naturales y residuales el valor del pH define si las condiciones de esta son ácidas o básicas.

Un pH menor de 7.0 indica acidez en el agua, cuanto menor sea el valor del pH mayor es la concentración de iones hidrogeno y mayor es la acidez.

Por encima de un pH de 7.0 se tienen condiciones básicas en el agua. La concentración de iones hidrogeno es baja y se dice que el agua es alcalina.

Cuando el pH es de 7.0 se dice que el pH es neutro y el agua no tiene características ácidas ni alcalinas. En las aguas naturales y residuales el valor del pH está en el rango de 6.0 a 8.0 unidades de pH, y estos valores son los más adecuados para la actividad biológica de los ecosistemas.

Azufre y Sulfatos: El azufre ocurre en las aguas naturales en forma de ión sulfato SO₄⁻². El sulfato es el resultado de la oxidación del ácido sulfhídrico H₂S originalmente presente en el agua o en el acuífero. Altos niveles de este compuesto no presentan toxicidad pero si problemas en la calidad y usos del agua.

Fierro y Manganeso: Fierro y manganeso casi siempre se encuentran presentes en forma conjunta, por lo que si en el agua se tienen niveles relativamente altos de fierro, seguramente el manganeso estará presente en concentraciones problemáticas para el uso del agua.

Ni el fierro ni el manganeso representan un problema de toxicidad, pero la calidad del agua no es la deseada cuando se tienen altos valores de estos elementos.

Cuando estos metales precipitan del agua dónde originalmente se encuentran disueltos, forman depósitos color amarillo o café oscuro, o una lama negra sumamente desagradable. Esta precipitación ocurre cuando el agua tiene contacto con el aire y se oxidan los metales ocurriendo la precipitación.

La precipitación de los metales puede ocurrir en la cerámica del baño, muy frecuentemente en la taza del retrete o excusado, en lavamanos y en general en toda la tubería y accesorios domésticos que entran en su contacto, como cuchillería, platos, vajilla y demás.

Si esta agua se emplea en el lavado de ropa, al agregar cloro, blanqueadores y otros detergentes, favorecen la oxidación y precipitación del metal y estos precipitados manchan la ropa, siendo mas notorio en la ropa blanca, por lo que aguas de estas características son indeseables en hospitales, hoteles, lavanderías y hogares en general, y es conveniente darle un tratamiento previo.

También el consumo de agua con fierro y manganeso por arriba de la norma de calidad establecida, causa problemas de sabor en el consumidor no acostumbrado, por lo que si esta agua se emplea en la formulación de bebidas, refrescos y alimentos en general los resultados pueden ser muy desagradables.

En el capítulo correspondiente se detallan mas ampliamente los problemas causados por estos elementos y la forma de tratamiento del agua para corregirlos.

Flúor: La presencia de flúor en el agua es un problema que se presenta con mucha frecuencia en yacimientos subterráneos sobreexplotados o cuando las condiciones de mineralización del yacimiento donde se encuentra el acuífero favorecen la presencia de flúor en el agua, por lixiviación de minerales que contienen este anión.

Aunque puede ocurrir, es difícil de atribuir la alta concentración de flúor en el agua como una consecuencia de la actividad del hombre.

El flúor en el agua es un tema de discusión muy polémico y de actualidad. Está demostrado que el consumo de flúor en pequeñas dosis es benéfico para la dentadura ya que fortalece y endurece esta, al formar en los dientes una capa protectora de fluoruro de calcio, mas resistente a la caries dental que el fosfato de calcio que es el esmalte natural.

En dosis moderadas el flúor tiene este efecto benéfico, pero en dosis altas el fluoruro de calcio se fija no solo en los dientes sino también en los huesos formando fluoruro de calcio, el cual se deposita como precipitado ya que tiene una constante de producto de solubilidad sumamente baja ($K_{ps}=1.7 \times 10^{-10}$).

Estos depósitos causan endurecimiento de estos órganos y el organismo sufre deformaciones y adquiere la enfermedad llamada osteoporosis o endurecimiento y deformación del sistema óseo.

El límite máximo permitido en agua potable es de 2.5 mg/L.



Figura 5: Problemas derivados del alto consumo de fluor en el agua

Metales Tóxicos: Algunos metales como: cromo, níquel, cadmio, mercurio, plomo arsénico, selenio, etc., presentan toxicidad. La ingestión de ellos aún en cantidades mínimas pero durante un largo periodo, como es toda una vida promedio, puede causar daños en el organismo.

La ingestión de metales tóxicos incrementa el riesgo de aparición de tumores, enfermedades en órganos vitales como aparato digestivo, respiratorio y reproductivo con consecuencias no solo al consumidor sino a su descendencia.

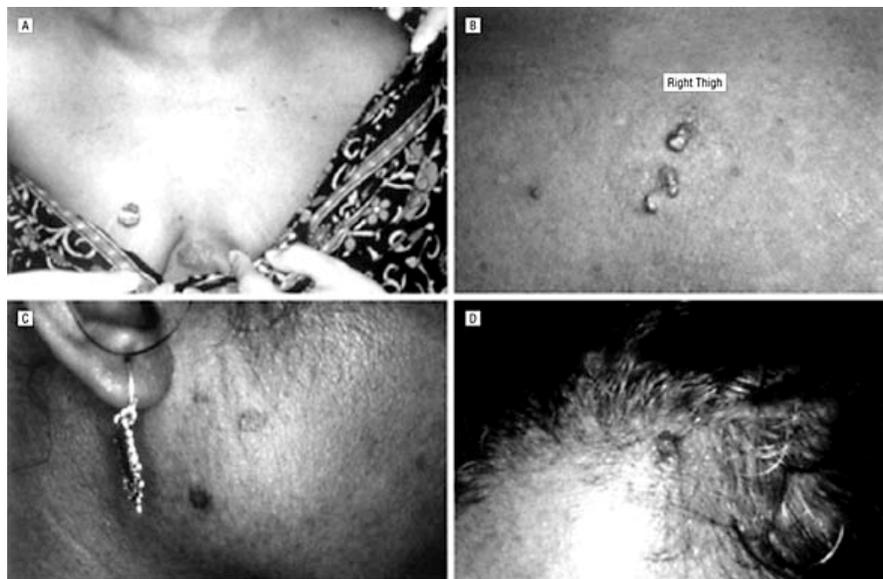


Figura 6: Problemas derivados del alto consumo de arsénico en el agua, como son alteraciones y formación de llagas en la piel.

El daño y grado de toxicidad depende del elemento, ya que algunos son más tóxicos que otros, de la dosis ingerida o tiempo de exposición al contaminante y de la salud o condición física del receptor del agente.

La toxicología y mecanismo a través del cual los metales interfieren con los procesos enzimáticos y como causan daños a nivel celular en órganos vitales del ser humano y de animales, se puede encontrar en un tratado de toxicología.

Como consecuencia de esto se ha establecido un límite máximo para los diferentes metales y metaloides en agua potable y estos niveles son mínimos, del orden de partes por billón, para minimizar el riesgo de daños en los consumidores de agua potable.



Figura 7: Daños en la piel y músculos, como es la llamada “enfermedad del pie negro” por intoxicación con arsénico.

Conductividad: La conductividad es una medida indirecta de la cantidad de sales ó sólidos disueltos que tiene un agua natural. Los iones en solución tienen cargas positivas y negativas; esta propiedad hace que la resistencia del agua al flujo de corriente eléctrica tenga ciertos valores. Si el agua tiene un número grande de iones disueltos su conductividad va a ser mayor. Cuanto mayor sea la conductividad del agua, mayor es la cantidad de sólidos o sales disueltas en ella.



Figura 8: Conductímetro empleado para medición de la conductividad o concentración de sólidos disueltos en las aguas.

Como es rápido y relativamente fácil medir la conductividad de una muestra de agua, este parámetro de medición es muy empleado cuando se desea conocer la cantidad de sólidos totales disueltos (STD), Los STD, es el contenido de sales solubles que una muestra de agua en particular contiene. Como ya se ha descrito anteriormente, una forma de conocer este valor, es filtrando el agua a través de una membrana de 0.2 micrones para retener los sólidos suspendidos y después de evaporar el filtrado se pesa y se tara para cuantificar estos sólidos gravimétricamente.

Esta forma de determinar los STD, requiere de tiempo, es una técnica analítica de alta precisión y está sujeta a errores si no se efectúa con los cuidados requeridos.

Es posible estimar la concentración de sales midiendo la conductividad del agua y relacionar este valor con la cantidad total de sales disueltas, pero para esto se deberán tener ciertas reservas: la conductividad del agua es la suma de las conductividades individuales de cada uno de los iones que se encuentran en la solución acuosa. Por ejemplo el ión hidrógeno H^+ , es mucho mejor conductor de la corriente eléctrica que el ión Na^+ . Los dos tienen la misma carga (+1), pero como el protón es mucho mas ligero ($H^+=1$ gr/mol, $Na^+=23$ gr/mol), se desplaza o mueve mucho mas aprisa que el ión sodio.

En las aguas naturales se asume que aunque el contenido de sales disueltas entre dos muestras de agua es diferente, la distribución en composición porcentual de cada uno de los iones que se encuentran en solución es mas o menos similar, por lo que una comparación entre sus valores de conductividad es equivalente a su concentración en sales disueltas.

La conductividad de una solución se expresa en Siemens/cm (S/cm) miliSiemens/cm (mS/cm) ó microSiemens/cm (μ S/cm) En aguas naturales es conveniente expresar su conductividad en (μ S/cm).

Para fines prácticos se establece la siguiente relación:

Conductividad μ S/cm \approx ppm STD (Sólidos Totales Disueltos) $\times 2$

“La conductividad en microsiemens/cm es aproximadamente igual a los STD en partes por millón multiplicado por dos”.

Lo inverso de la conductividad es la resistencia, y la medición de la resistencia del agua es otra forma de expresar o medir el contenido de sólidos disueltos en el agua.

Pocos parámetros de medición son tan confusos en sus diferentes formas de expresión o nomenclatura, como es la conductividad y resistividad de las soluciones, por lo que nosotros emplearemos generalmente la conductividad y la concentración de STD en ppm, como forma de expresión de este valor.

Salinidad y calidad del agua: Todas las aguas naturales contienen sales disueltas (sólidos en suspensión), y la salinidad del agua es en cierta forma una de las características de calidad del agua en lo referente a su sabor y aceptabilidad por el usuario.

La cantidad de sólidos disueltos se determina en forma semicuantitativa con la conductividad del agua, la cual se mide en ppm, o resistividad o conductividad del agua.

Cuanto mayor sea la conductividad, mayor es la cantidad de sólidos disueltos y después de cierto valor límite que fija la norma de calidad del agua, ya no es conveniente su consumo directo sin un tratamiento previo.

En las normas de calidad de agua potable de la EPA, de la CNA o de la Unión Europea, la conductividad o grado de salinidad del agua, no es un estándar primario (obligatorio), sino que es un estándar secundario (recomendado),

La alta salinidad del agua por sí sola, no es motivo de daños en la salud del consumidor pero sí un inconveniente en su empleo.

La alta salinidad puede manchar y dañar los accesorios de baño y de cocina, y aun las tuberías mismas de conducción del agua. La alta salinidad es desagradable para la mayoría de los consumidores y los no acostumbrados a consumir aguas de este tipo. Su consumo como agua de beber, puede causarles desordenes estomacales momentáneos a los usuarios, ya que en este tipo de aguas generalmente hay alta concentración de cloruros y de sulfatos y estos últimos causan diarrea en los consumidores no acostumbrados, pero una vez que el organismo se adapta a estos cambios el agua se puede consumir sin daños a la salud.

También la alta cantidad de sólidos disueltos causa problemas en la cocción de alimentos, principalmente oleaginosas ya que estas no se cuecen adecuadamente como resultado de la elevación en la temperatura de ebullición del agua por el alto contenido de sales.

Si se emplea agua con estas características en la formulación de alimentos (jugos, bebidas, sopas, etc.) casi siempre se tendrá un deterioro en la calidad del producto.

Tampoco es posible emplear con buenos resultados agua de alta salinidad en la cría de ganado, ya que los animales de cría rechazan el agua por su baja calidad, y esto causa pérdidas por la disminución de peso y de producción de lácteos del ganado lechero,

La única forma de disminuir el nivel de sales en las aguas salinas es con el empleo de la nanofiltración, o mejor aun con la hiperfiltración u osmosis inversa, como es más conocido este proceso. Estos procesos se discuten con mayor detalle en el capítulo correspondiente.

Alcalinidad: La alcalinidad es un parámetro que determina la capacidad de un agua para neutralizar los efectos ácidos que sobre ella actúan. Los constituyentes principales de la alcalinidad son los bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}), e hidróxidos (OH^-). La alcalinidad proviene de los minerales que se encuentran en forma de carbonatos y bicarbonatos (Na_2CO_3 , NaHCO_3 , por ejemplo), que disuelve el agua en su contacto con las capas de estratos, y también por la acción del CO_2 atmosférico al disolverse en el agua



La alcalinidad es de primordial importancia en algunos procesos que se llevan a cabo en sistemas de tratamiento de aguas, ya que entre otras características, la presencia de alcalinidad en sus diferentes formas es necesaria para evitar los cambios bruscos de pH, y también es un componente que forma parte de las

reacciones químicas en procesos tales como la coagulación y floculación o en la precipitación de calcio y magnesio para remoción de la dureza por medio del proceso cal soda/ash.

Si se agrega ácido al agua, las reacciones 1, 2 y 3 anteriores se desplazan de derecha a izquierda, desprendiéndose CO_2 del agua y anulando parcialmente los efectos del ácido. Si se agrega un álcali, el ión hidrógeno que se produce en las reacciones 2 y 3, reacciona para formar agua con el hidroxilo que se encuentra en el álcali agregado y también anula parcialmente los efectos alcalinos, y de esta manera la alcalinidad del agua ejerce un efecto buffer o amortiguador de cambios bruscos de pH.

Dureza: La dureza del agua se debe a la presencia de cationes como: calcio, magnesio, estroncio, bario, fierro aluminio, y otros metales que se encuentran presentes en forma de sólidos disueltos. De éstos, el calcio y el magnesio son los mas abundantes, por lo que casi siempre la dureza está directamente relacionada con la concentración de éstos dos elementos.

Desde el punto de vista sanitario, la dureza del agua no tiene ninguna relación con la salud, por lo que es irrelevante consumir agua de alta o baja dureza, sin embargo, el exceso de dureza hacen el agua desagradable para su empleo en servicios y en la industria.

Si la cantidad de calcio y magnesio es muy alta, cuando el agua se evapora o cuando cambian sus condiciones, se satura la solución y se forma un precipitado de carbonato de calcio y de hidróxido de magnesio que causan formación de sarro en equipos y tuberías y en algunos equipos industriales dañan éstos irreversiblemente.

Para disminuir la dureza a valores adecuados, se emplean resinas de intercambio iónico o se emplea el proceso de precipitación química de calcio y magnesio., como se describirá posteriormente.

Calidad bacteriológica del agua: La calidad microbiológica es el parámetro más importante en lo que se refiere a las características del agua y su potabilidad.

El agua puede ser vehículo de transmisión de varias enfermedades como: cólera, fiebre tifoidea, hepatitis, etc. por lo cual su caracterización bacteriológica es de suma importancia.



Figura 9: Dureza presente en el agua y consecuencias de la formación de depósitos de carbonato de calcio en accesorios y tuberías.

Mesofilicos aerobios: Una prueba para evaluar la calidad bacteriológica del agua, es la cuenta en placa de organismos mesofílicos aerobios. Para esto se toma 1 ml. de la muestra de agua a analizar y se inocula en un medio en el cual se encuentran todos los nutrientes que las bacterias requieren para su crecimiento y desarrollo. Las placas con la muestra y el medio de cultivo se incuban a 34°C por un periodo de 24, 48 y hasta 72 horas, y en cada uno de estos tiempos se efectúan las lecturas.

Estas lecturas consisten en contar en el campo de las placas (cajas de petri), el número de colonias desarrolladas en un periodo determinado. Estas colonias se presentan como puntos y su cuenta es el número de colonias en un mililitro de muestra. Obviamente si el número de bacterias esperado es muy grande, se puede diluir la muestra a la décima, centésima, milésima, diezmilésima, etc. y al momento de reportar el número de colonias por mililitro, se debe considerar la dilución de la muestra original si este es el caso.

Coliformes: Para evaluar mas ampliamente la calidad bacteriológica del agua se determina la presencia o ausencia de organismos coliformes. Los organismos patógenos están dentro del grupo de los coliformes, pero no todos los coliformes son patógenos, por lo que la presencia de coliformes en una muestra de agua no necesariamente indica la presencia de organismos causantes de enfermedad, sin embargo, para considerar un agua segura para beber o para actividades en las cuales el hombre tiene contacto íntimo con el agua, debe estar libre de organismos coliformes.

Los coliformes se determinan por medio de la técnica de número más probable (NMP) y por cuenta en placa en un medio de cultivo que es específico para el crecimiento de bacterias coliformes.

Los resultados se manejan de forma similar a como se hace en el caso de mesofílicos aerobios: se hace una cuenta en placa a las 24, 48 y 72 horas y se considera la dilución, si la muestra original fue diluida.

La cuenta de mesofílicos aerobios indica únicamente el grado de potabilidad del agua en valores relativos. Por ejemplo; un agua con menos de 10 col/ml. de mesofílicos aeróbicos y 0 coliformes/ml. se considera de buena calidad, mientras que un agua con 100,000 col/ml. de mesofílicos aeróbicos y cero coliformes por ml. se considera apta para consumo como agua potable pero indica una fuente de contaminación.

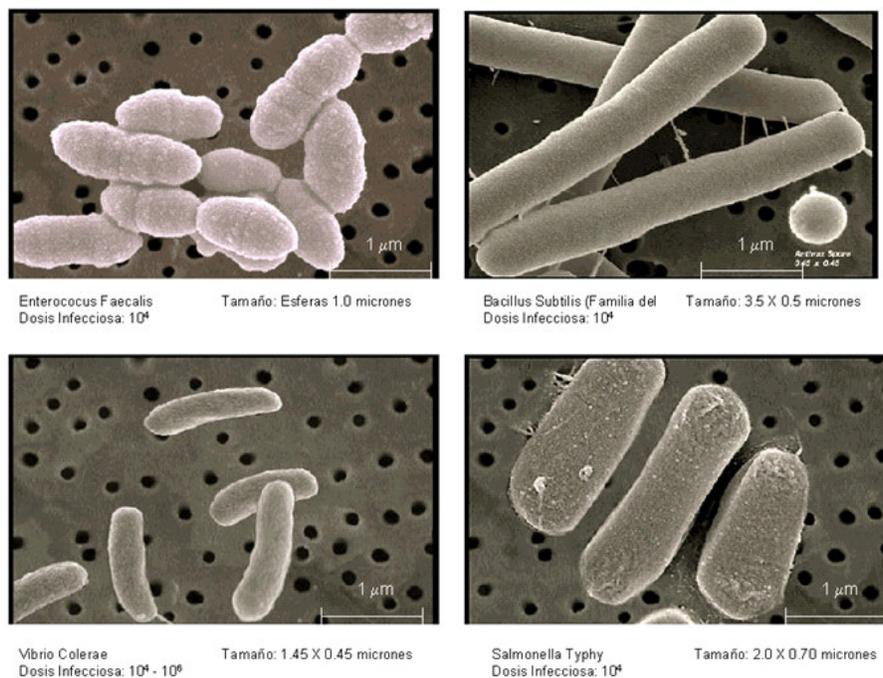


Figura 9: Microorganismos de carácter patógeno o causante de enfermedades como son: la bacteria del cólera, salmonella, shiguella y enterococcus fecalis.

Un agua de por ejemplo; 10 col/ml. de mesofílicos aerobios y 5 col/ml. de coliformes, no se recomienda para consumo como agua potable, aún y cuando no necesariamente los coliformes detectados sean patógenos.

1.3 COMPONENTES INDESEABLES EN EL AGUA, CONTAMINACIÓN Y SALUD:

El agua es el compuesto químico que todos los seres vivos requieren para subsistir; sin agua no hay vida. Desde microorganismos hasta seres superiores como plantas y animales realizan sus funciones metabólicas y el agua es indispensable para ello.

Es el vehículo de transporte de carbohidratos, proteínas y minerales indispensables para el funcionamiento de cualesquier organismo.

Aunque erróneamente algunas personas suponen que el agua potable es químicamente pura, el agua potable o que se considera adecuada para su consumo, contiene variables cantidades de sales minerales, principalmente de calcio, magnesio, sodio y potasio.

Estas sales minerales que siempre se encuentran presentes en las aguas naturales, son parte de los elementos que los seres vivos requieren como complemento de su dieta. Si no es así, deberán consumirse con otros alimentos como frutas y verduras o de lo contrario se presentarán deficiencias nutricionales.

Un agua que se consume como agua potable, es deseable que contenga sales que son parte de los nutrientes o en caso de consumirse agua desmineralizada (por proceso de ósmosis inversa, o procesos similares que remueven sales minerales del agua), las sales que contiene el agua deberán consumirse con otros alimentos que los tienen en abundancia.

Las aguas naturales que se consumen en la industria, los servicios y en otros usos, como ya se ha mencionado, pueden ser de fuentes subterráneas y fuentes superficiales. Las fuentes superficiales son las más susceptibles de contaminación ya que frecuentemente se vierten las aguas residuales domésticas e industriales a los ríos, lagos y lagunas.

Las aguas subterráneas son menos susceptibles a la acción depredadora del hombre, pero ya es común y sobre todo en años recientes, detectar la contaminación de los acuíferos por actividades antropogénicas.

La presencia de cantidades relativamente altas de fósforo y nitrógeno en las aguas potables superficiales y subterráneas, se debe a la actividad agrícola y forestal, en la cual se emplean cantidades exageradas y no controladas de fertilizantes, lo cual causa la eutrofización en los mantos acuíferos y la presencia de cantidades altas de nitratos que como se ha mencionado anteriormente no solo representa un desequilibrio en el ecosistema sino que también genera un problema de salud.

TENDENCIAS EN CONSUMO Y CALIDAD DEL AGUA POTABLE

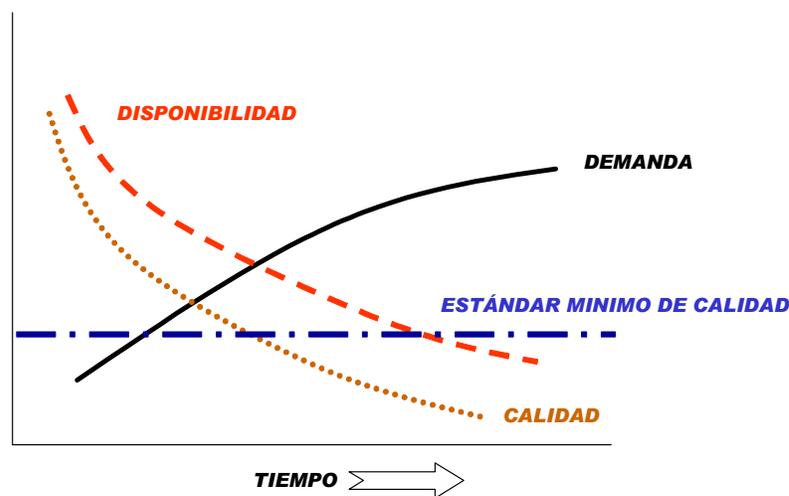


Figura 10: La tendencia mundial es: agua cada vez más escasa, de menor calidad y una demanda creciente por este recurso.

Por esta misma actividad agrícola y forestal mal practicada, se han podido detectar en acuíferos, restos de herbicidas y pesticidas en las aguas naturales, siendo las más susceptibles de daño, las aguas superficiales por su mayor probabilidad de contacto, aunque se han detectado cada vez con más frecuencia altos niveles de estos contaminantes en las aguas subterráneas, lo cual se debe a la infiltración de estos contaminantes desde las capas superiores hasta las capas subterráneas.

Compuestos orgánicos persistentes, que no son fácilmente biodegradados también se pueden presentar en las aguas naturales como resultado de derrames accidentales o por negligencia al mezclarse aguas residuales de la industria con las aguas naturales que se emplean como fuentes de agua potable.

Aceites minerales, gasolinas, derivados del petróleo y otros compuestos sintéticos como: dioxinas, benzopireno, creosotas, etc, algunos de ellos sumamente tóxicos aun a niveles de trazas, arruinan la calidad del agua potable y no la hacen adecuada para su consumo directo sin tratamientos previos.

Metales tóxicos como: cadmio, mercurio, arsénico, cromo, plomo, etc. también se pueden encontrar cada vez más frecuentemente en aguas naturales. La presencia de metales se debe a acciones antropogénicas o a causas naturales.

Los derrames accidentales de compuestos químicos, la presencia de estos metales en aguas residuales que irresponsablemente se permite que se integren a las aguas naturales o situaciones similares, son causantes de la presencia de metales tóxicos en las aguas de consumo.

No solo la actividad del hombre ha afectado la calidad del agua, también, la sobreexplotación de los acuíferos subterráneos y las sequías prolongadas han causado que los niveles de los mantos freáticos se vean disminuidos a niveles tales que la mineralogía del yacimiento en que está en contacto el agua cambia en sus características y se detectan niveles altos de metales en aguas que originalmente no tenían valores apreciables de estos.

Plomo, arsénico, fierro, manganeso, flúor y sales disueltas se pueden encontrar en cantidades relativamente altas en acuíferos sobreexplotados en deterioro de la calidad del agua, por lo que si este es el caso deben tomarse acciones correctivas.

El consumo de aguas con niveles de contaminantes por arriba de la norma establecida para aguas potables, puede causar desde inconvenientes en su uso y consumo hasta situaciones extremas con deterioro en la salud de los usuarios y consumidores.

Para proteger la salud de los consumidores y prevenir enfermedades en los usuarios, se han establecido estándares o normas de calidad en el agua potable.

1.4 ESTANDARES DE CALIDAD EN AGUA POTABLE:

El establecimiento de estándares de calidad del agua data de 1914 y tuvo como finalidad principal, el control y erradicación de enfermedades como: cólera, disentería y fiebre tifoidea. Con el paso del tiempo y con el uso y producción masiva de químicos sintéticos, se tuvo conciencia de la necesidad de monitorear y controlar éstos, ya que estudios toxicológicos de dichos productos demostraban una relación directa entre riesgo de cáncer y otras enfermedades con la exposición e ingestión de los químicos sintéticos.

En Estados Unidos la EPA (Environmental Protection Agency), es la responsable de establecer los lineamientos de calidad del agua y de hacerlos cumplir por los grandes usuarios. En Europa existen entidades similares en los países de este continente y lo mismo ocurre en América Latina. En México se cuenta con varios organismos que tienen como tarea el establecer y hacer que se cumplan los estándares de calidad y la normatividad en calidad de agua para su consumo como agua potable. Entre ellos se encuentra la CNA (Comisión Nacional del Agua), la SS (Secretaría de Salud) entre otros.

Estos se encargan de tareas como:

- ▶ Establecer los estándares que regulan los niveles de contaminantes en aguas potables
- ▶ Requerir a los sistemas públicos que proporcionan el servicio de agua potable, el monitorear y reportar los niveles de contaminantes identificados.
- ▶ Establecer líneas uniformes que especifiquen tecnologías aceptables de tratamiento, para remover los contaminantes y asegurarse que éstos queden por debajo de los límites máximos establecidos.

El establecimiento de un estándar es largo y complicado. Este incluye el identificar que substancias son de riesgo a la salud, conducir estudios sobre los efectos de los mismos, definir el máximo nivel permisible y establecer un estándar.

Los tipos de contaminantes se dividen en:

Contaminantes inorgánicos: Tales como: cromo, arsénico, plomo y mercurio.

Contaminantes orgánicos: Que incluye pesticidas, herbicidas, trihalometanos, solventes y otros compuestos orgánicos.

Turbidez: La cual se debe a la presencia de partículas coloidales en suspensión.

Contaminantes microbiológicos: Tales como bacterias, virus y protozoarios.

Contaminación radiológica: La cual se debe a la emisión de radiaciones de alta energía por efectos naturales o por la acción del hombre.

1.5 CONTAMINANTES Y COMPONENTES DE LAS AGUAS NATURALES Y FORMAS DE TRATAMIENTO Y REMOCIÓN.

Los contaminantes que cada vez con más frecuencia y en mayor cantidad se encuentran presentes en las aguas potables son los que ya han sido descritos, y su origen y forma de remoción o neutralización para tratamiento y acondicionamiento del agua son los que se describen en la Tabla I.

Tabla I: Componentes indeseables en el agua potable, orígenes y formas de remoción

Componente	Origen o composición	Formas de remoción
sólidos suspendidos	materia orgánica e inorgánica, microorganismos	sedimentación, filtración,
sólidos disueltos	lixiviación natural en acuíferos	nanofiltración, hiperfiltración, electrodiálisis
orgánicos refractarios	solventes industriales, insecticidas, herbicidas, plaguicidas, orgánicos sintéticos	adsorción con carbón activado, destrucción con ozono, nanofiltración, hiperfiltración
patógenos	microorganismos presentes en aguas no desinfectadas	desinfección con agentes oxidantes (cloro, ozono), desinfección con calor o con radiación UV
metales tóxicos	lixiviación natural en acuíferos, contaminación antropogénica	precipitación química, sedimentación, nanofiltración, hiperfiltración

1.5.1 ESTÁNDARES PRIMARIOS PARA AGUAS POTABLES:

Definición de estándar: Un estándar es el máximo nivel de concentración de un contaminante específico que un agua puede contener.

A su vez un estándar puede ser clasificado como NMP (Nivel Máximo Permitido) ó NMD (Nivel Máximo Deseado).

La diferencia entre NMP y NMD es que el primero es obligatorio, mientras que el NMD es aquel que en estudios en laboratorio no ha mostrado efectos adversos en la salud, pero cuya presencia es objetable y deteriora la calidad del agua para diversos usos

Los estándares primarios son aquellos que se tienen establecidos como límites máximos permisibles por ley. Estos máximos niveles establecidos son para aquellas sustancias de las cuales se tienen evidencias firmes de que son perjudiciales al consumidor en el corto, mediano o largo plazo.

Contaminantes microbiológicos: Son aquellos organismos microscópicos que son potenciales transmisores de enfermedades infecciosas como: cólera, hepatitis, disentería, fiebre tifoidea, etc.

El estándar establece que la muestra de agua no deberá contener más de 100 mesofílicos aeróbicos por mililitro y deberá registrar negativo a la prueba de coliformes.

Contaminantes inorgánicos: Son aquellos compuestos o sustancias que son de origen inorgánico y casi siempre químicamente muy simples.

Contaminantes orgánicos: Son sustancias químicas, generalmente de naturaleza muy compleja, y que se originan en forma natural, aunque casi siempre son sintetizadas químicamente por el hombre.

Contaminantes radiológicos: Este tipo de contaminación también puede ser espontánea o inducida por el hombre, ya que hay depósitos naturales en los cuales se produce radiación alfa y gama, pero también se presenta por desechos o residuos de la actividad humana.

1.5.2 ESTÁNDARES SECUNDARIOS PARA AGUAS POTABLES:

Estos estándares no son obligatorios y solo son una guía para el consumidor o para quien proporciona el servicio.

Si un agua tiene concentraciones por arriba de lo establecido en un estándar secundario, no se tendrán efectos adversos en la salud del consumidor (a menos que estén desproporcionadamente altos), pero la aceptación no será muy favorable ya que las cualidades estéticas del agua no son las deseables.

Tabla II: Estándares del reglamento nacional primario de agua potable de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)

Contaminante	MNMC ¹ (mg/l) ⁴	NMC ² o TT ³ (mg/l) ⁴	Posibles efectos sobre la salud por exposición que supere el NMC	Fuentes de contaminación comunes en agua potable
Químicos Inorgánicos				
Antimonio	0.006	0.006	Aumento de colesterol en sangre; descenso de azúcar en sangre (aumento de colesterolemia; hipoglucemia).	Efluentes de refinerías de petróleo; retardadores de fuego; cerámicas; productos electrónicos; soldaduras.
Arsénico	ninguno ⁵	0.05	Lesiones en la piel; trastornos circulatorios; alto riesgo de cáncer.	Erosión de depósitos naturales; agua de escorrentía de huertos; aguas con residuos de fabricación de vidrio y productos electrónicos.
Asbestos (fibras >10 micrómetros)	7 millones de fibras por litro (MFL)	7 MFL	Alto riesgo de desarrollar pólipos intestinales benignos.	Deterioro de cemento amiantado (fibrocemento) en cañerías principales de agua; erosión de depósitos naturales.
Bario	2	2	Aumento de presión arterial.	Aguas con residuos de perforaciones; efluentes de refinerías de metales; erosión de depósitos naturales.
Berilio	0.004	0.004	Lesiones intestinales.	Efluentes de refinerías de metales y fábricas que emplean carbón; efluentes de industrias eléctricas, aeroespaciales y de defensa.
Cadmio	0.005	0.005	Lesiones renales.	Corrosión de tubos galvanizados; erosión de depósitos naturales; efluentes de refinerías de metales; líquidos de escorrentía de baterías usadas y de pinturas.
Cromo (total)	0.1	0.1	Dermatitis alérgica.	Efluentes de fábricas de acero y papel; erosión de depósitos naturales.
Cobre	1.3	Nivel de acción=1.3; TT ⁶	Exposición a corto plazo: molestias gastrointestinales. Exposición a largo plazo: lesiones hepáticas o renales. Aquellos con enfermedad de Wilson deben consultar a su médico si la cantidad de cobre en el agua superara el nivel de acción.	Corrosión de cañerías en el hogar; erosión de depósitos naturales; percolado de conservantes de madera.
Cianuro (como cianuro libre)	0.2	0.2	Lesiones en sistema nervioso o problemas de tiroides	Efluentes de fábricas de acero y metales; efluentes de fábricas de plásticos y fertilizantes
Flúor	4.0	4.0	Enfermedades óseas (dolor y fragilidad ósea) Los niños podrían sufrir de dientes manchados	Aditivo para agua para tener dientes fuertes; erosión de depósitos naturales; efluentes de fábricas de fertilizantes y de aluminio.
Plomo	Cero	Nivel de acción=0.015;	Bebés y niños: retardo en desarrollo físico o mental; los niños podrían sufrir leve déficit	Corrosión de cañerías en el hogar; erosión de depósitos

		TT ⁶	de atención y de capacidad de aprendizaje. Adultos: trastornos renales; hipertensión	naturales.
Mercurio (Inorgánico)	0.002	0.002	Lesiones renales	Erosión de depósitos naturales; efluentes de refinерías y fábricas; lixiviados de vertederos y tierras de cultivo.
Nitrato (medido como nitrógeno)	10	10	Los bebés de menos de seis meses que tomen agua que contenga mayor concentración de nitratos que el NMC, podrían enfermarse gravemente; si no se los tratara, podrían morir. Entre los síntomas se incluye dificultad respiratoria y síndrome de bebé cianótico (azul).	Aguas contaminadas por el uso de fertilizantes; percolado de tanques sépticos y de redes de alcantarillado; erosión de depósitos naturales.
Nitrito (medido como nitrógeno)	1	1	Los bebés de menos de seis meses que tomen agua que contenga mayor concentración de nitritos que el NMC, podrían enfermarse gravemente; si no se los tratara, podrían morir. Entre los síntomas se incluye dificultad respiratoria y síndrome de bebé cianótico (azul).	Aguas contaminadas por el uso de fertilizantes; percolado de tanques sépticos y de redes de alcantarillado; erosión de depósitos naturales.
Selenio	0.05	0.05	Caída del cabello o de las uñas; adormecimiento de dedos de manos y pies; problemas circulatorios.	Efluentes de refinерías de petróleo; erosión de depósitos naturales; efluentes de minas.
Talio	0.0005	0.002	Caída del cabello; alteración de la sangre; trastornos renales, intestinales o hepáticos.	Percolado de plantas procesadoras de minerales; efluentes de fábricas de vidrio, productos
Químicos Orgánicos				
Acrilamida	Cero	TT ⁷	Trastornos sanguíneos o del sistema nervioso; alto riesgo de cáncer.	Se agrega al agua durante el tratamiento de efluentes y de agua de alcantarillado.
Alaclor	Cero	0.002	Trastornos oculares, hepáticos, renales o esplénicos; anemia; alto riesgo de cáncer.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas para cultivos.
Atrazina	0.003	0.003	Trastornos cardiovasculares o del sistema reproductor.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas para cultivos.
Benceno	Cero	0.005	Anemia; trombocitopenia; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de fábricas; percolado de tanques de almacenamiento de combustible y de vertederos para residuos.
Benzo(a)pireno	Cero	0.0002	Dificultades para la reproducción; alto riesgo de cáncer.	Percolado de revestimiento de tanques de almacenamiento de agua y líneas de distribución.
Carbofurano	0.04	0.04	Trastornos sanguíneos, del sistema nervioso o del sistema reproductor.	Percolado de productos fumigados en cultivos de arroz y alfalfa.
Tetracloruro de carbono	Cero	0.005	Trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de plantas químicas y de otras actividades industriales.
Clordano	Cero	0.002	Trastornos hepáticos o del sistema nervioso; alto riesgo de cáncer.	Residuos de termiticidas prohibidos.
Clorobenceno	0.1	0.1	Trastornos hepáticos o renales.	Efluentes de plantas químicas y de plantas de fabricación de agroquímicos.
2,4-D	0.07	0.07	Trastornos renales, hepáticos o de la glándula adrenal.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas para cultivos.
Dalapon	0.2	0.2	Pequeños cambios renales.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas utilizados en servidumbres de

				paso.
1,2-Dibromo-3-cloropropano (DBCP)	Cero	0.0002	Dificultades para la reproducción; alto riesgo de cáncer.	Aguas contaminadas/percolado de productos fumigados en huertos y en campos de cultivo de soja, algodón y piña (ananá).
o-Diclorobenceno	0.6	0.6	Trastornos hepáticos, renales o circulatorios.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
p-Diclorobenceno	0.075	0.075	Anemia; lesiones hepáticas, renales o esplénicas; alteración de la sangre.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
1,2-Dicloroetano	Cero	0.005	Alto riesgo de cáncer.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
1-1-Dicloroetileno	0.007	0.007	Trastornos hepáticos.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
cis-1, 2-Dicloroetileno	0.07	0.07	Trastornos hepáticos.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
trans-1,2-Dicloroetileno	0.1	0.1	Trastornos hepáticos.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
Diclorometano	Cero	0.005	Trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de plantas químicas y farmacéuticas.
1-2-Dicloropropano	Cero	0.005	Alto riesgo de cáncer.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
Adipato de di-(2-etilhexilo)	0.4	0.4	Efectos tóxicos generales o dificultades para la reproducción	Efluentes de plantas químicas.
Ftalato de di-(2-etilhexilo)	Cero	0.006	Dificultades para la reproducción; trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer	Efluentes de plantas químicas y de fabricación de goma.
Dinoseb	0.007	0.007	Dificultades para la reproducción	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas utilizados en soja y vegetales.
Dioxina (2,3,7,8-TCDD)	Cero	0.00000003	Dificultades para la reproducción; alto riesgo de cáncer	
Diquat	0.02	0.02	Cataratas	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas.
Endotal	0.1	0.1	Trastornos estomacales e intestinales.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas.
Endrina	0.002	0.002	Trastornos hepáticos.	Residuo de insecticidas prohibidos.
Epiclorohidrina	Cero	TT ⁷	Alto riesgo de cáncer y a largo plazo, trastornos estomacales.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial; impurezas de algunos productos químicos usados en el tratamiento de aguas.
Etilbenceno	0.7	0.7	Trastornos hepáticos o renales.	Efluentes de refinerías de petróleo.
Dibromuro de etileno	Cero	0.00005	Trastornos hepáticos, estomacales, renales o del sistema reproductor; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de refinerías de petróleo.
Glifosato	0.7	0.7	Trastornos renales; dificultades para la reproducción.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas.
Heptacloro	Cero	0.0004	Lesiones hepáticas; alto riesgo de cáncer	Residuos de termiticidas prohibidos.
Heptaclorepóxido	Cero	0.0002	Lesiones hepáticas; alto riesgo de cáncer	Descomposición de heptacloro.
Hexaclorobenceno	Cero	0.001	Trastornos hepáticos o renales; dificultades para la reproducción; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de refinerías de metales y plantas de

				agroquímicos.
Hexacloro-ciclopentadieno	0.05	0.05	Trastornos renales o estomacales.	Efluentes de plantas químicas.
Lindano	0.0002	0.0002	Trastornos hepáticos o renales.	Aguas contaminadas/percolado de insecticidas usados en ganado, madera, jardines.
Metoxicloro	0.04	0.04	Dificultades para la reproducción.	Aguas contaminadas/percolado de insecticidas usados en frutas, vegetales, alfalfa, ganado.
Oxamil (Vidato)	0.2	0.2	Efectos leves sobre el sistema nervioso.	Aguas contaminadas/percolado de insecticidas usados en manzanas, papas y tomates.
Bifenilos policlorados (PCB)	Cero	0.0005	Cambios en la piel; problemas de la glándula tímica; inmunodeficiencia; dificultades para la reproducción o problemas en el sistema nervioso; alto riesgo de cáncer.	Agua de escorrentía de vertederos; aguas con residuos químicos.
Pentaclorofenol	Cero	0.001	Trastornos hepáticos o renales; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de plantas de conservantes para madera.
Picloram	0.5	0.5	Trastornos hepáticos.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas.
Simazina	0.004	0.004	Problemas sanguíneos.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas.
Estireno	0.1	0.1	Trastornos hepáticos, renales o circulatorios.	Efluentes de fábricas de goma y plástico; lixiviados de vertederos.
Tetracloroetileno	Cero	0.005	Trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de fábricas y empresas de limpieza en seco.
Tolueno	1	1	Trastornos renales, hepáticos o del sistema nervioso.	Efluentes de refinерías de petróleo.
Trihalometanos totales (TTHM)	ninguno ⁵	0.10	Trastornos renales, hepáticos o del sistema nervioso central; alto riesgo de cáncer.	Subproducto de la desinfección de agua potable.
Toxafeno	Cero	0.003	Problemas renales, hepáticos o de tiroides; alto riesgo de cáncer.	Aguas contaminadas/percolado de insecticidas usados en algodón y ganado.
2,4,5-TP (Silvex)	0.05	0.05	Trastornos hepáticos.	Residuos de herbicidas prohibidos.
1,2,4-Triclorobenceno	0.07	0.07	Cambios en glándulas adrenales.	Efluentes de fábricas de textiles.
1,1,1- Tricloroetano	0.20	0.2	Problemas circulatorios, hepáticos o del sistema nervioso.	Efluentes de plantas para desgrasar metales y de otros tipos de plantas.
1,1,2- Tricloroetano	3	5	Problemas hepáticos, renales o del sistema inmunológico.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
Tricloroetileno	Cero	5	Trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de plantas para desgrasar metales y de otros tipos de plantas.
Cloruro de vinilo	Cero	2	Alto riesgo de cáncer.	Percolado de tuberías de PVC; efluentes de fábricas de plásticos.
Xilenos (total)	10	10	Lesiones del sistema nervioso.	Efluentes de refinерías de petróleo; efluentes de plantas químicas.
Radionuclidos				
Emisores de partículas beta y de fotones.	ninguno ⁵	4 milirems por año (mrem/año)	Alto riesgo de cáncer.	Desintegración radiactiva de depósitos naturales y artificiales de ciertos minerales que son radiactivos y pueden emitir radiación conocida como fotones

				y radiación beta.
Actividad bruta de partículas alfa	ninguno ⁵	15 picocurios por litro (pCi/l)	Alto riesgo de cáncer.	Erosión de depósitos naturales de ciertos minerales que son radiactivos y pueden emitir radiación conocida como radiación alfa.
Radio 226 y Radio 228 (combinados)	ninguno ⁵	5 pCi/l	Alto riesgo de cáncer.	Erosión de depósitos naturales.
Microorganismos				
<i>Cryptosporidium</i>	Cero	TT ⁸	Trastornos gastrointestinales (diarrea, vómitos, retortijones).	Desechos fecales humanos y de animales.
<i>Giardia lamblia</i>	Cero	TT ⁸	Trastornos gastrointestinales (diarrea, vómitos, retortijones).	Desechos fecales humanos y de animales.
Conteo de placas de bacterias heterotróficas(HPC)	N/A	TT ⁸	El HPC no tiene efecto sobre la salud; es sólo un método analítico usado para medir la variedad de bacterias comúnmente encontradas en el agua. Cuanto menor sea la concentración de bacterias en el agua potable, mejor mantenido estará el sistema.	Con el HPC se determinan las diversas bacterias que hay en forma natural en el medio ambiente.
<i>Legionella</i>	Cero	TT ⁸	Enfermedad de los legionarios, un tipo de neumonía ⁹ .	Presente naturalmente en el agua; se multiplica en los sistemas de calefacción.
Coliformes totales (incluye coliformes fecales y <i>E. coli</i>)	Cero	5.0% ¹⁰	Por sí mismos, los coliformes no constituyen una amenaza para la salud; su determinación se usa para indicar si pudiera haber presentes otras bacterias posiblemente nocivas ¹¹ .	Los coliformes se presentan naturalmente en el medio ambiente; los coliformes fecales y la <i>E. coli</i> provienen de heces fecales de humanos y de animales.
Turbidez	N/A	TT ⁸	La turbidez es una medida del enturbiamiento del agua. Se utiliza para indicar la calidad del agua y la eficacia de la filtración (por ejemplo, para determinar si hay presentes organismos que provocan enfermedades). Una alta turbidez suele asociarse a altos niveles de microorganismos causantes de enfermedades, como por ejemplo, virus, parásitos y algunas bacterias. Estos organismos pueden provocar síntomas tales como náuseas, retortijones, diarrea y dolores de cabeza asociadas.	Agua de escorrentía por el terreno.
Virus (entéricos)	Cero	TT ⁸	Trastornos gastrointestinales (diarrea, vómitos, retortijones).	Heces fecales de humanos y de animales.

Notas

1. Meta del Nivel Máximo del Contaminante (MNMC) Es el nivel de un contaminante en el agua potable por debajo del cual no se conocen o no se esperan riesgos para la salud. Los MNMC permiten contar con un margen de seguridad y no son objetivos de salud pública obligatorios.
2. Nivel Máximo del Contaminante (NMC) - Es el máximo nivel permitido de un contaminante en agua potable. Los NMC se establecen tan próximos a los MNMC como sea posible, usando para ello la mejor tecnología de tratamiento disponible y teniendo en cuenta también los costos. Los NMC son normas obligatorias.
3. Técnica de Tratamiento (TT) Proceso obligatorio, cuya finalidad es reducir el nivel de un contaminante dado en el agua potable.
4. Las unidades se expresan en miligramos por litro (mg/l) a menos que se indique otra cosa.
5. Los MNMC se establecieron luego de la Enmienda de 1986 a la Ley de Agua Potable Segura. El estándar para este contaminante se fijó antes de 1986. Por lo tanto, no hay MNMC para este contaminante.
6. El plomo y el cobre se regulan mediante una Técnica de Tratamiento que exige la implementación de sistemas que controlen el poder corrosivo del agua. El nivel de acción sirve como un aviso para que los sistemas de agua públicos tomen medidas adicionales de tratamiento si los niveles de las muestras de agua superan en más del 10 % los valores permitidos. Para el cobre, el nivel de acción es 1.3 mg/l y para el plomo es 0.015mg/l.
7. Todos y cada uno de los sistemas de agua deben declarar al estado, por escrito, que si se usa acrilamida y/o epíclorhidrina para tratar agua, la combinación (o producto) de dosis y cantidad de monómero no supera los

- niveles especificados, a saber: acrilamida = 0.05% dosificada a razón de 1 mg/l (o su equivalente); epíclorohidrina = 0.01% dosificada a razón de 20 mg/l (o su equivalente).
8. La Regla de Tratamiento de Agua de Superficie requiere que los sistemas que usan agua de superficie o subterránea bajo influencia directa de agua de superficie, (1) desinfecten el agua y (2) filtren el agua o realicen el mismo nivel de tratamiento que aquellos que filtran el agua. El tratamiento debe reducir los niveles de *Giardia lamblia* (parásito) en un 99.9% y los virus en un 99.99%. La *Legionella* (bacteria) no tiene límite, pero la EPA considera que si se inactivan la *Giardia* y los virus, la *Legionella* también estará controlada. En ningún momento la turbidez (enturbiamiento del agua) puede superar las 5 unidades nefelométricas de turbidez ("NTU") [los sistemas filtrantes deben asegurar que la turbidez no supera 1 NTU (0.5 NTU para filtración convencional o directa) en al menos el 95% de las muestras diarias de cualquier mes]; HPC- no más de 500 colonias por mililitro.
 9. La Enfermedad de los Legionarios se produce cuando las personas susceptibles inhalan un aerosol que contiene *Legionella*, no cuando se bebe agua que contiene *Legionella*. (Las duchas, grifos de agua caliente, jacuzzis y equipos de enfriamiento, tales como torres de enfriamiento y acondicionadores de aire, producen aerosoles). Algunos tipos de *Legionella* pueden provocar un tipo de neumonía llamada Enfermedad de los Legionarios. La *Legionella* también puede provocar una enfermedad mucho menos grave llamada fiebre Pontiac. Los síntomas la fiebre Pontiac pueden incluir: dolores musculares, cefaleas, tos, náuseas, mareos y otros síntomas.
 10. En un mes dado, no pueden detectarse más de 5.0% de muestras con coliformes totales positivas. (Para sistemas de agua en los que se recogen menos de 40 muestras de rutina por mes, no puede detectarse más de una muestra con coliformes totales positiva). Toda muestra que presente coliformes totales debe analizarse para saber si presenta *E. coli* coliformes fecales, a fin de determinar si hubo contacto con heces fecales humanas o de animales (coliformes fecales y *E. coli* son parte del grupo de coliformes totales).
 11. Coliformes fecales y *E. coli* son bacterias cuya presencia indica que el agua podría estar contaminada con heces fecales humanas o de animales. Los microbios que provocan enfermedades (patógenos) y que están presentes en las heces, causan diarrea, retortijones, náuseas, cefaleas u otros síntomas. Estos patógenos podrían representar un riesgo de salud muy importante para bebés, niños pequeños y personas con sistemas inmunológicos gravemente comprometido.

Tabla III: Estándares secundarios o no obligatorios de agua potable

Componente	Concentración máxima permitida	Consecuencias
Aluminio	0.2 mg/L	Precipita y forma coágulos en el agua
Cloruros	250 mg/L	Afecta el sabor del agua, causa problemas de corrosión
Color	16 Unidades de Color	Afecta las propiedades estéticas del agua
Flúor	2,0 mg/L	Fluorosis dental, a altos niveles daños al sistema óseo. En realidad ya se considera un estándar primario, obligatorio.
Agentes Espumantes	0.5 mg/L	Afecta las propiedades estéticas del agua
Fierro	0.1 mg/L	Daña los accesorios en contacto con el agua, mancha la ropa. Afecta el sabor del agua.
Manganeso	0.05 mg/L	Daña los accesorios en contacto con el agua, mancha la ropa. Afecta el sabor del agua. Causa los mismos efectos que el fierro.
Olor	Menos de 3 Unidades	Afecta las propiedades estéticas del agua
pH	6.5 a 8.5 Unidades de pH	Puede afectar el sabor del agua. Corrosión en equipos en contacto con el agua.
Plata	0.1 mg/L	Decoloración en la piel. Irritación al usuario sensible a este agente.
Sulfatos	250 mg/L	Afecta el sabor del agua. Tiene propiedades laxantes
STD (Sólidos Totales Disueltos)	500 mg/L	Afecta el sabor del agua. Causa inconvenientes en su uso doméstico e industrial.
Zinc	5 mg/L	Afecta el sabor del agua.