

Zúñiga Carrasco, Iván Renato*
Samperio Morales, Hugo†

Importancia de la cloración del agua: sitios de abastecimiento con presencia de bacterias patógenas

Importance of water chlorination: pathogenic bacteria in supply sites

Fecha de aceptación: mayo 2019

Resumen

La contaminación por aguas residuales resulta de múltiples fuentes: fugas de los sistemas de conducción de aguas residuales, conexiones incorrectas, desbordamientos de alcantarillado, fugas de aguas residuales a través de tuberías agrietadas por filtración, así como conexiones de tipo ilegal.

MATERIAL Y MÉTODOS. Se realizó un estudio descriptivo, observacional. Se midió el pH y la cloración del agua, se utilizaron pruebas rápidas Pur Test® Home Water Analysis y reactivos de Testlab® para conocer los aspectos físico-químicos del agua de la muestra. El agua se cultivó utilizando el medio de transporte PurTest® Home Water Analysis. Se tomaron muestras en los municipios de Lerma, Timilpan, Toluca y Metepec.

RESULTADOS. En los sitios muestreados predominó el pH alcalino y no había datos de cloro residual. Hubo contaminación bacteriana en tres de los cuatro sitios muestreados.

CONCLUSIÓN. En los sitios muestreados la potabilización fue inadecuada. La potabilización del agua a través de la cloración es primordial en todas las regiones, el cloro es un elemento relativamente barato y de fácil aplicación.

Palabras clave: *cloración, potabilización, aguas residuales, coliformes.*

Abstract

Sewage pollution results from multiple sources: leaks from sewage systems, incorrect connections, sewer overflows, and sewage leaks through cracked pipes by filtration as well as illegal connections.

MATERIAL AND METHODS. A descriptive, observational study was carried out. PH and water chlorination were measured, rapid Pur Test® Home Water Analysis tests and Testlab® reagents were used to know the physicochemical aspects of the sample water. Culture of water was made using the PurTest® Home Water Analysis transport medium. Samples were taken in the municipalities of Lerma, Timilpan, Toluca and Metepec.

RESULTS. The alkaline pH predominated in the sampled sites and there was no residual chlorine data. There was bacterial contamination in three of the four sites sampled.

CONCLUSION. In the sampled sites the purification was inadequate. Water purification through chlorination is paramount in all regions, chlorine is a relatively inexpensive and easily applied element.

Keywords: *chlorination, purification, wastewater, coliforms.*

Introducción

La contaminación por aguas residuales resulta de múltiples fuentes, como fuga de los sistemas de conducción de aguas residuales, conexiones incorrectas, desbordamiento de alcantarillados, fuga de aguas residuales a través de tuberías

agrietadas por filtración, así como conexiones de tipo ilegal. Para los municipios responsables, una de las principales barreras para la mitigación de estas fuentes de contaminación es ubicarlas de manera eficiente en tiempo, trabajo y costo.

* Unidad de Medicina Familiar 223, IMSS Lerma

† Playa del Carmen, Quintana Roo, 3.14pi

Correspondencia: Dr. Iván Renato Zúñiga Carrasco

Unidad de Medicina Familiar 223, IMSS Lerma

Dirección electrónica: ivan.zuniga@imss.gob.mx

La priorización de áreas para investigación intensiva y mitigación efectiva es un proceso difícil que podría beneficiarse de la caracterización de las contribuciones de alcantarillado. Las bacterias indicadoras asociadas a humanos (BIAH) y los virus específicos para humanos (VEH) se han usado comúnmente para identificar la contaminación de aguas residuales en las aguas urbanas. Los marcadores indican un riesgo potencial para la salud que justifica considerar los esfuerzos de manejo de cuencas hidrográficas. Los VEH pueden ser influenciados por una serie de factores que incluyen: condición hidrológica, temporada, propiedades, destino y transporte, además de otras condiciones locales específicas. La fuente primaria de las BIAH es de tipo humana, pero estos marcadores no están exentos de reactividad cruzada de tipo no humano (por ejemplo, vida silvestre urbana y mascotas), por lo que pueden proporcionar resultados erróneos. Los VEH no siempre están presentes en la población humana, lo cual es un factor importante en resultados falsos negativos al evaluar la contaminación de aguas residuales.¹

El crecimiento bacteriano en los sistemas de distribución y almacenamiento de agua potable produce una disminución de la calidad del agua: afecta su sabor y olor y aumenta su turbiedad, lo cual llega a influir en las normas de calidad. Asimismo, la película bacteriana formada en las paredes de las tuberías puede reducir la capacidad hidráulica de las mismas, acelerar la corrosión y hace más difícil la concentración residual del desinfectante.²

Bacterias y suministros de agua

El crecimiento bacteriano se ha asociado con la presencia de bacterias patógenas en el agua de abastecimiento.^{3,5} Las fuentes de suministro de agua contienen compuestos orgánicos idóneos que influyen en el crecimiento bacteriano en los sistemas de distribución de agua, incluso después de la desinfección final a la que se somete al agua durante su potabilización. Este desarrollo bacteriano depende esencialmente del contenido de nutrientes inorgánicos, la materia orgánica biodegradable, la temperatura, el pH del agua, la eficiencia del desinfectante residual, el tiempo de permanencia del agua en los conductos y depósitos de almacenamiento y el material de construcción de las tuberías.⁶⁻⁸

El proceso de potabilización puede significar la incorporación de ciertos compuestos orgánicos o la transformación de aquellos que están presentes en el agua mediante los procesos de oxidación, ya sea por cloración u ozonización.

Los sistemas de almacenamiento y distribución de agua constituyen un ambiente idóneo para la proliferación bacteriana; el flujo de agua favorece el transporte tanto de nutrientes como de bacterias en las paredes de las tuberías, y las partículas presentes en el agua sirven como superficie adherente para los microorganismos. Los organismos adheridos tienen una mayor eficacia para absorber nutrientes, son más resistentes a los ambientes adversos, como la escasez de nutrientes y la presencia de desinfectantes.

El crecimiento bacteriano en los sistemas de suministro de agua está constituido en gran parte por bacterias heterótrofas, organismos que obtienen energía y carbono para su crecimiento y reproducción a partir de la materia orgánica biodegradable.

Desinfectantes y colonización bacteriana

Diversos autores han confirmado que la mayoría de las bacterias presentes en aguas cloradas están adheridas a partículas suspendidas o a las paredes de las tuberías, lo que hace suponer que los microorganismos asociados a una superficie están protegidos frente a una desinfección convencional (cloro residual de 0.1 a 0.3 mg/l) y no son inactivados. La biopelícula, la cual es un ecosistema microbiano organizado, dificulta y reduce la penetración del cloro en las superficies, por lo que actúa como barrera protectora de los microorganismos que allí se encuentran.^{6,9,10}

La eficiencia desinfectante del cloro en los microorganismos fijados en una biopelícula depende al menos de cuatro factores:

1. Cantidad de película biológica acumulada
2. Demanda de cloro del agua y de la biopelícula
3. Dosis de cloro aplicada
4. Concentración de cloro en la interfase agua-materia¹¹

Durante el tiempo que el agua permanece en la red, el cloro utilizado como desinfectante reacciona o se combina con la materia orgánica presente en el agua o adherida a la pared de la tubería, reduciendo su concentración y limitando así el número de células sobre las que puede actuar. El cloro libre reacciona prontamente con la materia orgánica, por lo que se consume antes de que pueda penetrar en la biopelícula. Por otra parte, las cloraminas (solución diluida con función desinfectante) son menos reactivas con los compuestos orgánicos, lo que favorece su penetración y difusión en la biopelícula. La resistencia a la desinfección de las bacterias adheridas es 150 veces mayor que la de las bacterias suspendidas cuando se utiliza cloro, pero sólo dos veces mayor cuando se usa monoclóramina. El cloro es un desinfectante sumamente eficaz para limitar la proliferación bacteriana, pero no consigue impedirla totalmente.^{6,9,12}

Efectos del material de las tuberías y crecimiento bacteriano

El contacto del agua con ciertos materiales de la red de abastecimiento puede favorecer el crecimiento bacteriano. Algunos materiales usados en las conducciones de las viviendas pueden permitir incluso la multiplicación de bacterias oportunistas. Mantener la permanencia biológica de los sistemas de suministro de agua requiere medidas que van más allá de un buen procedimiento del agua en la planta potabilizadora, puesto que el crecimiento bacteriano en las redes de abastecimiento de agua, incluyendo los depósitos de almacenamiento y el sistema de conducción de las viviendas, asimismo puede verse favorecido por la liberación de compuestos promotores del crecimiento, como los materiales que entran en contacto con el agua potable.¹³

La biopelícula es capaz de desarrollarse sobre las paredes de las tuberías si los materiales que las constituyen pueden proveer nutrientes para el crecimiento bacteriano. La lixiviación de iones metálicos por parte de los materiales plásticos es suficientemente baja como para no causar efectos tóxicos, aportan cationes fundamentales para la función enzimática de las bacterias. Las células bacterianas en contacto con ciertos materiales

absorben fácilmente los iones, por lo que los materiales con base orgánica pueden ser directamente utilizados por algunos microorganismos de la biopelícula.

Los materiales de base orgánica (como revestimientos, sellantes, plásticos y caucho) o aquellos con aditivos orgánicos (como mortero de cemento con compuestos orgánicos) pueden favorecer un intenso crecimiento microbiano. Análisis realizados en depósitos recubiertos con pinturas bituminosas, resinas epóxicas, películas de cloruro de polivinilo (PVC), tuberías de poliamida y algunos plásticos, han manifestado un incremento de la concentración de microorganismos en el agua y un crecimiento microbiano visible sobre la superficie del material. El crecimiento microbiano se observa en los materiales que liberan materia orgánica. Por otro lado, los materiales inorgánicos como el fibrocemento, hormigón, hierro colado, hierro dúctil y acero se han utilizado para la construcción de sistemas de abastecimiento de agua, por consiguiente, los nódulos producidos por corrosión de las tuberías metálicas reaccionan con los desinfectantes y favorecen el desarrollo microbiano al impedir la penetración del cloro. Se ha estudiado la formación de biopelículas en superficies de acero inoxidable y PVC, observando que el tiempo necesario para detectar la formación de una biopelícula sobre acero inoxidable fue de alrededor de cuatro meses, mientras que el desarrollo de una biopelícula sobre hierro colado se dio al cabo de un mes.¹⁴

Cloración

La cloración se puede realizar mediante gas cloro licuado, solución de hipoclorito sódico, gránulos de hipoclorito cálcico (presentación pastilla) y por medio de generadores de cloro *in situ*. La finalidad principal de la cloración es la desinfección microbiana. No obstante, el cloro actúa también como oxidante y puede eliminar o ayudar a eliminar algunas sustancias químicas, por ejemplo, puede descomponer los plaguicidas fácilmente oxidables, es posible que oxide especies disueltas, como el manganeso, y formar productos insolubles que pueden eliminarse mediante una filtración posterior; también es capaz de oxidar especies disueltas a formas más fáciles de eliminar (por ejemplo, el arsenito a arseniato). Un inconveniente del cloro es su capacidad de reaccionar con materia orgánica natural y producir trihalometanos y otros subproductos de la desinfección (SPD) halogenados. No obstante, la formación de subproductos puede controlarse optimizando el sistema de tratamiento.¹⁵

Coliformes y agua

La mayoría de las bacterias patógenas que pueden ser transmitidas por el agua infectan el aparato digestivo y son excretadas en las heces de las personas o animales infectados. Hay bacterias patógenas transmitidas a través del agua que pueden proliferar tanto en medio acuático como en el suelo. Las vías de transmisión de estas bacterias incluyen la inhalación y el contacto (al bañarse) y pueden producir infecciones en el aparato respiratorio y en el genitourinario, en la piel o en el cerebro.¹⁵

El "total de bacterias coliformes" (o "coliformes totales") incluye una amplia variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gramnegativos y no esporulantes capaces

de proliferar, fermentar lactosa y producir ácido o aldehído en 24 horas a 35-37 °C. *Escherichia coli* y los coliformes termotolerantes son un subgrupo del grupo de los coliformes totales que pueden fermentar la lactosa a temperaturas más altas. Tradicionalmente se consideraba que las bacterias coliformes pertenecían a los géneros *Escherichia*, *Edwardsiella*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter*, pero el grupo es más heterogéneo e incluye otros géneros como *Serratia* y *Hafnia*. El grupo de los coliformes totales incluye especies fecales y ambientales, comprende microorganismos que pueden sobrevivir y proliferar en el agua, y se pueden utilizar como indicadores de eficacia en los tratamientos y para evaluar la limpieza e integridad de sistemas de distribución, así como en la posible presencia de biopelículas.¹⁵

Las bacterias coliformes corresponden al 10% de los microorganismos intestinales humanos y animales, por lo que su presencia en el agua está asociada con contaminación fecal e indica tratamientos inadecuados o contaminación posterior. *Enterobacter* y *Klebsiella* colonizan superficies interiores de las tuberías de agua y tanques de almacenamiento, forman biopelículas en presencia de nutrientes, temperaturas cálidas, bajas concentraciones de desinfectantes y tiempos largos de almacenamiento.¹⁶

Material y métodos

Se realizó un estudio descriptivo y observacional, a manera de tamizaje se midió pH y cloración del agua, constituido el equipo por rojo fenol y ortotolidina, asimismo se utilizaron pruebas rápidas Pur Test® Home Water Analysis y reactivos de Testlab® para conocer los aspectos físico-químicos del agua de la muestra.

Se tomó agua para cultivarla, con el medio de transporte bacteriano contenido en PurTest® Home Water Analysis las muestras se enviaron a un laboratorio particular, sin que esto genere conflicto de intereses.

Para el muestreo se tomó agua en recipientes estériles de cuatro lugares de distribución de agua para consumo intradomiciliario de diferentes municipios:

- Muestra de agua de un pozo que requiere mantenimiento correctivo en el municipio de Lerma
- Muestra de agua que tiene comunicación con la red de agua de la localidad en el municipio de Timilpan
- Muestra de toma de agua de una planta tratadora en un conjunto habitacional en el municipio de Toluca
- Muestra de agua de la Unidad de Cuidados Intensivos de un hospital en el municipio de Metepec

Resultados

Los resultados físico-químicos, bacteriológicos y micológicos se muestran en el cuadro 1. El reporte bacteriológico y micológico del pozo en mal estado se observan en el cuadro 2. Asimismo, en el cuadro 3 se indican los datos del reporte bacteriológico de pozo. Finalmente, el informe bacteriológico de agua tratada aparece en el cuadro 4.

Cuadro 1
Parámetros físico-químicos

Pruebas	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Valores de referencia
Plomo y pesticidas	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Positivo/Negativo
Hierro	0 ppm	0 ppm	.3 ppm	0 ppm	≥.3 ppm
Cobre	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	≥1.3 ppm
Tiras reactivas para determinar pH	9 ppm	9 ppm	9 ppm	7 ppm	6.5-8.5 ppm
pH rojo fenol	7.6-8.2 ppm	7.6-8.2 ppm	7.6-8.2 ppm	7.2 ppm	6.8-8.2 ppm
Tiras reactivas para nitratos	5 ppm	0 ppm	5 ppm	0 ppm	≥10 ppm
Tiras reactivas para nitritos	0 ppm	0 ppm	.5 ppm	0 ppm	≥1 ppm
Alcalinidad total	180 ppm	80 ppm	180 ppm	0 ppm	≥180 ppm
Dureza total	3 granos 50ppm	6 granos 100 ppm	3 granos 100ppm	0 ppm	≥50 ppm
Fosfatos	2.5 mg/l	2.5 mg/l	2.5 mg/l	0 mg/l	0-5 mg/l
Cloro residual ortotolidina	0 ppm	0 ppm	0 ppm	1.5 ppm	0.3 – 0.3 ppm
Tiras reactivas cloro residual	0 ppm	0 ppm	0 ppm	5 ppm	≤ 4 ppm
Crecimiento bacteriano	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo/Negativo

Cuadro 2
Reporte bacteriológico y micológico de pozo en mal estado

Cocos Gram positivos	Ausentes	Aislamiento Bacilos Gram negativos	<i>Escherichia coli</i>
Bacilos Gram positivos	Ausentes	Ampicilina	Resistente >=32
Aislamiento Levadura	Candida sp	Ampicilina con sulbactam	Susceptible 4
Antofotericina B	Susceptible 0.5	Piperacilina con tazobactam	Susceptible <=4
Caspofungina	Susceptible 0.25	Cefazolina	Resistente >=64
Fluconazol	Susceptible 1	Ceftriaxona	Susceptible <=1
Flucitocina	Susceptible <=1	Cefepime	Susceptible <=1
Micafungina	Resistente 4	Aztreonam	Susceptible <=1
Voriconazol	Susceptible >=0.12	Ertapenem	Susceptible <=0.5
		Meropenem	Susceptible <=0.25
		Amikacina	Susceptible <=2
		Gentamicina	Susceptible <=1
		Tobramicina	Susceptible <=1
		Ciprofloxacina	Susceptible <=0.25
		Tigeciclina	Susceptible <=0.5
		Nitrofurantoina	Susceptible 32
		Trimetoprim/sulfametazol	Susceptible <=20

Cuadro 3
Reporte bacteriológico de pozo

Cocos Gram positivos	Ausentes
Bacilos Gram positivos	Ausentes
Cocos Gram negativos	Ausentes
Bacilos Gram negativos	Ausentes
Levaduras	Ausentes
Aislamiento Bacilos Gram negativos	<i>Enterobacter cloacae</i> spp <i>dissolvens</i>
Cefalotina	Resistente <=64
Cefuroxima	Resistente 4
Ceftriaxona	Susceptible <=1
Cefepime	Susceptible <=1
Ertapenem	Susceptible <=0.5
Meropenem	Susceptible <=0.25
Amikacina	Susceptible <=2
Gentamicina	Susceptible <=1
Ciprofloxacino	Susceptible <=0.25
Norfloxacino	Susceptible <=0.5
Fosfomicina	Susceptible <=16
Nitrofurantoina	Intermedio 64
Trimetoprim/sulfametoxazol	Susceptible <=20

Cuadro 4
Reporte bacteriológico de agua tratada

Cocos Gram positivos	Ausentes
Bacilos Gram positivos	Ausentes
Cocos Gram negativos	Ausentes
Bacilos Gram negativos	Presentes
Levaduras	Ausentes
Medios de cultivo crecimiento bacteriano Maconkey	Más de 100 000 ufc/mL
Aislamiento	<i>Citrobacter koseri</i>
Cefalotina	Susceptible 4
Cefuroxima	Susceptible 4
Ceftriaxona	Susceptible <=1
Cefepime	Susceptible <=1
Ertapenem	Susceptible <=0.5
Meropenem	Susceptible <=0.25
Amikacina	Susceptible <=2
Gentamicina	Susceptible <=1
Ciprofloxacino	Susceptible <=0.25
Norfloxacino	Susceptible <=0.5
Fosfomicina	Susceptible <=16
Nitrofurantoina	Susceptible <=32
Trimetoprim/sulfametoxazol	Susceptible <=20

Discusión

Pudimos observar que el pH alcalino fue predominante en el muestreo, esto nos indicaba una alteración oculta en la potabilidad del agua ya que no había datos de cloro residual en los puntos de muestreo. Una limitante para el estudio es el alto costo para llevar estudios físico-químicos del agua potable, así como determinar micológicamente la cepa aislada de levadura.

La presencia de coliformes es una alerta para las autoridades encargadas del agua, ya que en la muestra 1 observamos *E. coli* y *Candida* ssp. en el pozo en mal estado, el cual proporciona agua "potable", por lo que requiere mantenimiento correctivo inmediato. Esto coincide con lo que describen Knobelsdorf y colaboradores, y llama la atención que esta cepa ya es resistente a dos antibióticos que se utilizan para diversas infecciones de vías respiratorias e infección de vías urinarias; en cuanto a la cepa de *Candida* ssp., ya es resistente a micafungina. En la muestra 2 el *Enterobacter cloacae* ssp. *dissolvens* concuerda con lo que comentan Lenaker y colaboradores, el pozo debe tener alguna filtración con alguna toma de aguas residuales que está contaminando dicho depósito, esta cepa también ya es resistente a dos antibióticos. En la muestra 3 encontramos que la cepa de *Citrobacter koseri* todavía es sensible a varios medicamentos, pero al ser aguas tratadas, la presencia de hierro nos indica oxidación de los materiales de construcción y esto produce la pérdida del efecto del cloro y, por tanto, recurrencia de rinitis y otitis en las personas que están en contacto con esta agua.

En el caso del hospital, para que no existiesen datos de falsos negativos en el cultivo del agua se neutralizó el agua recolectada para tenerla libre de cloro residual con el reactivo que viene en el kit, no hubo crecimiento bacteriano a las 48 ni a las 72 horas, esto nos indica que la calidad del agua hospitalaria es óptima, pues como describen Knobelsdorf y colaboradores, dependerá del material con que estén contruidos los depósitos para evitar el crecimiento bacteriano, así como de los biofilms, aunado a un mantenimiento preventivo para que no existan en algún momento dado brotes nosocomiales.

Es importante resaltar sobre un pH alcalino, como se menciona en un estudio de Rubio y colaboradores: "La diferencia entre la concentración de pH en casas posiblemente se explique por la presencia de cañerías obstruidas o tube-

ría rotas que afectan el agua en su trayecto de la fuente a la casa-habitación".¹⁷ Mientras más alcalina sea el agua se requieren mayores dosis de cloro para una misma temperatura y tiempo de contacto.¹⁸

La cloración del agua debe cumplir lo estipulado por la NOM-179-SSA1-1998, ya que la ingesta de bacterias como enterobacterias provoca no sólo enfermedades diarreicas agudas, sino también infección recurrente de vías urinarias y cervicovaginitis por el contacto directo con dicha agua no clorada. En caso de que existan problemas para una cloración adecuada, se debe dar capacitación sobre cómo agregar cloro ya sea líquido o en pastillas para que la población dé mantenimiento a tinacos, cisternas o cualquier otro medio de almacenamiento del agua.¹⁹

Es necesario difundir recomendaciones de hervir el agua cuando se produzcan los siguientes tipos de incidentes:

- Deterioros graves que afectan los procesos de tratamiento o la integridad de los sistemas de distribución del agua de consumo
- Desinfección deficiente
- Deterioro de la calidad del agua de origen
- Datos epidemiológicos indicativos de un brote originado por el agua de consumo
- Detección de contaminación microbiana en muestras de agua de consumo
- Detección de agentes patógenos o indicadores de contaminación fecal en el agua de consumo¹⁵

Conclusión

La potabilización del agua a través de la cloración es primordial en todas las regiones, el cloro es un elemento relativamente barato y de fácil aplicación, es importante la capacitación del personal de pozos y bombas de agua, ya que ellos son los responsables de vigilar la cantidad de cloro aplicado, las concentraciones y, muy importante, el pH, pues éste nos indica la pérdida de la potabilidad por contaminación.

† A la memoria de Hugo Samperio Morales, sin cuyo invaluable apoyo y *expertis* no se habría podido llevar a cabo este estudio.

Referencias

1. Lenaker, P., Corsi, S., McLellan, S., Borchardt, M., Olds, H. *et al.*, "Human-associated indicator bacteria and human-specific viruses in surface water: a spatial assessment with implications on fate and transport", *Environ Sci Technol*, 2018, 52: 12162-12171.
2. Characklis, W., *Bacterial regrowth in distribution systems*, Institute for Biological and Chemical Process Analysis, Montana State University, Bozeman, 1988. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/356c/b74c14859d97f8be0e48b73d5dd5be7949dc.pdf> Consultado el 13/06/2019.
3. Sonntag, H., "Experience with bacterial growth in waterworks systems", *Water Supply*, 1986, 4: 195-197.
4. Van der Kooij, D. y Veenendaal, H., *Assessment of the biofilm formation potential of synthetic materials in contact with drinking water during distribution*, American Water Works Association, Denver, Colorado, 1993.
5. De León, R., Rose, J., Bosch, A., Torrella, F. y Gerba, C., "Detection of *Giardia*, *Cryptosporidium* and enteric virus in surface and tap water samples in Spain", *International J Environ Health Res*, 1993, 3: 121-129.
6. Le Chevallier, M., Cawthorn, C. y Lee, R., "Inactivation of biofilm bacteria", *Appl Environ Microbiol*, 1988, 54 (10): 2492-2499.

7. Colbourne, J, Trew, R, y Dennis, P, "Treatment of water for aquatic bacterial growth studies", *J Appl Bacteriol*, 1988, 65 (1): 79-85.
8. Schoenen, D., "Influence of materials on the microbiological colonization of drinking water", en *Microbiology in civil engineering*, P. Howsam Ed., Londres, 1989, pp. 101-113.
9. Le Chevallier, M., Lowry, C, y Lee, R., "Desinfection of biofilms in a model distribution system", *JAWWA*, 1990, 82 (7): 87-89.
10. Ridgway, H, y Olson, B., "Scanning electron microscope evidence for bacterial colonization of a drinking water distribution system", *Appl Environ Microbiol*, 1981, 41 (1): 274-287.
11. Characklis, W, y Marshall, K., *Biofilms: a basis for an interdisciplinary approach*, John Wiley & Sons, Nueva York, 1990.
12. Clark, R, Lykins, B., Block, J., Wymer, L, y Reasoner, D., "Water quality changes in a simulated distribution system", *WJST*, 1993, 43 (6): 263-277.
13. Van der Kooij, D., "Asimilable organic carbon (AOC) in drinking water", en *Drinking water microbiology*, Springer Verlag, Nueva York, 1990.
14. Knobelsdorf, J, y Mujeriego, R., "Crecimiento bacteriano en las redes de distribución de agua potable: una revisión bibliográfica", *Ingeniería del Agua*, 1997, 4 (2): 17-28.
15. *Guías para la calidad del agua potable*, primer apéndice a la tercera edición, vol. 1, *Recomendaciones*, Organización Mundial de la Salud, 2006.
16. Ríos, S, Agudelo, R, y Gutiérrez, L., "Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano", *Rev Fac Nac Salud Pública*, 2017, 35 (2): 236-247.
17. Rubio, H., Balderrama, L., Burrola, E., Aguilar, G, y Saucedo, R., "Niveles de contaminación del agua potable en la cabecera municipal de Ascención, Chihuahua, México", *Revista Electrónica Nova Scientia*, 2015, 7 (2): 178-201.
18. Pérez, L., "Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica", *Tecnología en Marcha*, 2016, 29 (3): 3-14.
19. Norma Oficial Mexicana NOM-179-SSA1-1998, Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público.