

Microorganismos indicadores de la calidad del agua potable en cuba

Marlen Robert Pullés.

Departamento de Microbiología. Dirección de Medio Ambiente. Centro Nacional de Investigaciones Científicas. Apartado Postal 6412. La Habana, Cuba. marlen.robert@cnic.edu.cu.

Recibido: 12 de agosto de 2013. Aceptado: 30 de octubre de 2013.

Palabras clave: agua potable, calidad sanitaria, control de calidad del agua, indicadores de contaminación, monitoreo.
Key words: Drinking water, sanitary quality, Water quality control, pollution indicators, monitoring.

RESUMEN. Los agentes patógenos transmitidos por el agua constituyen un problema mundial que demanda un urgente control. Las bacterias, virus y parásitos causan enfermedades que varían en severidad. La determinación de microorganismos en el agua de consumo y su concentración proporcionan herramientas de control, indispensables para la toma de decisiones. Los controles rutinarios de todos los microorganismos, potencialmente riesgosos para la salud, resultan difíciles de llevar a cabo, debido a que ello representa, varios días de análisis y costos elevados. Para hacer una evaluación sencilla, económica y fiable de la presencia de patógenos, la vigilancia de la calidad del agua se efectúa mediante indicadores de contaminación, aplicando diferentes enfoques técnicos, cada uno con sus cualidades, defectos y limitaciones. El objetivo de esta revisión fue analizar el enfoque actual existente a nivel nacional e internacional, en relación con los indicadores microbiológicos empleados para la evaluación del agua potable, como elementos clave, y a partir de estos, proponer un esquema de monitoreo en Cuba. Los resultados reflejaron, la alternativa de considerar, la aplicación de un esquema para monitoreo complementario en Cuba, que incluya como indicadores de contaminación del agua potable además de las bacterias, algunos agentes biológicos no considerados en la norma, como los virus y los parásitos. Asimismo indicaron la necesidad de establecer un valor de referencia y definir los microorganismos a emplear en los monitoreos de validación, operativo o verificación. Esta propuesta aportaría importante información para la actualización de la norma cubana sobre la base del conocimiento de los estándares internacionales más reconocidos.

ABSTRACT. Waterborne pathogens are of global concern and demand urgent control. Bacteria, viruses and parasites cause diseases with varying degrees of severity. The determination of microorganisms in water and its concentration provide control tools essentials for decision making. Routine control of all potential health - hazardous microbes in water are difficult to attain, because of the expensive overhead and labor costs they would demand. For an economical, reliable and simple assessment, routine water quality monitoring is conducted through detection of fecal contaminant indicator species, using different technical approaches, each having its own strengths, weakness and limitations. This review focuses in the analysis of current international guidelines compared with national standards regarding the indicator microbes monitored for the assessment of microbial drinking water quality, as key elements. From the analysis the authors conclude that it would be recommendable to implement complementary monitoring protocols to address other indicators of microbial contamination in drinking water like viruses and parasites which are not covered by current protocols. Also the authors find necessary to establish indicator microbes and reference values for validation, operational and verification tests. Complying with such recommendations would ensure providing relevant information and would place Cuban standards closer to the level of recognized international authorities.

INTRODUCCION

El agua potable ha sido definida en las Guías de Calidad de la Organización Mundial de la Salud (OMS),¹ como “adecuada para el consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal”. Es el agua libre de microorganismos causantes de enfermedades que afecten la salud.² Las aguas superficiales están expuestas a una amplia variedad de factores que alteran su calidad con diferentes niveles de intensidad,³ pueden actuar como vehículo de transmisión de contaminantes, arrojados a la atmósfera y la corteza terrestre y de microorganismos patógenos de origen gastrointestinal. En el proceso de abastecimiento del agua, pueden surgir causas que predisponen el ingreso y multiplicación de microorganismos a partir de distintas fuentes como: las conexiones cruzadas, retrosifonaje, rotura de las tuberías, cámaras de bombeo, surtidores, reservorios de distribución, tendido de nuevas tuberías o reparaciones, construcción defectuosa de pozos e irregular mantenimiento de estas instalaciones.^{4,5} El principal riesgo de contaminación del agua en la red de distribución es la contaminación con materia fecal por infiltraciones y debido a la presencia de sedimentos en el fondo de las tuberías que favorecen la colonización de microorganismos.⁶

La contaminación microbiológica es responsable de más del 90 % de las intoxicaciones y transmisión de enfermedades por el agua. Los principales microorganismos que se transmiten a través del agua engloban a las bacterias (*Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Shigella* spp., *Vibrio cholerae*, *Yersinia enterocolitica*, *Campylobacter jejuni*), virus (*Enterovirus*, *rotavirus*, *adenovirus*), protozoos (*Giardia lamblia*, *Cryptosporidium parvum*, *Entamoeba histolytica*) y helmintos (*Ascaris lumbricoides*).⁷ El control de la calidad microbiológica del agua de consumo humano (ACH) requiere del análisis de microorganismos patógenos, lo cual se dificulta, debido a la gran variedad de bacterias patógenas cultivables, la complejidad de los ensayos de aislamientos, la baja concentración de varias especies muy agresivas y la necesidad de laboratorios especializados; además de demandar varios días de análisis y un costo elevado. Frente a la necesidad de hacer una evaluación sencilla, rápida, económica y fiable de la presencia de patógenos, la vigilancia de la calidad del agua se efectúa mediante la búsqueda de indicadores de contaminación fecal aprobados por los estándares internacionales y nacionales. Estos microorganismos deben cumplir diferentes requisitos entre ellos: ser un constituyente normal de la microbiota intestinal de individuos sanos, estar presente de forma exclusiva en las heces de animales homeotérmicos, estar presente cuando los microorganismos patógenos intestinales lo están, presentarse en número elevado, facilitar su aislamiento e identificación, ser incapaces de reproducirse fuera del intestino de los animales homeotérmicos. Por otro lado, su tiempo de supervivencia debe ser igual o superior al de las bacterias patógenas, su resistencia a los factores ambientales debe ser igual o superior al de los patógenos de origen fecal, así como fácil de aislar y de cuantificar.⁸

El marco respecto al cual se puede considerar que una muestra de agua es adecuada o “segura” es una norma de calidad del agua de beber. Una norma adecuada es, entonces, la referencia que garantizará que el agua no sea perjudicial para la salud humana.⁹

La mayor parte de los países de Latinoamérica, Norteamérica, la Unión Europea y otras regiones y comunidades, han adoptado en sus normas de calidad de agua de beber, valores guía de la OMS como indicadores específicos para sus normas nacionales.¹⁰ Internacionalmente los estándares definen a las bacterias, virus y parásitos como organismos que pueden contaminar el agua potable por lo que deben ser tratados. Establecen además, los límites máximos admisibles de concentraciones para los indicadores bacterianos, teniendo en cuenta cuando resulta necesario otros adicionales según el tipo de monitoreo a ejecutar de verificación, operación y validación.¹¹ Nacionalmente, constituyen aspectos priorizados: el manejo integrado del agua, los problemas ambientales relacionados con los recursos hídricos, especialmente su uso sostenible y la protección contra la acción de contaminación.^{12,13} La norma cubana, establece indicadores

exclusivamente bacterianos y en contraste, declara que en el ACH no deben existir microorganismos patógenos como virus y parásitos.¹⁴

Hoy día existen discrepancias en las normas y guías para la evaluación del agua potable, especialmente, con respecto a los indicadores microbiológicos, los que se encuentran en fase de armonización y son de vital importancia. Actualmente, no existen indicadores universales para cada tipo de monitoreo, por lo que los especialistas deben seleccionar el tipo de indicador apropiado para la situación específica a estudiar, dentro de los indicadores bacterianos.^{15,16}

La presente revisión bibliográfica tuvo por objetivo aportar el enfoque actual existente a nivel nacional e internacional en relación a los indicadores microbiológicos que se emplean para evaluar del agua potable, como elementos claves, y a partir de estos, proponer un esquema de monitoreo en Cuba.

MICROORGANISMOS RECOMENDADOS COMO INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE

A continuación, se describen algunos grupos de microorganismos recomendados en guías y estándares como indicadores de la calidad del agua potable, importantes para su valoración en términos sanitarios.^{2,11,17-20}

Bacterias

Coliformes totales

Pertenecen a la familia *Enterobacteriaceae*, son bacilos Gram negativos, anaerobios facultativos, no esporulados, fermentadores de lactosa a 35 °C con producción de gas y ácido láctico de 24 a 48 h de incubación y pueden presentar actividad de la enzima β -galactosidasa. Constituyen aproximadamente el 10 % de los microorganismos intestinales de los seres humanos y otros animales.^{18,21,22} Se encuentran en grandes cantidades en el ambiente (fuentes de agua, vegetación y suelos), no están asociados necesariamente con la contaminación fecal y no plantean ni representan necesariamente un riesgo evidente para la salud.²² Son considerados indicadores de degradación de los cuerpos de agua. En aguas tratadas estas bacterias funcionan como una alerta de que ocurrió contaminación, sin identificar el origen, indican que hubo fallas en el tratamiento, en la distribución o en las propias fuentes.⁸

Coliformes fecales o termotolerantes

Subgrupo de las bacterias del grupo coliforme, presentes en el intestino de animales de sangre caliente y humanos. Su origen es esencialmente fecal, tienen la capacidad de fermentar la lactosa, con producción de ácido y gas a $(44,0 \pm 0,2)$ °C en 24 h de incubación. Incluye a *Escherichia* y en menor grado las especies de los géneros de *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*;^{18,23,24} estas últimas tienen una importante función secundaria como indicadores de la eficacia de los procesos de tratamiento del agua para eliminar las bacterias fecales.¹¹ Indican la calidad del agua tratada y la posible presencia de contaminación fecal.

Escherichia coli

Es una bacteria estrictamente intestinal, indicadora específica de contaminación fecal, se caracteriza por la producción de indol a partir de triptófano, oxidasa negativa, no hidroliza la urea y presenta actividad de las enzimas β -galactosidasa y β -glucuronidasa. Estudios efectuados han demostrado que está presente en las heces de humanos y animales de sangre caliente en concentraciones entre 10^8 y 10^9 Unidades formadoras de colonias (UFC)/g de heces.^{11,18,24} *E. coli* es considerada un habitante normal de la microbiota intestinal de los seres humanos, sin embargo, puede estar asociada a diversas condiciones patológicas (Tabla 1). Las diferentes cepas patógenas de *E. coli* muestran especificidad de huésped y poseen atributos de virulencia distintos. Cuando ocurren aumentos repentinos de la concentración de patógenos, aumenta de forma considerable el riesgo o se desencadenan brotes de enfermedades.²³

Tabla 1. Enfermedades infecciosas más comunes ocasionadas por bacterias^{3,5}

Microorganismo	Enfermedad
<i>Campylobacter</i> spp.	Síndrome de Guillian-Barré (trastorno neurológico autoinmune)
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Yersiniosis (fiebre, dolor abdominal y diarrea hasta hemorrágica)
<i>Helicobacter pylori</i>	Úlcera péptica, cáncer gástrico
<i>Enterobacter</i> spp.	Gastroenteritis aguda, infecciones hospitalarias, infecciones de las vías urinarias por heridas.
<i>Citrobacter</i> spp.	Abscesos, meningitis, bacteremia
<i>Klebsiella</i> spp.	Artritis reactiva
<i>E. coli</i> O157:H7	Síndrome urémico hemolítico.
<i>E. coli</i> enterotoxigénica	Diarrea del viajero
<i>E. coli</i> enteropatogénica	Episodio diarreico, destrucción de las microvellosidades
<i>E. coli</i> enteroinvasiva	Diarrea disenteriforme, muerte celular
<i>E. coli</i> enterohemorrágica	Síndrome urémico hemolítico, insuficiencia renal aguda
<i>E. coli</i> enteroagregativa	Septicemia, meningitis neonatal, gastroenteritis
<i>Salmonella</i> spp	Salmonelosis (fiebre tifoidea/paratifoidea)
<i>Shigella</i> spp.	Shigelosis (diarrea, fiebre, dolor abdominal, vómitos y náuseas)
<i>Vibrio Cholerae</i>	Cólera (enfermedad aguda diarreica)

Microorganismos heterótrofos

Las bacterias heterótrofas abundan en el agua, incluidas el agua tratada y del grifo; poseen gran capacidad de adaptación, pueden tolerar condiciones adversas de suministro de oxígeno y permanecer más tiempo que otros microorganismos en el agua. Es un indicador de la carga total bacteriana, que favorece el recuento de bacterias viables a 37 °C en 48 h de incubación; sus resultados se expresan en UFC de los microorganismos existentes.²⁵ Mediante este indicador se obtiene información útil que se estudia junto con el índice de coliformes, para controlar un determinado proceso o para verificar la calidad del tratamiento, desinfección o descontaminación.⁴ Se ha comprobado que el conteo total de microorganismos heterótrofos es uno de los indicadores más confiables y sensibles del tratamiento o del fracaso de la desinfección.

Clostridium perfringens

Su origen no es exclusivamente fecal, se encuentra en suelos y aguas contaminadas. Por ser una bacteria esporulada tolera condiciones adversas tales como: elevadas temperaturas, desecación, pH extremos, falta de nutrientes, entre otras. Cuando está presente en el agua potabilizada y desinfectada indica fallos en el tratamiento o en la desinfección. La detección de este microorganismo en el agua inmediatamente después de su tratamiento, constituye un indicador de alerta sobre el funcionamiento de la planta de filtración.²⁶ Debido a su elevada resistencia, las esporas pueden indicar, de forma indirecta, la presencia de quistes de protozoarios.²⁷

Virus

Los virus están constituidos por ácido nucleico y proteínas. El ácido nucleico es el genoma viral, ubicado en el interior de la partícula, el cual puede ser, ácido desoxirribonucleico (ADN) o ácido ribonucleico (ARN). Generalmente están asociados con un número pequeño de moléculas proteicas que pueden tener actividad enzimática o cumplir alguna función estabilizadora para el plegamiento del ácido nucleico y armado de la partícula viral. La mayoría de los virus asociados con la transmisión por el agua son los virus entéricos, estos se multiplican en el intestino del hombre, son excretados en gran número en las heces de los individuos infectados y pueden sobrevivir en el medio ambiente por largos periodos de tiempo. El poliovirus es considerado un indicador viral entérico. Sin embargo, las cantidades de este virus en ambientes acuáticos son

demasiado variables como para ser considerado un buen indicador, lo que ha llevado a la búsqueda de indicadores alternativos que sean rápida y fácilmente detectables. Estos indicadores son los fagos: colifagos somáticos y colifagos F específicos. La propuesta está basada en que los fagos se encuentran abundantemente tanto en agua residual como en agua contaminada, las poblaciones de colifagos son mucho más grandes que las de los enterovirus. Los colifagos no pueden reproducirse fuera del huésped bacteriano, se pueden aislar y contar por métodos sencillos, los resultados se obtienen más rápidamente, se relacionan directamente con su huésped bacteriano específico (*E. coli*). Cuando las condiciones ambientales son desfavorables los coliformes fecales no son buenos indicadores de contaminación fecal, ya que desaparecen rápidamente.¹¹ Por consiguiente, es mejor usar microorganismos más resistentes, como los colifagos que reflejan mucho mejor los niveles de *Salmonella*.²⁸

Otro grupo indicador, lo constituyen los fagos que infectan a *Bacteroides fragilis*, este grupo presenta la ventaja de no replicarse en ambientes naturales, dado que infectan una cepa anaerobia y su multiplicación se realiza solo bajo estas condiciones. Los bacteriófagos de *Bacteroides* son considerados como posibles indicadores de contaminación fecal, debido a su asociación específica con la materia fecal y su excepcional resistencia a las condiciones ambientales. Hay dos grupos de fagos de *B. fragilis* que se utilizan como indicadores para la evaluación de la calidad del agua. Uno es un grupo limitado que utiliza como hospedador la cepa HSP40 de *B. fragilis*, tiene la propiedad de encontrarse exclusivamente en heces humanas, pertenece a la familia *Siphoviridae*, sus miembros tienen colas flexibles sin capacidad contráctil, ADN bicatenario y cápsides de un diámetro de hasta 60 nm. El segundo grupo de fagos de *Bacteroides* utilizado como indicador, es el que utiliza como hospedador la cepa RYC2056 de *B. fragilis*. Este grupo abarca un conjunto sustancialmente más amplio de fagos, los cuales están presentes en las heces del ser humano y otros animales.²⁹

El tratamiento apropiado y la desinfección del agua son pasos esenciales para la eliminación de los virus.⁷ El 87 % de las enfermedades virales transmitidas por el agua son causadas por el virus de la hepatitis (adenovirus y rotavirus); *Norwalk virus*, *Reovirus*, *Parvovirus* y los *Papovavirus* que causan infecciones en el yeyuno. Los riesgos de enfermedades más comunes son la diabetes mellitus, miocarditis, poliomielitis, desórdenes hepáticos, herpes simple, rubéola, dengue y fiebre amarilla.^{3,8}

Parásitos

Los parásitos que son patógenos para el hombre se clasifican en dos grupos: los protozoos y los helmintos. Los protozoos son organismos unicelulares cuyo ciclo de vida incluye una forma vegetativa (trofozoito) y una forma resistente (quiste). El estado de quiste de estos organismos es relativamente resistente a la inactivación por medio de los sistemas de tratamiento convencional de aguas.³⁰ Los protozoos más conocidos en las heces humanas son: *Giardia lamblia*, *Entamoeba histolítica* y *Balantidium coli*. En los últimos años, ha ganado gran importancia la contaminación por *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium parvum*, los cuales se consideran patógenos emergentes y la investigación se ha orientado básicamente al estudio de procesos de desinfección que garanticen la eliminación de este tipo de quistes.

Los protozoos pueden causar enfermedades en el hombre como: giardiasis, criptosporidiosis, malaria, diarrea por flagelados, disentería amebiana, meningoencefalitis amebiana, disentería balantidiana, infecciones diseminadas e infecciones intestinales. Una cuarta parte de la humanidad está afectada por este tipo de enfermedades. La malaria es responsable de más de 100 millones de casos al año, un millón de los cuales son fatales.^{3,26} Investigaciones recientes indican que

Cryptosporidium ocupa el tercer lugar en importancia mundial entre todos los enteropatógenos de transmisión hídrica.^{30,31}

Los helmintos incluyen los nemátodos, tremátodos y céstodos. El problema principal es el incremento gradual del número de gusanos en el huésped, debido a la continua ingestión de huevos, dado que no se reproducen ni incrementan su número fuera del huésped es decir, un huevo fecundo ingerido produce un adulto sin multiplicación intermedia (a excepción de *Strongyloides*); aunado a que la respuesta inmune del huésped es deficiente o ausente.²⁶

Esta característica favorece su uso como indicador, ya que en una muestra, la cantidad de helmintos no varía con el tiempo. *Ascaris lumbricoides* se ha sugerido como un buen indicador del comportamiento de los huevos de helmintos.³² Sus ventajas consisten en que persiste en el medio ambiente por muchos meses, pero no se multiplica, se puede identificar fácilmente y el índice de parasitismo a nivel mundial es elevado. El agua de consumo no debe contener larvas maduras ni huevos fertilizados, ya que un único ejemplar puede ocasionar una infección.³³

Las enfermedades más importantes producidas por helmintos son: teniasis (producidas por *T. solium* de origen porcino o *T. saginata* de origen vacuno), difolobotriasis (producida por *Diphyllobothrium latum*, parásito de peces), la hidatidosis o equinococosis (producida por *Echinococcus granulosus*, enfermedad muy grave por los quistes que causa el gusano; al hombre suele transmitirse por los perros, aunque otras carnes o aguas contaminadas pueden ser su vehículo), la triquinosis (producida por *Trichinella spiralis*) es una enfermedad causada por el consumo de carne mal cocida; la anisakiasis (producida por *Anisakis marina* transportada por peces como el arenque); Capilariasis (producida por *Capillaria philipina* y transmitida por el consumo de carnes o pescados crudos) y Ascaridiosis (producida por *Ascaris lumbricoides* transmitida por contacto persona-persona cuando la higiene no es correcta y hay contaminación fecal).²⁶

ENFOQUE ACTUAL EXISTENTE EN RELACIÓN CON LOS INDICADORES MICROBIOLÓGICOS EMPLEADOS PARA DETERMINAR LA CALIDAD SANITARIA DEL AGUA POTABLE A NIVEL INTERNACIONAL Y NACIONAL

El estándar internacional de la Organización Mundial de la Salud (OMS), describe los indicadores de alerta, establecidos para el monitoreo de las aguas. Define a los microorganismos de alerta, como aquellos que al exceder los límites especificados, requerirán de la aplicación de medidas correctivas para tener el proceso bajo control (Tabla 2).

Esta normativa establece criterios sanitarios para el ACH y las instalaciones, que favorecen su suministro y control, lo que garantiza su salubridad, calidad y limpieza. A su vez, define el uso de los microorganismos indicadores, de acuerdo con el tipo de monitoreo: validación, operativo o verificación. Destaca como principales grupos de microorganismos indicadores: coliformes termotolerantes o *E. coli*; coliformes totales; conteo total de bacterias heterótrofas en placa; *Clostridium perfringens*; Colifagos, *Bacteroides fragilis*, fagos o virus entéricos.

Tabla 2. Microorganismos indicadores, de acuerdo con el tipo de monitoreo ¹¹

Indicadores	Tipo de monitoreo		
	Validación de proceso	Operativo	Verificación producto final
<i>E. coli</i> o coliformes termotolerantes	No aplicable	No aplicable	Indicador fecal
Coliformes totales	No aplicable	Indicador de la limpieza e integridad del sistema de distribución	No aplicable
Conteo de microorganismos heterótrofos en placa	Indicador de la efectividad de desinfección bacteriana	Indicador de la efectividad del proceso de desinfección y de la limpieza e integridad del sistema de distribución	No aplicable
<i>Clostridium Perfringens</i>	Indicador de la efectividad de desinfección y procesos físicos de remoción de virus y protozoos	No aplicable	No aplicable
Colifagos <i>Bacteroides fragilis</i> Fagos Virus entéricos	Indicador de la efectividad de desinfección y procesos físicos de remoción de virus	No aplicable	No aplicable

En dependencia del tipo de monitoreo; refiere validar las operaciones de tratamiento y su eficacia; mediante la aplicación de los indicadores de *Clostridium perfringens*, conteo de microorganismos heterótrofos en placa y enterovirus. Dicha información puede ser empleada para la mejora, el mantenimiento de un sistema y para definir criterios operativos, que garanticen que la medida de control, previene eficazmente los peligros. Para el monitoreo operativo, sugiere el uso de los indicadores: conteo de microorganismos heterótrofos en placa y coliformes totales. Su detección señala el deterioro en la calidad del agua o una recontaminación.³ La gran sensibilidad de las bacterias aerobias mesófilas a los agentes de la cloración, las ubica como indicadoras de la eficacia del tratamiento de potabilización. Criterio ampliamente aceptado, teniendo en cuenta; que aunque la mayoría de las bacterias heterótrofas en agua potable no proceden de patógenos humanos; algunas de las especies bacterianas detectadas pueden ser patógenos oportunistas de riesgo a individuos inmunodeprimidos tales como: *Pseudomonas* spp., *Acinetobacter* spp., *Moraxella* spp., *Xanthomonas* spp. y diferentes hongos.²⁵ Para el chequeo del producto final; refiere el monitoreo de verificación, el análisis de bacterias indicadoras de contaminación fecal en el agua tratada y en la que se distribuye (coliformes termotolerantes o *E.coli* esencialmente), lo que permite comprobar que el sistema en su conjunto, opera en condiciones seguras.

Según la OMS,³⁴ los riesgos para la salud relacionados con el agua de consumo más comunes y extendidos, son las enfermedades infecciosas ocasionadas por agentes patógenos como: bacterias, virus y parásitos (protozoos y helmintos). Los virus y parásitos entéricos son resistentes a la desinfección. Cuando se conoce que el agua de origen está contaminada con virus y parásitos

entéricos, o si hay una elevada incidencia de enfermedades virales y parasitarias en la comunidad, es oportuno incluir en los análisis, los microorganismos indicadores de bacteriófagos o esporas bacterianas, así como, los parásitos, entre ellos: los protozoos (*Giardia lamblia*, *Cryptosporidium parvum*) y helmintos (*Ascaris lumbricoides*).¹¹ Una vez demostrada la presencia de grupos indicadores, se puede inferir, que los patógenos se encuentran presentes en la misma concentración y que su comportamiento frente a diferentes factores como: pH, temperatura, nutrientes y sistemas de desinfección, es similar a la del indicador; mientras que su ausencia es una evidencia de la seguridad microbiológica del agua, sometida a prueba.⁹

VALORES DE REFERENCIA DE LOS MICROORGANISMOS INDICADORES

Las normas internacionales de la OMS, definen el valor de referencia o el límite máximo permisible como: el requisito de calidad del agua potable, que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento, un límite a partir del cual, el agua deja de ser considerada apta para el consumo humano.¹¹

Para el monitoreo de verificación de la calidad microbiológica del agua potable, la OMS, establece valores de referencia para indicadores bacteriológicos, mediante el empleo de la técnica de FM (Tabla 3). La verificación incluye el análisis del agua de origen, del agua inmediatamente después de ser tratada y del agua en los sistemas de distribución. *E. coli* no debe ser detectada en ninguna muestra de 100 mL. Su presencia es indicio de una contaminación fecal reciente, e implica la investigación inmediata de su origen y la toma de acciones correctivas o preventivas o ambas inclusive. Las directrices para la verificación tienen su basamento en el uso de métodos, procedimientos o pruebas, adicionales a los utilizados en el monitoreo operativo, para determinar si el sistema de abastecimiento del agua potable cumple los objetivos estipulados en las metas de protección de la salud o si es necesario modificar y volver a validar el Plan de Seguridad del Agua.^{11, 34}

Tabla 3. Valores de referencia para la verificación de la calidad microbiológica del agua potable¹¹

Microorganismos	Valor de referencia
Toda agua destinada a ser bebida: <i>E. coli</i> o bacterias coliformes termotolerantes.	No detectables en ninguna muestra de 100 mL
Agua tratada que alimenta al sistema de distribución: <i>E. coli</i> o bacterias coliformes termotolerantes.	No detectables en ninguna muestra de 100 mL
Agua tratada presente en el sistema de distribución: <i>E. coli</i> o bacterias coliformes termotolerantes.	No detectables en ninguna muestra de 100 mL

Para el monitoreo de operación y de validación, la OMS precisa el empleo de microorganismos indicadores, pero no establece sus valores de referencia; destaca que para definir el Límite Máximo Permisible de cada indicador es imprescindible considerar el contexto de las condiciones nacionales de tipo medioambiental, social, económico y cultural de las poblaciones de referencia, basada en la interpretación de la información de las Guías de la OMS y otros documentos complementarios o, en algunos casos, centrarse en los grupos de poblaciones vulnerables de cada localidad.¹¹

Para comprobar que el sistema en su conjunto opera en condiciones seguras, la norma cubana,¹⁴ establece el monitoreo de verificación del producto final (Tabla 4), refiere los valores máximos admisibles para indicadores exclusivamente bacteriológicos: los coliformes termotolerantes y *E. coli*, mediante el empleo de las técnicas de tubos múltiples de fermentación (TMF), filtración por membrana (FM) y ausencia/presencia (A-P), pero no enfatiza la utilización de microorganismos indicadores para los monitoreo de operación y validación.

Tabla 4. Requisitos microbiológicos de la calidad sanitaria del agua potable de acuerdo con las técnicas empleadas para su determinación¹⁴

Indicadores	Técnica		
	Tubos múltiples de Fermentación	Filtración por membrana	Ausencia/ Presencia
<i>Escherichia coli</i>	< 2 NMP/100 mL	0 UFC /100 mL	Ausencia /100 mL
Coliformes termotolerantes	< 2 NMP / 100 mL	0 UFC /100 mL	Ausencia /100 mL

UFC Unidades formadoras de colonias. NMP Número más probable.

Sin embargo, la presencia de *E. coli* en el ACH constituye una prueba concluyente de contaminación fecal reciente y la presencia eventual de microorganismos patógenos.^{3,8} Este criterio es aceptable desde el punto de vista sanitario, teniendo en cuenta que la mayor parte de la contaminación bacteriana causante de infecciones, está asociada a la contaminación fecal.³⁴ Además del interés clínico que representan las bacterias, por ser capaces de generar infecciones oportunistas en el tracto respiratorio superior e inferior, bacteriemia, infecciones de piel o tejidos blandos, enfermedad diarreica aguda y otras enfermedades severas en el ser humano.³⁵ No obstante, la vigilancia de la calidad del agua, con el empleo de indicadores exclusivamente bacterianos, garantiza la aplicación de un sistema de vigilancia limitado, teniendo en cuenta los perjuicios a la salud que pueden provocar el resto de los agentes patógenos implicados en la transmisión hídrica.²² Debido a los cambios drásticos que ocurren en el ambiente, cada vez es más frecuente que las enfermedades de origen hídrico estén relacionadas con la presencia de quistes protozoarios y microorganismos emergentes o reemergentes.^{36,37} Por tal motivo, garantizar la inocuidad microbiana del ACH no puede confiarse únicamente al análisis del producto final.³⁴

De acuerdo con lo analizado anteriormente, para evaluar la calidad del agua potable saltan a la luz dos categorías básicas de criterios, el esquema globalizado, que establece indicadores para todo tipo de patógeno: bacterias, virus y parásitos,¹¹ y el esquema tradicional, que establece indicadores exclusivamente bacteriológicos.¹⁴ La guía de la OMS,¹¹ cubre todo tipo de organismo patógeno y acepta además la incorporación de indicadores complementarios. Asume un enfoque integral para los procesos de verificación, operativo y de validación, que abarca el plan de seguridad del agua, así como, su control y evaluación; basado en el peligro, riesgo, severidad y proactividad. Hace énfasis en la prevención y el control de los procesos y del producto final. La directiva en Cuba,¹⁴ está basada en el método de control tradicional, con un esquema de evaluación solo para bacterias y comprende el análisis de bacterias indicadoras de contaminación fecal en el agua tratada, así como en el agua que se distribuye, sin una validación previa, lo cual resulta insuficiente para asegurar la inocuidad del agua, debido a que microorganismos patógenos como los virus y protozoos entéricos, son más resistentes al proceso de desinfección que las bacterias del agua y pueden seguir siendo viables, tras su desinfección.³⁴ Por tanto, la ausencia de *E. coli* no implica

necesariamente que no haya presencia de estos organismos. Si la vigilancia sanitaria solo incluye la detección de contaminación fecal, aún cuando existan muy bajos niveles de contaminación medida por los análisis bacteriológicos, existen riesgos de salud por microorganismos no cubiertos.¹¹ Debido al riesgo que representa la presencia de virus y parásitos en el ACH, es deseable que el análisis virológico y parasitario esté incluido en la vigilancia de la calidad del agua.⁸ En estudios realizados desde el punto de vista microbiológico se considera que no existe una correlación entre el número de indicadores y los patógenos entéricos.³⁸ Se menciona además, que un manejo adecuado del agua requiere del desarrollo, validación y uso de indicadores más orientados a medir la eficiencia de los procesos, la presencia de contaminación fecal o bien especies o grupos que sirvan como modelos del comportamiento de ciertos microorganismos.³⁹ Esta nueva visión se orienta al riesgo aceptable para la población, en el cual la probabilidad de causar daño, enfermedad o muerte, bajo circunstancias específicas debe ser mínima.^{40,41}

CONCLUSIONES

Los resultados de la presente revisión, reflejan la alternativa de considerar, la aplicación de un esquema de monitoreo complementario en Cuba, que incluya como indicadores de contaminación del agua potable además de las bacterias, algunos agentes biológicos no cubiertos en la norma, como los virus y los parásitos. Igualmente, indicar la necesidad de establecer el valor de referencia y definir los microorganismos a emplear, en cada tipo de monitoreo: validación, operativo o verificación. Esta propuesta aportaría información importante para la actualización de la norma cubana sobre la base del conocimiento de los estándares internacionales más reconocidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. OMS. Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable. Ginebra: 1995.
2. EPA United States Environmental Protection Agency. National primary drinking water regulations. 2011 [Consultado 20 de febrero de 2013]. Disponible en: <http://www.epa.gov/safewater>
3. Apella MC y Araujo PZ. Solar Safe Water En: Microbiología del agua Conceptos básicos. Capítulo 2. Centro de Referencia para Lactobacilos y Universidad Nacional de Tucumán. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Unidad de Actividad Química. Tucuman. Argentina 2004:33-49.
4. PNUMA. Programa Global de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente. Agua. Programa Mundial de Evaluación de Recursos Hídricos WWAP, Canadá. 2007 [Consultado 21 de agosto de 2013]. Disponible en: <http://www.gemswater.org/>
5. Wisner B y Adams J. Environmental health in emergencies and disasters. Organización Mundial de la Salud. Ginebra. Suiza, 2003.
6. Gunther F, Craun J, Brunkard M, Jonathan S, Yoder, Virginia A, Roberts, Carpenter J and Wade T. Causes of Outbreaks Associated with Drinking Water in the United States from 1971 to 2006. *Rev. J Clin Microbiol.* 2010;23(3):507-528.
7. FAO-OMS. Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas/Organización Mundial de la Salud. Caracterización de peligros de patógenos en los alimentos y el agua: Directrices. Serie Evaluación de riesgos microbiológicos N-3 Ginebra, Suiza. 2003 [Consultado 21 de agosto de 2013]. Disponible en: <http://www.who.int/foodsafety/publications/micro/en/spanish.pdf>. 2003
8. Fernández A, Molina M, Alvarez A, Alcántara M, Espigares A. Transmisión fecohídrica y virus de la hepatitis A. *Higiene y Sanidad Ambiental.* 2001;1:24-8.

9. Solsona F. Guías para elaborar normas de calidad del agua de bebida en los países en desarrollo. Organización Panamericana de la Salud. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria, Lima: 2002.
10. Mora AD. Evolución de las guías microbiológicas de la OMS para evaluar la calidad del agua para consumo humano 1984-2004. Laboratorio Nacional de Aguas. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Costa Rica: 2005.
11. WHO. World Health Organization. Guidelines for Drinking-water Quality, 4th Ed. Vol 1, 2011.
12. Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, VI Congreso del PCC, Ciudad de La Habana, Cuba, agosto 2011.
13. Estrategia Ambiental Nacional del quinquenio 2011-2015. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente: Ciudad de La Habana, Cuba. 2011.
14. NC 827: 2012. Agua potable. Requisitos sanitarios. Oficina Nacional de Normalización.
15. Suárez PM. Tendencia actual del estreptococo como indicador de contaminación fecal. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. Revista Cubana Higiene y Epidemiología. Ciudad de La Habana. 2002;1:40-5.
16. González GM y Chiroles RS. Seguridad del agua en situaciones de emergencia y desastres. Peligros microbiológicos y su evaluación. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología. Ciudad de la Habana. 2010;1:48-12.
17. Directiva Comunidad Europea 98/83/CE del Consejo. Relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. Documento E 330/L. 1998.
18. American Public Health Association. Standard Methods for the examination of water and wastewater 22nd edition APHA, AWWA WEF. USA. 2012 [Consultado 21 de agosto de 2013]. Disponible en: www.standardmethods.org.
19. Philippine National Standards for Drinking Water. Department of Health, Republic of the Philippines. 2007 [Consultado 23 de agosto de 2013]. Disponible en: <http://www.doh.gov.ph>.
20. UNICEF United Nations Children's Fund. Handbook On Water Quality, New York. 2008 [Consultado 15 de marzo de 2013]. Disponible en: <http://www.unicef.org/wes>.
21. Camacho A, Giles M, Ortégón A, Palao M, Serrano B y Velázquez O. Técnicas para el Análisis Microbiológico. Segunda edición. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma, México. 2009 [Consultado 23 de agosto de 2013]. Disponible en: http://depa.pquim.unam.mx/amyd/archivero/TecnicBasicas-Cuenta-mohos-levaduras_6530.pdf
22. Yoder J, Roberts V, Craun GF, Hill V, Hicks LA, Alexander NT, Radke V, Calderon RL, Hlavsa MC, Beach MJ and Roy SL. Surveillance for waterborne disease and outbreaks associated with drinking water and water not intended for drinking - United States, 2005-2006. MMWR Surveill Summ. 2008;57:39-62.
23. Johnson TJ and Nolan LK. Pathogenomics of the Virulence Plasmids of *Escherichia coli*. Microbiol Mol Biol Rev. 2009;73(4):750-774.
24. OMS/67/2004. Organización Mundial de la Salud. Comunicado de prensa. Revisión de las guías para la calidad del agua potable con el fin de prevenir brotes epidémicos y enfermedades relacionados con el agua, 21 de septiembre de 2004.
25. Glasmacher A, Engelhart S, Exner M. Infections form HPC organisms in drinking water amongst immunocompromised. En: Bartram J, Cotruvo J, Exner M, Fricker C, Glasmacher A, editors. Heterotrophic plate counts and drinking-water safety. Londres: WHO IWA Publishing; 2003: p.137-45.

26. Edberg S, Le Clero H, Robertson J. Natural protection of spring and well drinking water against surface microbial contamination. II. Indicators and monitoring parameters for parasites. *Crit Rev Microbiol*. 1997; 23:179-206.
27. Payment P, Berte A., Prévost M, Ménard B and Barbeau B. Occurrence of pathogenic microorganisms in the Saint Laurence River (Canada) and comparison of health risks for populations using it as their source of drinking water. *Can J Microbiol*. 2000; 46:565-576.
28. Borrego J, Moriño M, de Vicente A, Córnaux R y Romero P. Coliphages as an indicator of faecal pollution in water. Its relationship with indicator and pathogenic microorganisms. *Water Research*. 1987; 21:1473-1480.
29. Payan A, Ebdon J, Taylor H, Gantzer C, Ottoson J, Papageorgiou G, Blanch A, Lucena F, Jofre J, Muniesa M. Method for isolation of *Bacteroides* bacteriophage host strains suitable for tracking sources of fecal pollution in water. *Appl Environ Microbiol*. 2005; 71:5659-62.
30. Alarcón MA, Bertrán M, Cárdenas M, Campos MC. Recuento de determinación de *giardia* spp. y *cryptosporidium* en aguas potables y residuales en la cuenca alta del río Bogotá. *Biomédica*. 2005; 25(3):353-65.
31. World Health Organization and United Nations Children's Fund. Water for life Making it happen. France WHO press, 2005.
32. Nelson K. Concentrations and inactivation of *Ascaris* eggs and pathogen indicator organisms in wastewater stabilization pond sludge. *Water Sci Technol*. 2003;48:89-95.
33. Steiner T, Thielman N, Guerrant R. Protozoal agents. What are the dangers for the public water-supply. *Annu Rev Med*. 1997;48:329-340.
34. Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable. Tercera Edición Volumen 1. Recomendaciones, 2006.
35. Moore J, Heaney N, Millar B, Crowe M, Elborn J. Incidence of *Pseudomonas aeruginosa* in recreational and hydrotherapy pools. *Commun. Dis. Public. Health*. 2002; 5:23-26.
36. Suárez C, Berdasquera D. Enfermedades Emergentes y Reemergentes: Factores Causales Vigilancia. *Rev Cubana Med Gen Integr*. 2000;16:593-7.
37. Scheutz F, Møller Nielsen E, Frimodt-Møller J, Boisen N, Morabito S, Tozzoli R, *et al*. Characteristics of the enteroaggregative Shiga toxin/verotoxin-producing *Escherichia coli* O104:H4 strain causing the outbreak of haemolytic uraemic syndrome in Germany. *Eurosurveillance*, 2011; 16(24):pii=19889. [Consultado 21 de agosto de 2013]. Disponible en:<http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=19889>
38. Arcos PM, Ávila NS, Estupiñán TS, Gómez PA. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *NOVA-Publicación Científica*. 2005;116(3):69-79
39. Ashbolt NJ, Grabow WO and Snozzi M. Water Quality: Guidelines, Standards and Health. Indicators of microbial water quality. En: Fewtrell L, Bartram J, Eds. London IWA-WHO-SIIDC. IWA Publ; 2001: 289-315.
40. Ainsworth R. Safe piped water: Managing microbial water quality in piped distribution systems. IWA Publishing. Londres, Reino Unido, para la Organización Mundial de la Salud. Ginebra. Suiza, 2004
41. Hunter PR and Fewtrell L. Acceptable risk. In: Water Quality: Guidelines, Standards and Health. Fewtrell L, Bartram J, Eds. IWA-WHO-SIIDC. IWA Publ, London. 2001;21:207-227