

CAPÍTULO 7

**FUNDAMENTOS PARA
LA CARACTERIZACIÓN
DE LAS AGUAS**

1. GENERALIDADES

Como ya hemos visto, durante su ciclo hidrológico, el agua es capaz de disolver sales minerales, acarrear greda, agentes contaminantes como desechos industriales, aguas residuales domésticas, etcétera.

La apariencia (el aspecto físico) del agua puede engañarnos totalmente con respecto a su calidad. Por ejemplo, si bebemos agua destilada a la que se ha añadido cantidades convenientes de sal de cocina, cianuro de sodio y *Shigella* —una bacteria causante de diarrea, generalmente acompañada por fiebre—, no sentiremos los efectos de la bacteria porque, como el cianuro de sodio es venenoso, habremos muerto antes. Sin embargo, el agua seguirá cristalina como si estuviera destilada; es decir, conservará un buen aspecto.

Para saber si el agua es o no peligrosa para la salud, se debe determinar sus características, que se obtienen mediante análisis de laboratorio físico-químicos, microbiológicos, de compuestos orgánicos y metales.

2. ANÁLISIS FÍSICOS

Estos exámenes dan a conocer el olor, el sabor, la apariencia y aceptabilidad del agua de una manera general.

Las determinaciones físicas más comunes son las siguientes:

2.1 pH

Con este examen solo determinamos si el agua es ácida (aquella característica que provoca la corrosión de las tuberías de fierro), neutra o básica. Una solución que tenga pH menor que 7 es ácida, la que tenga un pH equivalente a 7 es neutra y, si el pH es mayor que 7, la solución es alcalina.

2.2 Turbidez

La turbidez de una muestra de agua es la medida de la interferencia que presentan las partículas en suspensión al paso de la luz. Se debe a la arcilla, al lodo, a las partículas orgánicas, a los organismos microscópicos y a cuerpos similares que se encuentran suspendidos en el agua. La turbidez nos da una noción de la apariencia del agua y sirve para tener una idea acerca de la eficiencia de su tratamiento.

2.3 Color

El color del agua se debe a la presencia de sustancias orgánicas disueltas o coloidales, sustancias inorgánicas disueltas, así como cuerpos vivos presentes, tales como algas. Cuando hay turbidez, el agua presenta un color evidente y para obtener el color verdadero se recurre a algún mecanismo técnico. El color constituye una característica de orden estético y su acentuada concentración puede causar cierto rechazo.

2.4 Olor y sabor

Por lo general, la determinación que se realiza es la del olor (el olfato humano es más sensible que el paladar), debido a que el sabor depende de este.

En el agua, todas las sustancias inorgánicas pueden producir olor y sabor, según la concentración en que se encuentren. Los seres vivos, como las algas, el plancton, etcétera, también pueden producir olor y sabor. Debe recordarse que el cloro, además de ser desinfectante, puede quitar el olor, el sabor, e impedir la proliferación de algas (que producen olor, sabor y color); eliminar el fierro y el manganeso y coagular las materias orgánicas. Sin embargo, cuando el cloro está presente en exceso, puede producir olor y sabor en el agua (principalmente cuando esta tiene fenol).

Observación: cuando el agua posee compuestos de fenol y se desinfecta con cloro, adquiere un sabor a remedio.

3. ANÁLISIS QUÍMICOS

Los análisis químicos constituyen uno de los principales requisitos para caracterizar el agua. Las *Guías para la calidad del agua potable* de la Organización Mundial de la Salud (1995) señalan que los problemas relacionados con las sustancias químicas presentes en el agua de bebida se deben sobre todo a que ellas pueden afectar la salud después de una exposición prolongada. Entre los contaminantes químicos, los que generan especial inquietud son los que tienen propiedades tóxicas acumulativas, como los metales pesados y las sustancias carcinógenas.

Por otro lado, el empleo de desinfectantes químicos para tratar el agua produce, por lo general, la formación de productos químicos secundarios, algunos de los cuales son potencialmente peligrosos (OMS, 1995, p. 3).

Entre las sustancias químicas de importancia para la salud que pueden afectar el agua potable, destacan el cadmio, el cianuro, el cobre, el mercurio y el plomo.

El cadmio se utiliza en la industria siderúrgica y en los plásticos, y sus compuestos se aprovechan en las pilas o baterías. Además, las aguas residuales lo liberan en el medio ambiente, tal como los fertilizantes y la contaminación local del aire. El agua de bebida puede contaminarse de cadmio debido a impurezas del zinc que contienen las tuberías galvanizadas y las soldaduras, así como algunos accesorios de metal. Está clasificado como un carcinógeno probable para los seres humanos (OMS, 1995, p. 46). Como se observa en la tabla 1, el valor guía recomendado por la OMS para la presencia de cadmio en el agua de consumo humano es 0,003 miligramos por litro.

Como señalan las guías de la OMS (1995, pp. 46-47), los cianuros tienen una toxicidad aguda elevada. Pueden hallarse en ciertos alimentos y, ocasionalmente, afectan al agua de bebida por contaminación industrial. En algunas comunidades se han observado efectos en la tiroides y en el sistema nervioso como resultado del consumo prolongado de mandioca insuficientemente elaborada, que contiene altas dosis de cianuro. Como se señala en la tabla 1, el valor guía recomendado por la OMS para la presencia de cianuro en el agua de consumo humano es 0,07 miligramos por litro.

Según la misma fuente (OMS, 1995, pp. 47-48), las concentraciones de cobre en el agua de bebida suelen ser bajas, pero el hecho de que existan tuberías de este metal puede incrementarlas de manera considerable. Aunque la ingesta de cobre es necesaria para el organismo humano, en algunas personas, cuando la concentración del compuesto supera los tres miligramos por litro, se produce una irritación gástrica aguda y en adultos que padecen degeneración hepatolenticular, la regulación del cobre es defectuosa, por lo cual la ingestión prolongada puede provocar cirrosis. Finalmente, existe cierta inquietud por el hecho de que en los lactantes, el metabolismo del

cobre no está bien desarrollado y, desde 1984, se ha discutido la posibilidad de que el cobre presente en el agua de bebida genere la aparición de cirrosis hepática durante la primera infancia en lactantes alimentados con biberón. Como se observa en la tabla 1, el valor guía recomendado por la OMS para la presencia de cobre en el agua de consumo humano es 2 miligramos por litro.

El mercurio se encuentra en forma inorgánica en las aguas superficiales y subterráneas. Este metal afecta sobre todo al riñón, mientras que el metil-mercurio opera principalmente sobre el sistema nervioso central (OMS, 1995, p. 52). Como se observa en la tabla 1, el valor guía recomendado por la OMS para la presencia de mercurio en el agua de consumo humano es 0,001 miligramos por litro.

El plomo presente en el agua de consumo humano procede, en parte, de fuentes naturales por disolución, pero sobre todo de los sistemas de plomería doméstica. Se trata de un tóxico general que se acumula en el esqueleto. Sus efectos negativos para la salud son más perjudiciales en mujeres embarazadas, niños hasta los seis años de edad y lactantes. Es tóxico para el sistema nervioso y existen datos certeros de que concentraciones en la sangre inferiores a 30 microgramos por decilitro afectan al sistema nervioso de los niños. El plomo está clasificado como un posible carcinógeno para los seres humanos (OMS, 1995, pp. 55-56). Como se observa en la tabla 1, el valor guía recomendado por la OMS para la presencia de cianuro en el agua de consumo humano es 0,01 miligramos por litro.

Por otro lado, hay sustancias químicas cuya presencia puede producir quejas en los usuarios por diversas razones. Entre ellas, resaltan el cloruro, el cobre, el manganeso y el total de sólidos disueltos. Asimismo, hay que tomar en cuenta la dureza del agua.

Las concentraciones elevadas de cloruro forman un sabor desagradable en el agua y las bebidas, mientras que la presencia del cobre puede dificultar el uso de esta con fines domésticos, al aumentar, por ejemplo, la corrosión de los accesorios de hierro galvanizado y acero, lo que puede ocasionar la aparición de manchas en la ropa lavada y en las instalaciones de plomería (OMS, 1995, p. 131).

En cuanto al manganeso, en concentraciones superiores a 0,1 miligramo por litro también mancha las instalaciones de plomería y la ropa lavada, y produce en las bebidas un sabor desagradable. Además, como el hierro, puede producir que se acumulen depósitos en el sistema de distribución. Incluso, en ciertas concentraciones, suele ocasionar la aparición de un revestimiento en las tuberías que puede desprenderse en la forma de un precipitado negro. Por otro lado, ciertos organismos que tienen efectos molestos concentran el manganeso, lo que hace que el agua muestre problemas de sabor, olor y turbidez (OMS, 1995, p. 132).

El total de sólidos disueltos puede tener efectos significativos en el sabor del agua de consumo humano. Según las guías de la OMS, se piensa, por lo general, que con concentraciones inferiores a 600 miligramos por litro, el agua tiene un sabor agradable, que se deteriora progresivamente con concentraciones mayores a 1.200 miligramos por litro. Los niveles elevados de sólidos disueltos pueden provocar quejas de los consumidores, ya que pueden causar incrustaciones en las tuberías y los aparatos domésticos. Concentraciones muy bajas, por otro lado, pueden resultar inaceptables debido a su falta de sabor (OMS, 1995, pp. 133-134).

La dureza generalmente es causada por el calcio y, en menor grado, por el magnesio, disueltos en ella. Aunque la OMS no propone para la dureza un valor guía basado en criterios sanitarios, el grado de

dureza puede influir en la aceptación de esta por los usuarios, debido a sus efectos sobre el sabor y a la aparición de incrustaciones. La aceptación de la dureza puede ser muy variable según las comunidades, en función de las condiciones locales. En algunos casos, los consumidores toleran una dureza de más de 500 miligramos por litro (OMS, 1995, pp. 49, 131).

4. EXÁMENES BACTERIOLÓGICOS

4.1 Nociones sobre bacteriología

La bacteriología es el estudio de las bacterias. Las bacterias son microorganismos que se encuentran en el aire, en el suelo y en el agua. Pertenecen al reino de los protistas (organismos unicelulares o multicelulares sin diferencia tisular). Algunos autores las clasifican dentro del reino vegetal. Generalmente, son organismos de dimensiones microscópicas.

Las bacterias que usualmente se encuentran en las aguas de abastecimiento presentan de uno a cuatro micrómetros.

un micrómetro = 0,001 mm.

4.2 Origen de las bacterias existentes en las aguas

- a) bacterias cuyo hábitat es el agua;
- b) bacterias provenientes del suelo y transportadas al agua por la escorrentía;
- c) bacterias presentes en la atmósfera y transportadas al agua por la lluvia, y
- d) bacterias provenientes de desagües o de residuos orgánicos arrojados al agua.

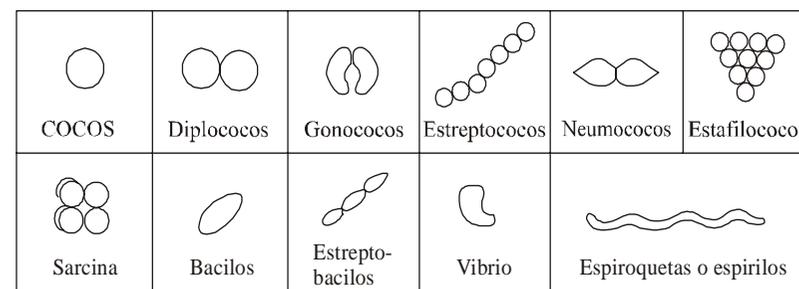
4.3 Factores que afectan el número de bacterias

- alteración del abastecimiento alimenticio (materia orgánica);
- temperatura;
- luz: propiedad germicida hasta los tres metros de profundidad;
- sedimentación;
- acción de otros seres vivos: por ejemplo, algunas algas producen antibióticos y los protozoarios ingieren las bacterias;
- filtración, y
- oxígeno disuelto (aerobios y anaerobios).

4.4 Clasificación de las bacterias

Para la elaboración de esta sección nos hemos basado en el libro *Microbiología*, de Michael Pelczar, Roger Reid y E. C. S. Chan (1981).

- Según su forma, las bacterias pueden ser:
 - cocos: son ovals o esféricos. Estos, a su vez, pueden ser:
 - diplococos;
 - gonococos;
 - neumococos;
 - estreptococos;
 - sarcinas, y
 - estafilococos.
 - bacilos: cilíndricos o en forma de bastón. Pueden ser:
 - estreptobacilos, y
 - vibrios.
 - espiroquetas o espirilos: de forma helicoidal o espiral.



- Según su nutrición, las bacterias pueden dividirse en dos grandes grupos: los llamados *fototrofos* y *quimiotrofos*:

fototrofos: son aquellas formas de vida, como las plantas verdes, que pueden consumir la energía de la luz.

quimiotrofos: son aquellas formas de vida incapaces de asimilar la luz y que se valen de la oxidación de compuestos químicos para obtener su energía; por ejemplo, la vida animal.

Ahora bien, entre las bacterias fototróficas, hay algunas especies que consumen CO_2 como fuente principal de carbono. Estas se denominan *fotolitotróficas*.

Otras precisan de un compuesto orgánico, y se llaman *fotoorganotróficas*.

Entre las bacterias quimiotróficas, hay algunas que oxidan compuestos inorgánicos para satisfacer sus necesidades de carbono, y se llaman *quimiolitotróficas*. Hay otras que requieren compuestos orgánicos de carbono a partir de los cuales obtienen energía mediante oxidación, y se denominan *quimioorganotróficas*.

- c) De acuerdo con la complejidad química de las sustancias nutritivas requeridas para el crecimiento, las bacterias se dividen en autotrofas y heterotrofas.

Las bacterias autotrofas tienen las necesidades más simples, puesto que poseen una capacidad muy compleja para llevar a cabo la síntesis de las sustancias nutritivas.

Las bacterias heterotrofas varían considerablemente en cuanto a sus necesidades de nutrientes específicos para el desarrollo. Todas requieren carbono orgánico, pero difieren en los tipos de compuestos orgánicos de carbono que pueden asimilar. Pueden tener necesidades nutricionales relativamente simples o sumamente complejas dependiendo de la especie.

Todas las especies de *Escherichia coli* son heterotrofas.

- d) Según su capacidad para causar enfermedades, las bacterias pueden ser:
- patógenas: causan enfermedades;
 - no patógenas: no las causan.
- e) Según su necesidad de oxígeno, las bacterias pueden ser:
- aerobias: necesitan oxígeno para vivir;
 - anaerobias facultativas: pueden vivir con oxígeno o sin él;
 - anaerobias estrictas: viven solo cuando no hay oxígeno, y
 - microaerófilas: viven con poco oxígeno.
- f) Según las reacciones bioquímicas producidas por las bacterias y su crecimiento en medios de cultivo. Por ejemplo, fermentación de lactosa por la *E. coli*.

- g) Mediante reacciones serológicas. Por ejemplo, identificación de las distintas especies de salmonellas.

- h) Las bacterias se pueden clasificar mediante técnicas más actualizadas. Por ejemplo, la inmunofluorescencia.

4.5 La observación en el microscopio y la coloración de Gram

Para la redacción de esta sección también nos hemos basado en el libro *Microbiología*, de Michael Pelczar, Roger Reid y E. C. S. Chan (1981).

Para estudiar las características morfológicas de las bacterias en el microscopio se usan dos técnicas generales: la suspensión de los organismos en un líquido y el empleo de películas o frotos desecados, fijos y teñidos de la muestra.

Las preparaciones fijas y teñidas son las que se usan con más frecuencia porque las células se pueden observar con más claridad después de teñidas y porque en las preparaciones teñidas se puede ver también las diferencias entre células de especies diferentes e incluso dentro de la misma especie.

Hay dos maneras de hacer esto: mediante una técnica de coloración simple —realizada a través de la aplicación de una solución colorante— y mediante procedimientos de coloración diferencial, que muestran diferencias entre las células bacterianas o entre partes de ellas.

Entre los procedimientos de coloración diferencial de uso más común en microbiología se encuentra la coloración de Gram. En esta técnica, la película o frote bacteriano teñido se somete a las soluciones

siguientes, en orden de prelación: cristal violeta, solución de yodo, alcohol y safranina, fucsina o alguna otra solución colorante de contraste.

Según el método de coloración de Gram, para la identificación morfológica, las bacterias pueden ser:

- gramnegativas, y
- grampositivas.

Las bacterias que retienen el cristal violeta y adoptan color violeta profundo son grampositivas; las que pierden el cristal violeta y aparecen rojas son gramnegativas. Esta reacción es importante para la clasificación de las bacterias.

Ejemplos:

Los cocos generalmente son grampositivos, con la excepción de las *Neisserias* (gonococos y meningococos). Los bacilos generalmente son gramnegativos, con la excepción de los géneros *Corynebacterium* (bacilo diftérico), *Bacillus* (por ejemplo, el bacilo del carbunco) y *Clostridium* (por ejemplo, el bacilo del tétanos).

Algunas características de las bacterias relacionadas con la reacción de Gram son las siguientes:

GRAMPOSITIVAS	GRAMNEGATIVAS
<ul style="list-style-type: none"> • Mucha sensibilidad a los detergentes; • sensibles a los sulfos, penicilina, tirotricina. 	<ul style="list-style-type: none"> • Poca sensibilidad a los detergentes; • poco sensibles o insensibles a los agentes citados en el recuadro izquierdo.

4.6 Resistencia de las bacterias a la destrucción

a) Al calor

- calor húmedo: 60 °C durante una hora (destrucción de las bacterias más sensibles);
- calor seco: 120 °C durante una hora.

b) A la luz solar

- el Sol es un poderoso agente bactericida, debido a los rayos ultravioletas.

c) A la temperatura ambiente

- alta (dentro de ciertos límites): acelera la reproducción, en caso de haber alimentos.
- baja: favorece la supervivencia pero retarda la reproducción.

d) A ciertos iones

- ejemplos: plata y cobre (acción oligodinámica).

e) A la desecación

4.7 Nociones sobre esterilización, desinfección, antisepsia, asepsia

a) Esterilización

Esterilizar un material es *destruir todos los microorganismos* que existen en él. Para la esterilización utilizamos agentes físicos, principalmente el calor, que puede ser húmedo o seco.

Calor húmedo

- hervor a 100 °C durante media hora (algunos microorganismos resisten esta temperatura);
- en autoclave, bajo una presión de 120 °C durante 15 minutos;
- esterilización parcial, con una temperatura menor a 100 °C durante un lapso de dos a tres días.

Calor seco

- flameo: paso de una material por la llama;
- calentamiento en estufa durante dos horas a una temperatura entre 170 °C y 180 °C, y
- rayos ultravioleta.

b) Desinfección

Desinfectar un material es destruir los microorganismos nocivos que existen en él.

La desinfección se obtiene mediante el uso de sustancias químicas (desinfectantes); por ejemplo, formol, ozono, cloro, etcétera.

c) Asepsia

Es el conjunto de medidas utilizadas para impedir la penetración de gérmenes allí donde no existen.

5. EXAMEN BACTERIOLÓGICO DEL AGUA

5.1 Necesidad del examen bacteriológico del agua

a) El examen bacteriológico es importante porque permite determinar las características del agua en estado natural, a fin de realizar las siguientes acciones:

- estudio del tipo de tratamiento efectuado;
- uso para consumo, recreación, irrigación, etcétera;

- clasificación de un curso de agua según tenga contacto con aguas residuales u otros desechos.

b) También es importante porque permite realizar la medición de la eficacia de las plantas de tratamiento de agua: agua en estado natural, decantada, filtrada y clorada.

c) Finalmente, permite efectuar un control de la potabilidad del agua distribuida.

Cabe resaltar que la caracterización del agua depende del uso que se le va a dar.

5.2 Toma de muestras para el examen bacteriológico

Es necesario usar frascos de vidrio no corrosivo o de plástico de boca ancha, estériles y con capacidad mínima de 250 mililitros. El método de muestreo se determina de acuerdo con el objetivo de estudio.

a) agua de los grifos: deje correr el agua durante un lapso de uno a dos minutos; destape el frasco esterilizado con todos los cuidados necesarios, llénelo hasta 4/5 de su capacidad y ciérrelo sin contaminar el material.

Nota: si el agua estuviera clorada, el frasco con el que se tomará una muestra de 100 mL deberá contener 0,1 mL de solución de tiosulfato de sodio al 3% para neutralizar el cloro residual.

b) pozos: cuando no hay grifos u otro tipo de conducción, amarre una cuerda esterilizada al frasco de toma de muestras y recolecte la muestra, siempre con todos los cuidados que demanda la asepsia. (Existen aparatos adecuados para la toma de muestras en profundidad.)

Observación: el frasco debe estar lleno hasta 4/5 de su volumen. Evite tomar puntos muertos.

c) agua de superficie: recolecte la muestra contra la corriente, lo más distante de la orilla para evitar puntos muertos, y siempre bajo la superficie (más o menos a 30 cm de profundidad).

Observación: los puntos de toma de muestras deben ser determinados a fin de que la muestra sea verdaderamente representativa.

Para mayor información sobre este tema, véase el capítulo 12.

5.3 Envío de la muestra al laboratorio

Una vez elegida la muestra, esta debe enviarse al laboratorio lo más rápido posible.

a) agua muy contaminada: antes de que transcurran seis a ocho horas después de la toma;

b) agua tratada o libre de contaminación: antes de que pasen 24 a 30 horas después de la toma;

c) conservación de la muestra: la muestra debe conservarse en refrigeradores portátiles hasta que se haga el análisis.

5.4 Indicadores de contaminación

La investigación de organismos patógenos en el agua es muy compleja. Además de las dificultades técnicas propiamente dichas, estas bacterias se encuentran en el agua en cantidad reducida y su llegada es intermitente. Como índice de su posible presencia en el agua, usamos otros organismos: los pertenecientes al grupo coliforme.

Los coliformes son organismos indicadores de contaminación fecal debido a las siguientes razones:

a) Normalmente se encuentran en el intestino del hombre y de los animales de sangre caliente.

b) Existen en las heces en una proporción de 300 millones por gramo de heces (algunas bacterias del grupo también se originan en el suelo o en los vegetales).

c) Debido a la prevalencia de los elementos del grupo coliforme en las aguas residuales, estos pueden ser rápidamente aislados en el agua recientemente contaminada por materia fecal.

De lo anterior se deduce que si el agua está contaminada por materia fecal, los agentes de enfermedades transmitidos por vía hídrica también podrán estar presentes en ella.

d) La ausencia de coliformes es prueba de que el agua es potable desde el punto de vista bacteriológico.

5.5 Características de los coliformes

Las bacterias del grupo coliforme se encuentran en el intestino, en las heces humanas y en las de animales de sangre caliente. Se denomina *organismos coliformes* a las bacterias gramnegativas en forma de bastoncillos, no esporuladas, aerobias y anaerobias facultativas y oxidasa negativa, capaces de crecer en presencia de sales biliares u otros compuestos tensoactivos; fermentan la lactosa a temperaturas de 35 °C a 37 °C con producción de ácido, gas y aldehído entre 24 y 48 horas. Pertenecen a este grupo los siguientes géneros: *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*.

5.6 Investigación de coliformes en el agua

Método de los tubos múltiples

Se efectúa mediante tres pruebas: presuntiva, confirmativa y completa.

a) Prueba presuntiva: consiste en colocar volúmenes determinados de muestra en una serie de tubos que contengan caldo lauril triptosa y son incubados a $35 \pm 0,5$ °C durante 24-48 horas. En esta prueba, la actividad metabólica de las bacterias es estimulada vigorosamente y ocurre una selección inicial de organismos que fermentan la lactosa con producción de gas.

b) Prueba confirmativa: consiste en transferir un inóculo de cada tubo positivo de la prueba presuntiva a tubos que contengan caldo de lactosa verde brillante bilis 2% e incubados posteriormente a $35 \pm 0,5$ °C durante 24-48 horas. Esta prueba reduce la posibilidad de resultados falsos positivos que pueden ocurrir por la actividad metabólica de bacterias formadoras de esporas. La formación de gas, el enturbiamiento y la fermentación dentro del lapso de 24 a 48 horas constituyen una prueba confirmativa de la presencia de coliformes. Los resultados se expresan en términos de Número Más Probable (NMP) de microorganismos.

c) Prueba completa: consiste en el traspaso de colonias provenientes de réplicas obtenidas en placas de agar Mac Conkey a tubos de caldo de lactosa y de agar inclinado.

Prueba para determinar los coliformes fecales (termotolerantes): se realiza a partir de tubos con caldo lauril triptosa positivo; se inocula en un medio EC con un asa de inoculación y se incuba en baño María a $44,5 \pm 0,2$ °C durante 24 horas.

5.7 Investigación de bacterias aerobias, en un medio de agar patrón u otro similar (en el agua)

Técnica: se cultiva un mililitro de agua (directamente) o un mililitro de agua diluida (diluciones decimales), en una placa Petri esterilizada. Se vierte el agar patrón u otro agar específico para el recuento de bacterias heterotróficas, fundido y enfriado a 46 °C.

Se incuba a 35 °C por 24 a 48 horas o a 20 °C a 48 horas.

Observación: las aguas cloradas necesitan 35 °C durante 48 horas.

Se cuentan las colonias con la ayuda de un lente de aumento o de un contador de colonias. Esto se expresa en número de coliformes por mililitro.

5.8 Estimación del Número Más Probable de coliformes (NMP)

El Número Más Probable (NMP) es el cálculo de la densidad probable de bacterias coliformes en la combinación de resultados positivos y negativos obtenidos en cada dilución. La precisión de cada prueba depende del número de tubos utilizados. Son necesarias tres diluciones para la obtención del código del NMP. Las tablas de NMP se basan en la hipótesis de una dispersión de Poisson (dispersión aleatoria). Sin embargo, si la muestra no se ha agitado adecuadamente antes de hacer las porciones o si existe agrupamiento de bacterias, el valor de NMP podrá resultar mayor que el número real de densidad bacteriana. La densidad bacteriana se obtiene a través de la fórmula facilitada o a través de tablas en las que se presenta el límite de confianza de 95% para cada valor determinado y se expresa como NMP de coliformes/100 mL.

$$\text{Valor de NMP en la tabla} = \frac{10}{\text{volumen de dilución inicial}} = \frac{\text{NMP}}{100 \text{ mL}}$$

6. NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA PARA EL CONSUMO DESDE EL PUNTO DE VISTA BACTERIOLÓGICO

Las siguientes son algunas de las normas de calidad del agua de bebida de algunos países latinoamericanos (Argentina, Bolivia, Brasil, Guatemala, Nicaragua y Perú) que han incorporado los valores guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS) como valores específicos para sus normas nacionales. Se han extraído del sitio web del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) (para ver la tabla completa, puede ingresar al sitio web: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/e/normas.html>), donde se hace la siguiente advertencia: “(1) No siempre se han obtenido las normas de los documentos oficiales de los países, por lo que los valores presentados pueden contener incorrecciones. Los presentes no son datos oficiales. (2) Si bien se ha tratado de colocar las últimas normas de cada país, es posible que existan versiones más actualizadas [...]. Algunos parámetros tienen valores muy distintos cuando comparados entre las distintas normas. Ello se debe a la forma de obtención del límite y (en unos pocos casos) a la forma de expresión de su concentración”. En la tercera columna se presentan, como punto de referencia, los valores guía de la OMS.

Tabla 1

PARÁMETRO	UNIDAD	OMS	ARGENTINA	BOLIVIA	BRASIL	GUATEMALA	NICARAGUA	PERÚ
Año		1995	1994	1997	1990	1998	1994	1999
Origen		Valores guía	Código alimentario	IBNORCA NBS12	Portaria 36-GM	NGO 29001	CAPRE	DIGESA (propuesta)
Microbiológicos								
Coli. fecales o E. Coli	UFC/100 mL	0	0	0	0	< 2,2	0	0
Coiliformes totales	UFC/100 mL	0	£ 3	0	0	< 2,2	£ 4	0
Bact. heterotróficas	UFC/mL	-	-	-	-	-	-	500
Químicos de importancia para la salud								
Inorgánicos								
Antimonio	mg/L	0,005	-	0,05	-	-	0,05	0,005
Arsénico	"	0,01	0,005	0,05	0,05	0,05	0,01	0,05
Bario	"	0,7	-	1	1	1	-	1
Boro	"	0,3	-	-	-	1	-	-
Cadmio	"	0,003	0,005	0,005	0,005	0,01	0,05	0,005
Cianuro	"	0,07	0,1	0,02	0,1	0,05	0,05	0,07
Cobre	"	2	1	0,05	1	1,5	2	1
Cromo	"	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Fluoruro	"	1,5	1,7	1,5	Variable	1,7	1,5	1,5
Manganeso	"	0,5	0,1	0,3	0,1	0,5	0,5	0,5
Mercurio	"	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001
Molibdeno	"	0,07	-	-	-	-	-	-
Níquel	"	0,02	-	0,05	-	0,02	0,05	0,05
Nitrato	"	50	45	-	10	45	50	10
Nitrito	"	3	0,1	0,05	-	0,01	1	0,9
Plomo	"	0,01	0,05	0,01	0,05	0,1	0,01	0,05
Selenio	"	0,01	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Orgánicos								
Tetracloruro de carbono	mg/L	2	3	-	3	-	2	-
Diclorometano	"	20	-	-	-	-	20	-
1.1 dicloroetano	"	NDS	0,3	-	-	-	-	-
1.2 dicloroetano	"	30	10	-	10	-	30	-
1.1.1 tricloroetano	"	2.000	-	-	-	-	2.000	-
Cloruro de vinilo	"	5	2	-	-	-	5	-
1.1 dicloroetano	"	30	-	-	0,3	-	30	-
1.2 dicloroetano	"	50	-	-	-	-	50	-
tricloroetano	"	70	-	-	30	-	70	-
tetracloroetano	"	40	-	-	10	-	40	-
benceno	"	10	10	-	10	-	-	-
tolueno	"	700	-	-	-	-	700	-
xilenos	"	500	-	-	-	-	500	-
etibenceno	"	300	-	-	-	-	300	-
estireno	"	20	-	-	-	-	20	-
benzopireno	"	0,7	0,01	-	0,01	-	0,07	-
monocloroben- ceno	"	300	3	-	-	-	300	-

PARÁMETRO	UNIDAD	OMS	ARGENTINA	BOLIVIA	BRASIL	GUATEMALA	NICARAGUA	PERÚ
1,2 diclorobenceno	"	1.000	500	-	-	-	1,000	-
1,3 diclorobenceno	"	NDS	-	-	-	-	-	-
1,4 diclorobenceno	"	300	400	-	-	-	300	-
Triclorobenceno	"	20	-	-	-	-	20	-
Adipato de di (2 etihexilo)	"	80	-	-	-	-	80	-
Ftalato de (2 etilhexilo)	"	8	-	-	-	-	8	-
Acilamida	"	0,5	-	-	-	-	0,5	-
Epiclorhidrina	"	0,4	-	-	-	-	0,4	-
Hexaclorobutadieno	"	0,6	-	-	-	-	0,5	-
EDTA	"	200	-	-	-	-	200	0
Ac. nitrilotriacético	"	200	-	-	-	-	200	-
Óxido de tributilestaño	"	2	-	-	-	-	2	-
Plaguicidas								
Alacloro	mg/L	20	-	-	-	-	20	-
Aldicarb	"	10	-	-	-	-	10	-
Aldrina/dieldina	"	0,03	0,03	-	0,03	17	0,03	0,03
Atrazina	"	2	-	-	-	-	2	-
Bentazona	"	30	-	-	-	-	30	-
Carbofurano	"	5	-	-	-	-	5	-
Clordano	"	0,2	0,3	-	0,3	3	0,2	0,3
DDT	"	2	1	-	1	50	2	1
2,4 D	"	30	100	-	100	100	30	50
1,2 dicloropropano	"	20	-	-	-	-	20	-
1,3 dicloropropano	"	20	-	-	-	-	20	-
Heptacloro y HCl-epóxido	"	0,03	0,1	-	0,01	18	0,03	0,03
Hexaclorobenceno	"	1	0,01	-	0,01	-	-	0,01
Lindano	"	2	3	-	3	56	2	2
Metoxicloro	"	20	30	-	30	35	20	20
Metolacloro	"	10	-	-	-	-	10	-
Molinato	"	6	-	-	-	-	6	-
Pendimetalina	"	20	-	-	-	-	20	-
Pentaclorofenol	"	9	10	-	10	-	9	-
Permetrina	"	20	-	-	-	-	20	-
Fenoprop	"	9	-	-	-	-	-	-
2,4,5 T	"	9	-	-	-	100	9	-
Desinfectantes y productos secundarios								
Monocloramina	mg/L	3	-	-	-	-	4,000	-
Cloro aplicado	"	5	-	-	-	-	5	-
Cloro residual	"	-	0,2	-	0,2	1	0,5	-
Plata	"	-	0,05	-	0,05	0,05	-	-

PARÁMETRO	UNIDAD	OMS	ARGENTINA	BOLIVIA	BRASIL	GUATEMALA	NICARAGUA	PERÚ
Bromato	"	25	-	-	-	-	25	-
Clorito	"	200	-	-	-	-	200	-
2,4,6 triclorofenol	"	200	10	-	10	-	200	-
Formaldehído	"	900	-	-	-	-	900	-
Trihalometanos	"	Nota	100	-	100	-	-	200
Bromoforno	"	100	-	-	-	-	100	-
Dibromoclorometano	"	100	-	-	-	-	100	-
Cloroformo	"	200	-	-	-	-	200	-
Radiactivos								
Radiactividad alfa global	Bq/L	0,1	-	0,1	-	-	-	-
Radiactividad beta global	"	1	-	1	-	-	-	-
Sustancias que pueden producir quejas en los usuarios								
Color	UCV	15	5	15	5	50	15	15
Olor	Varias	sin	sin	-	No obj.	No rechaz.	25°	Acept.
Sabor	Varias	-	sin	-	No obj.	No rechaz.	25°	Acept.
Turbidez	UNT	5	3	5	1	25	5	3
Temperatura	°C	-	-	-	-	34	30	-
Conductividad	m S/cm	-	-	-	-	-	400	1,500
Aluminio	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
Amoniaco	"	1,5	0,2	0,05	-	-	0,5	0,5
Cloruro	"	250	350	250	250	600	250	400
Dureza	"	-	400	500	500	500	400	500
Calcio	"	-	-	200	-	200	100	-
Magnesio	"	-	-	150	-	150	50	-
Hierro	"	0,3	0,3	0,3	0,3	1	0,3	0,3
pH	Unidad	-	8,5	8,5	8,5	9,2	8,5	8,5
Sodio	mg/L	200	-	200	-	-	200	-
Sulfato	"	250	400	300	400	400	250	400
Alcalinidad total	"	-	-	370	-	-	-	-
Detergentes	"	-	0,5	-	0,2	1	-	0,5
Sulfuro de hidrógeno	"	0,05	-	-	0,2	-	0,5	-
Sólidos disueltos totales	"	1,000	1,500	1,000	1,000	1,500	1,000	-
Zinc	"	3	5	5	5	15	3	3
Tolueno	mg/L	170	-	-	-	-	-	-
Xileno	"	1,800	-	-	-	-	-	-
Etilbenceno	"	200	-	-	-	-	-	-
Monoclorobenceno	"	120	-	-	-	-	-	-
Triclorobencenos (total)	"	50	-	-	-	-	-	-

FUENTE: CEPIS (<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/e/normas.html>), octubre del 2001.

6.1 Tablas sobre el Número Más Probable de coliformes/100 mL

Tabla 2

Prueba de potabilidad para 5 porciones de 10 mL

NÚMERO DE PORCIONES		NMP COLIFORMES/100 mL
NEGATIVAS	POSITIVAS	
5	0	< 2,2
4	1	2,2
3	2	5,1
2	3	9,2
1	4	16,0
0	5	>16,0

Tabla 3

Tabla de N.^{os} Más Probables (NMP) y límites de confianza de 95% para varias combinaciones de resultados positivos usando tubos con volúmenes de 10, 1 y 0,1 mL

5 TUBOS DE 10 mL	5 TUBOS DE 1 mL	5 TUBOS DE 0,1 mL	NMP /100 mL	LÍMITES DE NMP	
				INFERIOR	SUPERIOR
0	0	0	<2	-	-
0	0	1	2	1	10
0	1	0	2	1	10
0	2	0	4	1	13
1	0	0	2	1	11
1	0	1	4	1	15
1	1	0	4	1	15

5 TUBOS DE 10 mL	5 TUBOS DE 1 mL	5 TUBOS DE 0,1 mL	NMP /100 mL	LÍMITES DE NMP	
				INFERIOR	SUPERIOR
1	1	1	6	2	18
1	2	0	6	2	18
2	0	0	4	1	17
2	0	1	7	2	20
2	1	0	7	2	21
2	1	1	9	3	24
2	2	0	9	3	25
2	3	0	12	5	20
3	0	0	8	3	24
3	0	1	11	4	29
3	1	0	11	4	25
3	1	1	14	6	35
3	2	0	14	6	35
3	2	1	17	7	40
4	0	0	13	5	38
4	0	1	17	7	45
4	1	0	17	7	46
4	1	1	21	9	55
4	1	2	26	12	63
4	2	0	22	9	56
4	2	1	26	12	65
4	3	0	27	12	67
4	3	1	33	15	77
4	4	0	34	16	80
5	0	0	23	9	86
5	0	1	30	10	110
5	0	2	40	20	140

5 TUBOS DE 10 mL	5 TUBOS DE 1 mL	5 TUBOS DE 0,1 mL	NMP /100 mL	LÍMITES DE NMP	
				INFERIOR	SUPERIOR
5	1	0	30	10	120
5	1	1	50	20	150
5	1	2	60	30	180
5	2	0	50	20	170
5	2	1	70	30	210
5	2	2	90	40	250
5	3	0	80	30	250
5	3	1	110	40	300
5	3	2	140	60	360
5	3	3	170	80	410
5	4	0	130	50	390
5	4	1	170	70	480
5	4	2	220	100	580
5	4	3	280	120	690
5	4	0	350	160	820
5	5	0	240	100	940
5	5	1	300	100	1.300
5	5	2	500	200	2.000
5	5	3	900	300	2.900
5	5	4	1,600	600	5.300
5	5	5	>1,600	--	--

7. TIPOS DE EXÁMENES BACTERIOLÓGICOS QUE PODRÍAN REALIZARSE EN EL LABORATORIO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA

7.1 Colimetría (pruebas presuntiva y confirmativa)

- en el agua de la fuente, se realiza un examen mensual como mínimo;
- en el agua tratada y clorada (salida de la estación), el examen debe ser diario, y
- en el agua presente en los distintos puntos de la red, el examen también debe ser diario.

7.2 Conteo de colonias en placas (agar patrón)

Se realiza en las distintas fases de tratamiento del agua: en fuente, decantada, filtrada y clorada, para que el operador pueda controlar la eficacia del tratamiento y el estado de filtros y decantadores en cuanto a higiene; estas determinaciones podrían efectuarse cada dos días.

7.3 Otras técnicas bacteriológicas para el examen del agua

Además de la investigación de coliformes en el agua por el método de los tubos múltiples, se realizaron determinaciones mediante la técnica de las membranas filtrantes, pruebas bioquímicas y por microscopía de inmunofluorescencia, etcétera.

8. OTROS INDICADORES DE CONTAMINACIÓN

8.1 Estreptococos fecales

Además de los coliformes, también podemos examinar los estreptococos fecales en el agua. Estos organismos existen en menor cantidad que los coliformes en las heces de origen humano y no se multiplican en el agua.

9. APÉNDICE

9.1 Ficha para la toma de muestras de agua para el análisis bacteriológico

Identificación (numeración) y datos complementarios

Lugar de toma de la muestra
Fecha y hora de la toma
Fecha de ingreso en el laboratorio
Temperatura ambiente
Temperatura del agua
Lluvia (en las 24 horas previas)

1. Cuando las muestras provienen de un pozo, se debe indicar:

Profundidad
Edad del pozo
Condiciones higiénicas del lugar
Tipo de pozo
Capacidad del pozo
¿Existen fosas negras en las cercanías?

2. Cuando las muestras son de origen superficial, se debe indicar:

Origen (río, riachuelo, arroyo, etcétera)
Caudal (cuando sea posible)
¿Hay vertimiento de desagües aguas arriba?
¿A qué distancia?

3. Cuando la muestra proviene de una planta de tratamiento de agua, se debe indicar lo siguiente:

Fuente
Sistema de purificación: sulfato de aluminio, sulfato de cobre, carbón activado, ozono, cloro, etcétera
Sistema de filtración (lento, rápido, bajo presión)
Cloro residual en el agua de consumo
Condiciones higiénicas del depósito de distribución
¿Hay quejas sobre la calidad del agua?
¿Hay enfermedades de origen hídrico en las localidades vecinas?
Observaciones
Nombre del colector

10. FÓRMULAS DE MEDIOS DE CULTIVO Y DE COLORANTES

a) Caldo de lauril triptosa

Triptosa	20,0 g
Lactosa	5,0 g
Fosfato de hidrógeno dipotasio (K_2HPO_4)	2,75 g
Fosfato de dihidrógeno potasio (KH_2PO_4)	2,75 g
Cloruro de sodio (NaCl)	5,0 g
Lauril sulfato de sodio	0,1 g
Agua destilada	1 L

b) Caldo de lactosa con verde brillante bilis 2%

Disuelva 10 g de peptona y 10 g de lactosa en no más de 500 mL de agua destilada. Junte 20 g de bilis (de buey) deshidratada previamente en 200 mL de agua destilada disuelta.

Dicha solución deberá tener un pH entre 7,0 y 7,5. Complete con el agua destilada hasta obtener cerca de 975 mL. Adapte el pH para 7,4. Junte 13,3 mL de una solución a 0,1% de verde brillante en agua destilada. Complete el volumen hasta llegar a un litro y filtre a través de algodón. Distribuya, mediante tubos de fermentación Durham, en tubos mayores en un volumen de 10 mL por cada uno y esterilice a 121 °C durante 15 minutos.

Si hubiera dificultades en obtener buenos ingredientes para preparar este medio, se recomienda el uso del medio deshidratado proporcionado por un fabricante idóneo.

c) Agar Mac Conkey

Peptona	17 g
Proteosa peptona	3 g
Lactosa	10 g
Sales biliares n.º 3	1,5 g
Cloruro de sodio	5 g
Agar	13,5 g
Rojo neutro	0.03 g
Violeta cristal	0,001 g
Agua destilada	1.000 mL

d) Medio EC

Triptona	20 g
Lactosa	5 g
Mezcla de sales biliares n.º 3	1,5 g
Fosfato bipotásico	4 g
Cloruro de sodio	5 g
Agua destilada	1.000 mL

Caliente hasta que los ingredientes se diluyan, sin que hiervan. Distribuya, mediante tubos de fermentación Durham, en tubos, 5 mL por cada uno, y esterilice como ya se ha especificado.

e) Colorantes para el método Gram (modificación de Hucker)

• Cristal violeta oxalatado

Disuelva 2 g de cristal violeta (proporción en colorante de 85%) en 20 mL de alcohol etílico a 95% y mezcle con 80 mL de una solución acuosa a 10% de oxalato de amoníaco. Esta fórmula a veces produce una coloración muy intensa y algunos gérmenes gramnegativos no se decoloran bien. Entonces se puede diluir la solución de cristal violeta, hasta 10 veces en alcohol de 95% y mezcle volumen a volumen con la solución de oxalato.

• Solución de Lugol

Disuelva un gramo de yodo y 2 de yoduro de potasio en 300 mL de agua destilada.

• Solución de safranina

Disuelva 0,25 g de safranina en 10 mL de alcohol etílico de 95% y mezcle con 100 mL de agua destilada.

f) Agua de dilución

Solución madre: 34,0 g (fosfato de hidrógeno y potasio) KH_2PO_4
500 mL de agua destilada

adapte el pH a 7,2 con NaOH-1 N (complete hasta un litro, con agua destilada), guarde en la congeladora.

Agua de dilución: 1,25 mL de la solución en un litro de agua destilada. Distribuya en tubos de 9 mL o en frascos de 90 mL \pm 2mL. Utilice el autoclave a 121 °C durante 15 minutos. (*Observación:* a veces se necesita aumentar volúmenes mayores de agua porque durante la operación realizada en el autoclave se pierde.)

Recomendación: todos los reactivos utilizados en bacteriología deben ser químicamente puros y adecuados para fines biológicos.

11. CUIDADO DEL MATERIAL

a) *Material de vidrio:* debe ser rigurosamente limpiado y esterilizado en la estufa, a 170 °C, durante dos horas o en autoclave a 121 °C, 15 libras de presión durante 15 minutos.

b) *Medios de cultivo y agua de dilución:* se llevan al autoclave según instrucciones especiales del fabricante. Debe haber cuidado al desconectar el autoclave para que el medio no entre en ebullición; en ese caso, sería inutilizable. Los medios no deberán sufrir un sobrecalentamiento.