

Calidad de las aguas para consumo humano y principales riesgos sanitarios

WATER QUALITY FOR HUMAN CONSUMPTION AND MAIN HEALTH RISKS

Elena ESPIGARES, Juan Manuel ESPÍNOLA

Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública. Facultad de Farmacia. Universidad de Granada. Campus Universitario de Cartuja. CP 18071, Granada, España.

Correspondencia: Elena Espigares Rodríguez. Correo-e: elespi@ugr.es

RESUMEN

Se comentan los principales componentes químicos y microbiológicos habituales de las aguas destinadas al consumo humano, con especial atención a su importancia sanitaria. Igualmente se analiza la importancia de algunos de ellos como indicadores indirectos de contaminación fecal.

Palabras clave: Agua de consumo, indicadores químicos, contaminación fecal, infecciones gastrointestinales, coliformes, estreptococos fecales, clostridios sulfito-reductores.

ABSTRACT

The main habitual chemical components of waters intended for human consumption are discussed, with special attention to their sanitary importance. The relevance of some of them as indirect chemical indicators of faecal contamination is also analyzed.

Keywords: Drinking water, chemical indicators, faecal contamination, gastrointestinal infections, coliforms, fecal streptococci, sulfite-reducing clostridia.

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua de consumo humano constituye uno de los problemas más importantes en salud pública. Las enfermedades diarreicas son la segunda mayor causa de muerte de niños menores de cinco años (525000 niños menores de cinco años cada año). Una proporción significativa de las enfermedades diarreicas se puede prevenir mediante el acceso al agua potable y a servicios adecuados de saneamiento e higiene. En todo el mundo se producen unos 1700 millones de casos de enfermedades diarreicas infantiles cada año. Las intervenciones destinadas a prevenir las enfermedades diarreicas, en particular el acceso al agua potable, el acceso a buenos sistemas de saneamiento y el lavado de las manos con jabón permiten reducir el riesgo de enfermedad diarreica.

Entre las principales infecciones de transmisión fecohídrica se encuentran fiebre tifoidea y paratifoidea, cólera, botulismo, campilobacteriosis, salmonelosis, hepatitis A, poliomielitis, criptosporidiosis, infección por rotavirus, etc.

NECESIDADES DE AGUA

El agua es absolutamente imprescindible para la vida, por lo que la especie humana depende del agua. Pero las necesidades van más allá de lo necesitamos como especie biológica. Debemos distinguir entre necesidades para el metabolismo somático y para el exosomático.

Cantidad de agua

Necesitamos una cantidad de agua para cubrir el mínimo vital, que denominamos *necesidades biológi-*

cas o primarias, y que como a cualquier otra especie nos servirán para mantener nuestras funciones vitales: medio interno, excreción, termorregulación, etc. La cantidad necesaria para estas necesidades biológicas es realmente pequeña, 2-3 litros/día, pero es lo que condiciona fundamentalmente la calidad sanitaria del agua, ya que con el agua podremos ingerir sustancias tóxicas o microorganismos patógenos que alterarían nuestra salud.

- **METABOLISMO SOMÁTICO**
 - **Biológicas (primarias)**
2-3 L/h/d para beber
- **METABOLISMO EXOSOMÁTICO**
 - **Domésticas**
 - **Municipales y recreativas**
 - **Industriales**
 - **Agrícolas (70%)**

Tabla 1. Necesidades humanas de agua.

Sin embargo, es nuestro metabolismo exosomático lo que incrementa realmente las necesidades de agua, aumentando éstas cuanto mayor es el grado de desarrollo económico-social. Así tenemos necesidades *domésticas* (higiene personal y de la vivienda, lavado de ropa, etc.), que puede alcanzar en nuestro entorno más de 100 L/h/d (litros por habitante y día). A estas necesidades debemos añadir las *municipales* y *recreativas* (limpieza de calles, riego de jardines, piscinas, etc.), que sumadas a las necesidades domésticas se puede superar la cifra de 300 L/h/d. Por último, hay que añadir las necesidades *industriales* y *agrícolas*, de las que estas últimas pueden alcanzar más del 70 % de todas las necesidades de agua para la población humana.

Cuando no se dispone de los recursos hídricos que demanda la población, se produce un freno al desarrollo y un aumento del riesgo sanitario tanto en enfermedades transmisibles como no transmisibles. La OMS ha evaluado el riesgo para la salud en función de la disponibilidad de agua (tabla 2), y señala que sólo a partir de un promedio de 100 L/h/d el riesgo para la salud es muy bajo. Teniendo en cuenta esta recomendación, la legislación española (Real Decreto 140/2003 de 7 de febrero; BOE 21 febrero 2003) establece que la cantidad de agua suministrada “deberá ser suficiente para las necesidades higiénico-sanitarias de la población y el desarrollo de la actividad de la zona de abastecimiento, como *objetivo mínimo debería tener 100 litros por habitante y día*”.

Calidad del agua

Las exigencias del suministro de agua para consumo humano no sólo afectan a la cantidad, sino que necesario que tenga una *calidad* adecuada.

<i>Volumen promedio de agua disponible</i>	<i>Riesgo para la salud</i>
Muy bajo (5 litros por persona y día)	MUY ALTO Muy escasas prácticas de higiene. Peligra el consumo básico.
Promedio de 20 litros por persona y día	ALTO Puede peligrar la higiene. La ropa se lava fuera de la vivienda.
Promedio aproximado de 50 litros por persona y día	BAJO Agua suministrada mediante un grifo que comparten varios vecinos. Por lo general, no peligra la higiene. La ropa se lava en la vivienda.
Promedio de 100 a 200 litros por persona y día.	MUY BAJO Suministro de agua mediante múltiples grifos en la vivienda. No peligra la higiene. La ropa se lava en la vivienda.

Tabla 2. Riesgo para la salud en función de la disponibilidad de agua para consumo (según OMS).

El agua destinada al consumo humano debe reunir dos características fundamentales:

a) *Sin riesgos para la salud*: esto significa que debe estar exenta de sustancias o microorganismos que puedan alterar la salud.

b) *Sin efectos adversos*: su calidad tiene que ser tal que no deteriore las instalaciones o cause daños en las infraestructuras.

El agua en la naturaleza no es una sustancia pura, ya que durante el ciclo del agua incorpora sustancias del medio ambiente por disolución o arrastre, o por contaminación debida a la actividad antrópica. Una forma de considerar la calidad del agua es diferenciar su contenido en tres grupos:

- *Componentes habituales del agua*: se incorporan al agua de forma natural y están presentes de forma habitual en distintas concentraciones.
- *Componentes de origen antrópico*: como consecuencia de la actividad humana, es decir, son contaminantes.
- *Microorganismos*: aunque en pequeña cantidad se pueden encontrar microorganismos en el medio hídrico natural, el aumento de éstos o la presencia de patógenos, como consecuencia de acciones antrópicas, alterarán la calidad del agua con enorme riesgo para la salud.

COMPONENTES HABITUALES DEL AGUA

El agua de lluvia incorpora sustancias del medio ambiente, por disolución de los materiales que atraviesa. Son componentes habituales: cloruros, sulfatos, carbonatos, sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, etc. La mayor parte de ellos no tienen efecto sanitario a las concentraciones habituales en el agua, si bien se suelen establecer unas concentraciones máximas admisibles en las que no se vea alterado el sabor del agua.

Algunos de ellos, que se comentan a continuación, tienen un gran interés sanitario desde el punto de vista del control, vigilancia y tratamiento del agua para suministro público.

pH

Representa el comportamiento ácido o alcalino en función de las distintas sustancias presentes en el agua, de las que el dióxido de carbono constituye uno de los factores más importantes.

Este parámetro tiene escasa repercusión sanitaria, pero tiene connotaciones, sobre todo de tipo económico, al intervenir como un importante parámetro en los procesos de incrustación o de corrosión, dando lugar a la precipitación o solubilización de metales tóxicos de las conducciones.

Otro aspecto importante del pH es su influencia en los distintos procesos de tratamiento (desinfección, ablandamiento, coagulación-floculación).

Según las recomendaciones sanitarias valores aceptables de pH para el agua potable deben oscilar entre 6.5 y 9.5.

Turbidez

La turbidez del agua está producida por partículas coloidales, de un tamaño entre 10 y 0.001 μm . Debido a su pequeño tamaño, a las fuerzas de repulsión y al movimiento browniano, permanecen suspendidas en el agua durante mucho tiempo, con una velocidad de sedimentación muy pequeña (<5 mm/h). Las partículas que se encuentran en el agua son *electrocoloides negativos*, constituidos por limos, coloides orgánicos, microorganismos, quistes y ooquistes. La turbidez se determina por nefelometría, generalmente mediante el método de la hidracina, y se mide en UNF (unidades nefelométricas de formacina).

La turbidez directamente no produce alteración de la salud, pero tiene indirectamente importantes efectos sanitarios:

- Causa *ineficacia en los procesos de desinfección*: la turbidez protege a los microorganismos que se encuentran en el agua, disminuyendo la eficiencia de la cloración, ozonización, y desinfección mediante radiación UV u otros procedimientos. Cuando el agua captada para suministro tiene una turbidez >1 UNF la normativa española señala que debe ser sometida a tratamiento (coagulación-floculación

y/o filtración en arena), hasta que presente <1 UNF, para una desinfección eficaz.

- *Adsorción de sustancias orgánicas*: la superficie de las partículas coloidales pueden adsorber sustancias orgánicas contaminantes, facilitando su presencia en el agua.
- Impacto negativo en la *aceptabilidad*: la presencia de turbidez produce un rechazo para el consumo, reduciendo la ingesta de agua lo que afecta a la población en general, y muy especialmente a los ancianos, que tienen tendencia a la deshidratación.
- Indicador para el *control de los tratamientos*: la turbidez en el agua tratada indica que los tratamientos no se realizan de forma eficiente.

Conductividad

Otro parámetro sanitariamente importante, cuando nos referimos a los componentes habituales, es la *conductividad*, porque muestra de una forma global el contenido salino del agua. Este parámetro totaliza las sustancias de carácter iónico presentes en un agua, lo cual permitirá apreciar, mediante una única medida, un cambio significativo en la mineralización.

Se denomina *conductividad* a la magnitud inversa a la resistencia eléctrica. La unidad que se emplea es la inversa del ohmio (Ω^{-1}), denominándose *Siemens* (S). Cuando las conductividades son pequeñas, como suele ocurrir en las aguas para consumo, se utiliza generalmente el μS .

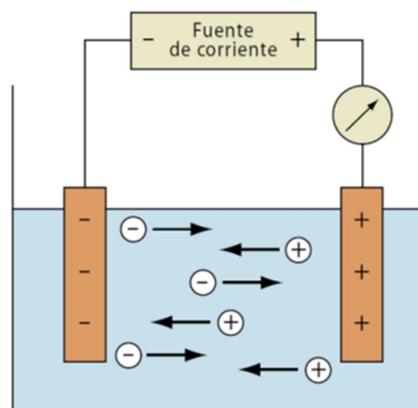


Figura 1. Esquema del conductímetro.

La conductividad también depende de la distancia que en el agua tiene que recorrer la corriente eléctrica por lo que se expresa por unidad de longitud ($\mu\text{S}/\text{cm}$). También depende de la temperatura, ya que cuanto mayor es la temperatura mayor es la conductividad, por lo que se estandariza la medida de la conductividad a 20 °C (en algunos países se expresa a 25 °C, pero se puede transformar mediante la siguiente expresión: $CE_{20^\circ\text{C}} = CE_{25^\circ\text{C}} / 0.9$).

Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	Mineralización (mg/L)
< 50	$1,365079 \times C$
50-166	$0,947658 \times C$
166-333	$0,769574 \times C$
333-833	$0,715920 \times C$
833-10000	$0,758544 \times C$
> 10000	$0,850432 \times C$

Tabla 3. Relación entre conductividad y mineralización.

La conductividad se puede transformar en *mineralización*, que expresaría el contenido en sustancias minerales (iónicas) que contiene el agua. La transformación se puede hacer multiplicando la conductividad por un coeficiente, como se observa en la tabla adjunta. A la mineralización también se le denomina *sólidos disueltos totales*.

Cada agua natural tienen una conductividad que la caracteriza, pero la importancia sanitaria radica en los siguientes aspectos:

- *Indicador del grado de mineralización*: el conocimiento del grado de mineralización del agua es importante, ya que aguas excesivamente mineralizadas no son óptimas para la salud.
- *Indicador de contaminación*: es un indicador de carácter diferencial, ya que si se produce un aumento de la conductividad de un agua nos estará indicando una contaminación (p. ej. si en el grifo el agua tiene más conductividad que a la salida de la estación depuradora indicará que se ha producido una contaminación en la red de distribución).
- *Indicador de procesos de tratamiento*: muchos de los tratamientos del agua implican la adición de productos químicos, por lo que un aumento de la conductividad indicará que se están solubilizando sustancias, y por lo tanto que los tratamientos no se están realizando adecuadamente.

Dureza

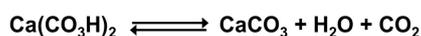
Se denomina *dureza* de un agua a su contenido en sales de calcio y magnesio. Se puede diferenciar en:

Dureza cálcica: contenido en sales de calcio.

Dureza magnésica: contenido en sales de magnesio.

Dureza total: suma de la dureza cálcica y magnésica.

Dureza carbonatada o temporal: corresponde a la dureza que se encuentra en forma de bicarbonatos. Se denomina así porque cuando se calienta el agua (recipientes de cocina, calentadores, electrodomésticos, etc.), precipita el carbonato cálcico insoluble, produciendo un deterioro. La reacción que representa este proceso es la siguiente:



Dureza no carbonatada o permanente: corresponde al calcio y magnesio asociado a aniones no carbonatados: sulfatos, cloruros, nitratos, etc.

El contenido de dureza de un agua se puede expresar de varias formas:

Contenido de calcio (mg/L)

Contenido de magnesio (mg/L)

Dureza: no se puede sumar el contenido de calcio y magnesio en mg/L, ya que son especies diferentes. Es necesario transformarlos en unidades homogéneas para poder hacer la suma y expresar así la dureza total. Las unidades en que se transforma el contenido de calcio y magnesio son las siguientes:

Miliequivalentes/litro

Miligramos de CaCO₃/litro

Grados hidrotimétricos

La dureza es un parámetro al que la población concede una enorme importancia, ya que afecta a las instalaciones domésticas. Las aguas duras se comportan como *incrustantes*, al precipitar carbonato cálcico, lo cual produce un rechazo en la población abastecida. Sin embargo, la dureza no constituye un problema sanitario, de forma que ni la OMS ni la legislación española establecen niveles máximos de este parámetro. A continuación se muestran algunos posibles efectos sanitarios:

- La dureza contribuye a la adecuada ingesta de calcio y magnesio (hasta el 50%), y por tanto al aporte de calcio y magnesio en poblaciones con escasa alimentación.
- El calcio reduce el riesgo de osteoporosis.
- El calcio del agua ingerido con la comida se une al ácido oxálico y reduce el riesgo de litiasis renal, mientras que el calcio en forma de suplementos dietéticos incrementa el riesgo de litiasis.
- Las aguas con escaso contenido en magnesio constituyen un factor de riesgo para las arritmias, enfermedades coronarias e hipertensión.
- El exceso de calcio en el agua puede interferir con la absorción de otros metales (Fe, Zn).

No obstante, hay que tener en cuenta que la mayor parte de la ingesta de calcio y magnesio se produce a través de la alimentación, y que 1-3 litros de consumo diario de agua suponen un menor aporte de estos iones.

Alcalinidad

Representa el contenido en sustancias alcalinas que tiene el agua, que son hidróxidos (OH^-), carbonatos (CO_3^{2-}), y bicarbonatos (HCO_3^-). La determinación de la alcalinidad se realiza mediante una titulación con ácido (generalmente con ácido sulfúrico 0.02 N), y generalmente se expresa en mg/L de CaCO_3 . Se consideran dos puntos de valoración:

Título alcalimétrico (TA): expresa al gasto de ácido hasta alcanzar pH 8.3 (punto de viraje de la fenoltaleína). Corresponde a la presencia de hidróxidos y carbonatos. Por esto, un agua

con un $\text{pH} < 8,3$ tendrá toda la alcalinidad en forma de bicarbonatos.

Título alcalimétrico completo (TAC): corresponde al gasto de ácido en la valoración de un agua hasta llegar a pH 4.5 (punto de viraje del rojo de metilo). Corresponde por lo tanto a la *alcalinidad total*, incluyendo el conjunto de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos.

Mediante los parámetros TA y TAC se puede calcular el contenido de cada uno de los constituyentes de la alcalinidad (p.ej. como se ha indicado anteriormente, si $\text{TA}=0$, el TAC corresponde a bicarbonatos).

La alcalinidad no tiene efectos sanitarios pero es muy importante para conocer los efectos adversos que puede producir el agua (corrosión, incrustaciones, etc.).

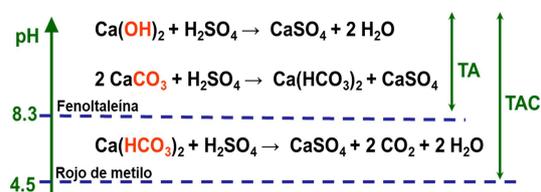


Figura 2. Reacciones en la medida de alcalinidad (TA: título alcalimétrico; TAC: título alcalimétrico completo).

Índice de saturación

Si el agua no está en equilibrio iónico se pueden producir efectos indeseables, de forma que podemos clasificar el agua en tres categorías:

- *Agua incrustante:* precipita carbonato cálcico en las instalaciones.
- *Agua agresiva:* ataca y disuelve los materiales de las conducciones e instalaciones.
- *Agua en equilibrio:* no actúa como incrustante ni como agresiva.

Desde un punto de vista sanitario es más peligrosa un agua agresiva, ya que disuelve metales presentes en las instalaciones que pueden ser tóxicos (plomo, níquel, cromo, cadmio, etc.).

Para conocer este comportamiento del agua se utiliza el *índice de saturación*, también llamado *índice de Langelier*. Se obtiene mediante un cálculo, desarrollado por Langelier, a partir de algunos parámetros del agua:

pH : corresponde al pH real medido en el agua.

pH_s : se denomina *pH de saturación*, y es un pH teórico que se calcula a partir de 4 parámetros: conductividad, alcalinidad, calcio y temperatura del agua. Define el pH en el que el agua estaría en equilibrio iónico.

El índice de saturación (IS) se calcula según la siguiente expresión:

$$\text{IS} = \text{pH} - \text{pH}_s$$

Se interpreta de la siguiente forma:

$\text{IS} > 0$: agua incrustante (el agua es más alcalina de lo que correspondería al equilibrio).

$\text{IS} < 0$: agua agresiva (es más ácida que en equilibrio teórico).

$\text{IS} = 0$: agua en equilibrio (en la práctica se considera un agua en equilibrio con un índice de saturación de ± 0.5).

Flúor

Es un elemento que tiene una gran importancia sanitaria por sus efectos en relación con la caries y la fluorosis dental.

El flúor está implicado en la protección contra la disolución del esmalte dental por los ácidos en la placa bacteriana, constituyendo un mecanismo de prevención primaria cuando se encuentra en las aguas de bebida a una concentración óptima, según la OMS, entre 0.5 y 0.9 mg/L. Esta protección es debida a la resistencia que adquiere el esmalte por la sustitución de la hidroxiapatita por fluorapatita.

Una posible vía de administración de flúor es mediante la adición de fluoruros en el agua de consumo, ya que se puede favorecer a un colectivo más amplio que el que se beneficiaría mediante la aplicación de métodos individuales. Pero antes de plantearse cualquier medida profiláctica, es necesario conocer la ingesta de flúor en la población, tanto a través del agua como de la alimentación (los niveles de exposición diaria a este compuesto dependen de los hábitos alimentarios; un régimen de alimentación rico en pescado y té origina exposiciones altas).

En las embarazadas, la administración de flúor sólo beneficia a la madre, debido a que no atraviesa la barrera placentaria, debiendo protegerse al niño inmediatamente después del nacimiento e incluso antes de la irrupción de la primera dentición.

Otro problema sanitario inherente al flúor es la fluorosis dental que produce un moteado permanente en el esmalte. Con concentraciones en el agua de 2 mg/L o más, ya se producen manchas blanco parduscas en las piezas dentarias, observándose una sintomatología más o menos generalizada cuando los concentraciones de flúor son mucho mayores (la ingesta repetida de agua con concentraciones de flúor superiores a 50 ppm pueden producir trastornos respiratorios, nerviosos y tiroideos).

En la legislación vigente se establece 1.5 mg/L como concentración máxima, pero no se establece un nivel mínimo, ya que como se ha indicado, la ingesta de flúor no depende sólo del consumo de agua.

COMPONENTES DE ORIGEN ANTRÓPICO

Oxidabilidad al permanganato

Constituye un test que convencionalmente se considera equivalente a la *materia orgánica* presente en el agua. También recibe la denominación de *oxígeno absorbido del permanganato*.

La presencia de materia orgánica en el agua indica una contaminación fecal, puesto que las heces, y en consecuencia las aguas residuales, tienen un alto contenido en materia orgánica, por lo tanto la oxidabilidad se considera *indicador químico indirecto de contaminación fecal*.

Es un parámetro de suma importancia en el control de calidad de las aguas de consumo público, ya que de forma sencilla se puede determinar el riesgo que entraña la contaminación fecal para la transmisión de infecciones fecohídricas.

Amonio

Es una sustancia que cuando se encuentra en el agua generalmente procede de la desaminación de las sustancias orgánicas nitrogenadas, que se incorporan al agua mediante la contaminación fecal. Aunque el amonio no tiene efectos directos sobre la salud, su importancia sanitaria radica en que se considera, junto a la oxidabilidad al permanganato, como *indicador químico indirecto de contaminación fecal*.

El amonio se incluye habitualmente como parámetro para el control de calidad de las aguas de consumo público.

Nitratos y nitritos

Son dos iones de una gran importancia en las aguas de consumo, ejerciendo un efecto negativo en la salud, con acciones tóxicas.

En condiciones normales las concentraciones de nitratos y nitritos en aguas naturales suelen ser muy bajas. En las aguas subterráneas se detecta con frecuencia una elevación de las concentraciones, como consecuencia de la utilización como fertilizantes en las prácticas agrícolas. También pueden aumentar en el agua como consecuencia de la contaminación con aguas residuales.

En relación con los aspectos sanitarios, originan *metahemoglobinemia infantil*, debido a que en niños de corta edad, fundamentalmente lactantes, el jugo gástrico, insuficientemente ácido, permite el desarrollo de microorganismos productores de reductasas, originándose nitritos a partir de los nitratos. Los nitritos así formados, y los presentes como tales en el agua, al ser absorbidos, pasan a la sangre combinándose con la hemoglobina formando *metahemoglobina*, con menor capacidad de transporte de oxígeno, lo que origina un estado de cianosis (falta de oxígeno en los tejidos, síndrome del bebé azul). Esta aclorhidria fisiológica, hasta los seis meses, no ocurre en niños de mayor edad y adultos, en los que al existir una acidez gástrica más elevada, no se produce una proliferación bacteriana en los tramos altos del intestino, por lo que no ocurre esta reducción de nitratos a nitritos.

Sustancias químicas con elevada toxicidad

El agua para consumo puede contener sustancias tóxicas de distinta naturaleza y procedencia, teniendo generalmente su origen en la contaminación humana.

Entre estas sustancias podemos citar *metales* (arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, selenio, etc.) con efectos tóxicos diversos: cancerígenos, afectaciones neurológicas, renales, hepáticas, etc.

También está regulada la presencia en el agua de *sustancias orgánicas* de elevada toxicidad, tales como hidrocarburos aromáticos policíclicos, plaguicidas, trihalometanos, etc.

CONTAMINACIÓN BIOLÓGICA DEL AGUA

La contaminación biológica del agua va a ser producida por las excretas humanas o animales, por las aguas residuales y por microorganismos ambientales. Los microorganismos patógenos para el hombre se encontrarán en el agua porque una parte de la población serán individuos enfermos o portadores, lo que explica que, cuando no se vigila adecuadamente la calidad del agua, aparezcan epidemias de tipo holomántico, en las que se observa un gran número de casos en un corto período de tiempo.

El agua puede actuar como mecanismo de transmisión, pudiéndose hablar de un *ciclo de contaminación fecohídrica*, como se observa en la figura 3.

El control microbiológico de un agua debe ir orientado exclusivamente a especies patógenas para el hombre. Dicho de otra forma, la presencia de microorganismos inocuos para el hombre no tiene significación sanitaria. Cuando se produce un brote epidémico en el que se presume que la transmisión es hídrica, y por los síntomas de la enfermedad se sospecha producido por un determinado microorganismo, se realiza un análisis microbiológico del agua buscando ese agente causal. Pero para la vigilancia y control de la calidad microbiológica, que se debe realizar sistemáticamente sería imposible buscar en el agua todos los posibles agentes patógenos que se podrían encontrar; sería un análisis exhaustivo e interminable. Por esta razón, la vigilancia y control se realiza mediante *indicadores de contaminación fecal*.



Figura 3. Ciclo de contaminación fecohídrica.

Las materias fecales tienen un alto contenido en microorganismos, materia orgánica y sólidos en suspensión. Por lo tanto, cuando se produce una

contaminación fecal del agua aumentará el contenido de estos tres elementos (figura 4). Los sólidos en suspensión causarán un aumento de la turbidez. La materia orgánica, que mediremos mediante la oxidabilidad al permanganato (indicador), sufrirá un proceso de mineralización microbiológica que producirá: a) una mineralización (producción de fosfatos, sulfatos, etc), que aumentará la conductividad (indicador diferencial); y b) una desaminación de las sustancias orgánicas nitrogenadas, siendo el primer producto de esta desaminación el amonio (indicador). Por último, la contaminación fecal aumentará el número de microorganismos patógenos (representan el riesgo sanitario) y saprofitos (de éstos algunos se utilizan como indicadores).



Figura 4. Esquema de la contaminación fecohídrica.

Por lo tanto, como se ha indicado podemos utilizar *indicadores químicos indirectos de contaminación fecal* (oxidabilidad al permanganato y amoniaco), y también *indicadores microbiológicos de contaminación fecal*.

Los indicadores microbiológicos de contaminación fecal son aquellos microorganismos de la flora saprofita del intestino, que se encuentran muy abundantes y en el mayor número de individuos de la población, incapaces de desarrollarse en el medio ambiente fuera del intestino humano, y cuyo aislamiento, recuento e identificación es fácil.

Los principales indicadores microbiológicos de contaminación fecal son:

Coliformes; son microorganismos perteneciente a la flora saprofita normal del intestino, pertenecientes a la familia de las enterobacterias (bacilos gram negativos, anaerobios facultativos, oxidasa negativa, con crecimiento en presencia de sales biliares), capaces de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas. Dentro de los coliformes podemos diferenciar dos grupos:

Coliformes totales (CT): con las mismas características de los coliformes, con fermentación de la lactosa a 37 °C.

Coliformes fecales (CF): también denominados *coliformes termotolerantes*, porque son capaces de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas a 44 °C. Si los coliformes fecales producen indol a partir de triptófano o producen la enzima β -glucuronidasa los identificamos como *Escherichia coli*. En la práctica estos tres términos se utilizan indistintamente.

Streptococos fecales (EF): incluye las especies del género *Streptococcus* más resistentes, pertenecientes al grupo D de Lancefield, anaerobias facultativas fermentadoras de la glucosa con producción de ácidos, y se han aislado en las heces de animales de sangre caliente. Tienen mayor supervivencia que EF en medios acuáticos, y son más resistentes a la desecación y a la cloración.

Clostridios sulfito-reductores (CSR): son bacilos anaerobios esporulados capaces de reducir el sulfito a sulfuro, propiedad que se utiliza para su identificación. Son menos abundantes que coliformes y estreptococos fecales, pero su valor como indicador es debido a la extraordinaria resistencia de las esporas a los procesos de desinfección y a otras condiciones ambientales desfavorables. El principal representante de este grupo es *Clostridium perfringens* (se identifica dentro del grupo mediante las pruebas de fermentación de sacarosa, ausencia de beta-D-glucosidasa y producción de ácido fosfatasa). Desde un punto de vista sanitario tiene poco valor la identificación de la especie.

Bacterias aerobias heterótrofas (BAH): Este grupo incluye un amplio espectro de microorganismos heterótrofos, incluidas bacterias y hongos, basándose en la capacidad de estos microorganismos de crecer en medios ricos en nutrientes, sin agentes selectivos ni inhibidores, durante un periodo de incubación de 48 horas generalmente, y a una temperatura de 22 °C (también se hace a 37 °C). Este grupo tiene poco valor como índice de la presencia de microorganismos patógenos, pero puede utilizarse en el control operativo como indicador de tratamiento y desinfección del agua, para evaluar la limpieza e integridad de los sistemas de distribución, así como la presencia de biopelículas.

Para el control del agua para consumo público se deben utilizar simultáneamente varios indicadores, ya que cada uno aporta información muy útil desde un punto de vista epidemiológico. En la figura 5 se representa cómo evolucionan los indicadores microbiológicos, desde que se produce la contaminación fecal, a lo largo del tiempo (se expresan en porcentaje). Como puede verse, coliformes y EF (estos algo más resistentes), son más sensibles a las condiciones ambientales (desaparecen pronto),

mientras que los CSR (esporulados), permanecen mayor tiempo. Así, si ante un brote epidémico en una población hacemos un análisis del agua, y encontramos coliformes y EF, nos indicará que la contaminación fecal del agua es una *contaminación reciente*, por lo que sería bastante probable que el agua de este abastecimiento público haya sido el mecanismo de transmisión del agente del brote epidémico. Si por el contrario, en el análisis microbiológico del agua sólo encontramos CSR, deduciremos que se trata de una *contaminación antigua*, lo que nos servirá para una interpretación diferente del brote epidémico.

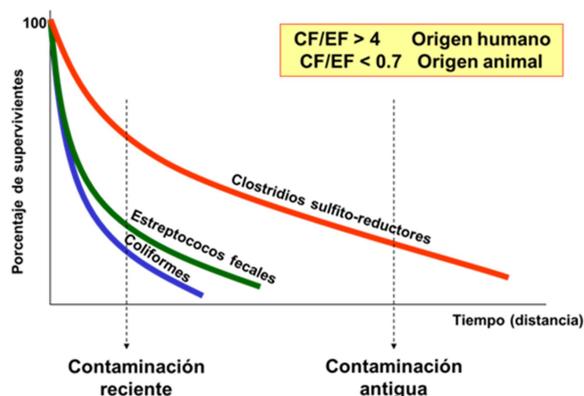


Figura 5. Evolución de los indicadores microbiológicos de contaminación fecal.

Además, el estudio del contenido de CT y EF puede aportar más información. Se sabe que en las heces humanas predominan los CT sobre los EF, mientras que en los animales de sangre caliente ocurre lo contrario, predomina los EF sobre los CT. Si realizamos el recuento analítico de ambos grupos, y obtenemos el cociente de ambos (CT/EF), podemos obtener la siguiente información de interés sanitario:

CT/EF > 4 indica que la contaminación fecal es *de origen humano* (predominio de los CT sobre los EF).

CT/EF < 0.7 muestra que la contaminación fecal es *de origen animal* (predominio EF).

CT/EF en el intervalo 0.7-4 no existe una indicación del origen de la contaminación, pero generalmente se interpreta como una contaminación *mixta humana-animal*, que además suele ser muy frecuente en las aguas residuales.

REGLAMENTACIÓN TÉCNICO-SANITARIA

En base a los conocimientos científicos, toxicológicos y epidemiológicos, se establecen los criterios de calidad del agua para consumo humano.

La OMS confecciona las *Guías para la calidad del agua de consumo humano*, que recogen las características sanitarias en relación a las sustancias y microorganismos que se pueden encontrar en el agua. Se establece el *valor de referencia*, que es la concentración de un componente que no ocasiona un riesgo para la salud superior al tolerable cuando se consume durante toda una vida. Los valores de referencia de algunos contaminantes químicos (por ejemplo, el plomo y el nitrato) se establecen de modo que protejan a subgrupos vulnerables de la población. Estos valores protegen también a la población general que consume el agua durante toda la vida.

Las recomendaciones de la OMS se adaptan en la legislación propia de cada país, de obligado cumplimiento para la población. Esta Reglamentación técnico-sanitaria no sólo debe atender al establecimiento de los criterios de calidad del agua, sino que se tiene que extender a la protección de las fuentes de captación, red de distribución, tratamientos de potabilización y sustancias autorizadas para este fin.

Un aspecto muy importante que debe contener la Reglamentación técnico-sanitaria es el control y vigilancia, para garantizar en todo momento que el agua suministrada está exenta de riesgos sanitarios. En España, estos aspectos señalados están contenidos en la siguiente legislación:

Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. BOE núm. 45, 21 febrero 2003.

Real Decreto 314/2016, de 29 de julio, por el que se modifican el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, el Real Decreto 1798/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula la explotación y comercialización de aguas minerales naturales y aguas de manantial envasadas para consumo humano, y el Real Decreto 1799/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula el proceso de elaboración y comercialización de aguas preparadas envasadas para el consumo humano. BOE núm. 183, 30 julio 2016.

En la normativa española, al valor de referencia que establece la OMS se le denomina *valor paramétrico*, que es el nivel máximo o mínimo fijado para cada uno de los parámetros a controlar. Un agua será calificada como *apta para el consumo* cuando no contenga ningún tipo de microorganismo, parásito o sustancia, en una cantidad o concentración que pueda suponer un riesgo para la salud humana, y cumpla con los requisitos especificados en la normativa.

Para el control y vigilancia de la calidad del agua para consumo público, en esta normativa se establecen los siguientes niveles de responsabilidad:

Autocontrol: es responsabilidad del gestor del servicio de abastecimiento, sea gestión privada o municipal. Se establece la frecuencia, tipo y número

de análisis que se tendrán que realizar tanto a la salida de estación depuradora como en la red de distribución, en función del tamaño de la población o volumen de agua suministrada.

Vigilancia sanitaria: La vigilancia sanitaria del agua de consumo humano es responsabilidad de la autoridad sanitaria, quien velará para que se realicen inspecciones sanitarias periódicas del abastecimiento.

Control en el grifo del consumidor: Para las aguas de consumo humano suministradas a través de una red de distribución pública o privada, el municipio, o en su defecto otra entidad de ámbito local, tomará las medidas necesarias para garantizar la realización del control de la calidad del agua en el grifo del consumidor y la elaboración periódica de un informe sobre los resultados obtenidos.

BIBLIOGRAFÍA

- OMS (2018). Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda [Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating first addendum]. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. BOE núm. 45, 21 febrero 2003.
- Real Decreto 314/2016, de 29 de julio, por el que se modifican el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, el Real Decreto 1798/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula la explotación y comercialización de aguas minerales naturales y aguas de manantial envasadas para consumo humano, y el Real Decreto 1799/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula el proceso de elaboración y comercialización de aguas preparadas envasadas para el consumo humano. BOE núm. 183, 30 julio 2016.