

Zúñiga Carrasco, Iván Renato¹
Miliar de Jesús, Reyna²

Importancia de la cloración del agua: sitios turísticos del municipio de Tulum, Quintana Roo, con presencia de *Klebsiella pneumoniae*

Importance of water chlorination: tourist sites in the municipality of Tulum, Quintana Roo, with the presence of *Klebsiella pneumoniae*

Fecha de aceptación: septiembre 2024

Resumen

ANTECEDENTES: el crecimiento bacteriano se ha asociado con la presencia de agentes patógenos en el agua de suministro. *Klebsiella pneumoniae* es una bacteria oportunista. Las infecciones por *K. pneumoniae* pueden ocurrir en cualquier parte del cuerpo, las infecciones predominantes son del tracto urinario y del tracto respiratorio. A diferencia de otros patógenos bacterianos, *K. pneumoniae* se encuentra en toda la naturaleza.

MATERIAL Y MÉTODOS: se realizó un estudio descriptivo y 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 fisicoquímicos del agua de la muestra. El agua se cultivó utilizando el medio de transporte PurTest® Home Water Analysis. Se tomaron muestras en cuatro sitios turísticos y una toma de agua de una colonia.

RESULTADOS: en los sitios muestreados predominó el pH alcalino y no había datos de cloro residual. Hubo crecimiento de *K. pneumoniae* en los cinco sitios muestreados.

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.

Palabras clave: *K. pneumoniae*, cloración, pH, tubería, infección de vías urinarias, infección de vías respiratorias.

Abstract

BACKGROUND: bacterial growth has been associated with the presence of pathogens in the supply water. *Klebsiella pneumoniae* is an opportunistic bacteria. *K. pneumoniae* infections can occur anywhere in the body, the predominant infections are of the urinary tract and respiratory tract. Unlike other bacterial pathogens, *K. pneumoniae* is found throughout nature.

MATERIAL AND METHODS: a descriptive, observational study was carried out. The pH and chlorination of the water were measured, Pur Test® Home Water Analysis rapid tests and Testlab® reagents were used to know the physicochemical aspects of the water in the sample. Water was cultured using PurTest® Home Water Analysis transport medium. Samples were taken at four tourist sites and a water intake in a colony.

RESULTS: in the sampled sites, alkaline pH predominated and there was no residual chlorine data. There was growth of *K. pneumoniae* in the five sites sampled.

CONCLUSION: the purification of water through chlorination is essential in all regions; chlorine is a relatively cheap and easily applied element.

Keywords: *K. pneumoniae*, chlorination, pH, plumbing, urinary tract infection, respiratory tract infection.

Introducción

Klebsiella pneumoniae es una importante especie oportunista. Las infecciones por *K. pneumoniae* pueden ocurrir en cualquier parte del cuerpo, las infecciones predominantes son del tracto urinario y del tracto respiratorio. A diferencia de otros patógenos bacterianos, *K. pneumoniae* es ubicua

de la naturaleza. Se puede localizar en la vegetación, el suelo y en aguas superficiales. Diversos estudios han descrito aislamientos de *K. pneumoniae* de origen ambiental casi idénticos a los aislados en hospitales, lo que sugiere que las cepas ambientales de *K. pneumoniae* pueden ser tan virulentas como las cepas nosocomiales.^{1,2}

¹ Servicio de Epidemiología, Unidad de Medicina Familiar 223, IMSS, Lerma, Estado de México

² Enseñanza de Enfermería, Hospital General Dr. Nicolás San Juan, Instituto de Salud, Toluca, Estado de México

Correspondencia: Dr. Iván Renato Zúñiga Carrasco
Avenida Hidalgo esq. Flores Magón, C.P. 52000, Lerma de Villada, Estado de México.

Correo: ivan.zuniga@imss.gob.mx

K. pneumoniae coloniza superficies interiores de las tuberías de agua y tanques de almacenamiento, forman biopelícula en presencia de nutrientes, temperaturas cálidas, bajas concentraciones de desinfectantes y tiempos largos de almacenamiento.³

Bacterias y suministros de agua

El crecimiento bacteriano se ha asociado con la presencia de agentes patógenos en el agua de suministro.^{4,6}

Las fuentes de abastecimiento 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 crecimiento bacteriano depende esencialmente del contenido de nutrientes inorgánicos, el pH del agua, la materia orgánica biodegradable, la temperatura, el tiempo de permanencia del agua en los conductos, la eficiencia del desinfectante residual, los depósitos de almacenamiento y el material de construcción de las tuberías.⁷⁻⁹

El flujo de agua favorece el transporte tanto de nutrientes como de bacterias en las paredes de las tuberías, las partículas presentes en el agua sirven como superficie adherente para los microorganismos. Los organismos adheridos tienen una mayor eficacia para absorber nutrientes y son más resistentes a los ambientes adversos, como la escasez de nutrientes y la presencia de desinfectantes.⁷⁻⁹

Material de las tuberías y crecimiento bacteriano

El contacto del agua con ciertos materiales de la red de abastecimiento puede favorecer el crecimiento bacteriano. Ciertos materiales usados en las viviendas pueden permitir la multiplicación de bacterias oportunistas como *K. pneumoniae*.¹⁰

La biopelícula tiene la capacidad de desarrollarse sobre las paredes de las tuberías, los materiales que las constituyen pueden proveer nutrientes para el crecimiento bacteriano. La lixiviación de iones metálicos por parte de los materiales plásticos aporta cationes fundamentales para la función enzimática de las bacterias. Las células bacterianas en contacto con ciertos materiales absorben con facilidad los iones, por lo que los materiales con base orgánica pueden ser directamente utilizados por algunos microorganismos. 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, depósitos recubiertos con pinturas bituminosas, resinas epóxicas, películas de cloruro de polivinilo (PVC), tuberías de poliamida y algunos plásticos han presentado un incremento de la concentración de microorganismos en el agua y un crecimiento microbiano visible en 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, el hormigón, el hierro colado, el hierro dúctil y el acero se han utilizado para la construcción de sistemas de abastecimiento de agua. Es importante destacar que la corrosión de las tuberías metálicas reacciona con los desinfectantes y favorecen el desarrollo microbiano al impedir la penetración del cloro.¹¹

Material y métodos

Se realizó un estudio descriptivo y observacional. Para el muestreo se tomó agua en recipientes estériles de cuatro sitios turísticos del municipio de Tulum, Quintana Roo (se omiten los nombres para no generar incertidumbre en los turistas), y una toma de un grifo de agua de una casa en una colonia. A manera de tamizaje se midió el pH y la cloración del agua, con un equipo constituido por rojo fenol y ortotolidina, asimismo se utilizaron pruebas rápidas Pur Test® Home Water Analysis y reactivos de Testlab®; para conocer los aspectos fisicoquímicos del agua se utilizaron pruebas rápidas de Pur Test® Home Water Analysis. Se tomaron muestras de 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 haya generado conflicto de intereses.

Resultados

Los resultados fisicoquímicos de las muestras tomadas se reportan en el cuadro 1. Se observa que no hay presencia de cloro residual en las instalaciones de los lugares donde se obtuvo la muestra de agua. Por las características fisicoquímicas del agua de la península de Yucatán, fueron elevados los registros de dureza y alcalinidad, el pH reportó agua alcalina, lo cual es indicativo de contaminación de agua potable.

En el cuadro 2 se destacan los resultados del reporte bacteriológico de los parques temáticos ecológicos 1 y 2.

En el cuadro 3 se indican los resultados del reporte bacteriológico de tomas de agua de grifos en instalaciones de los cenotes abiertos al público 1 y 2.

En el cuadro 4 se reporta el estudio bacteriológico de la toma de agua de un grifo de una casa en una colonia.

Se puede observar que en tres de las muestras de agua hubo presencia de *K. pneumoniae*, no hubo crecimiento micótico y se reportó resistencia a cuatro antibióticos: ampicilina con sulbactam, cefalotina, ceftriaxona y fosfomicina. En cuanto al reporte de cultivo de agua del grifo de una casa en una colonia, fue igualmente positivo a *K. pneumoniae*, pero en este cultivo se reportó resistente a tres antibióticos: ampicilina, cefalotina y trimetoprim con sulfametoazol.

Cuadro 1.
Reporte fisicoquímico de agua

| Pruebas | Parque temático ecológico 1 | Parque temático ecológico 2 | Toma de agua de grifo en instalaciones cenote 1 | Toma de agua de grifo en instalaciones cenote 2 | Toma de agua de grifo en casa de una colonia | Valores de referencia |
|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|---|--|-----------------------|
| Hierro | 0 ppm | 0 ppm | 0 ppm | 0 ppm | 0 ppm | > .3 ppm |
| Cobre | 1.3 ppm | 1.3 ppm | 1.3 ppm | 1.3 ppm | 1.3 ppm | > 1.3 ppm |
| Tiras reactivas para determinar pH | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 6.5-8.5 |
| pH rojo fenol | 8.0-8.5 | 8.0-8.5 | 8.0-8.5 | 8.0-8.5 | 8.0-8.5 | 6.5-8.5 |
| Tiras reactivas para nitratos | 0 ppm | 0 ppm | 0 ppm | 0 ppm | 0 ppm | > 10 ppm |
| Tiras reactivas para nitritos | 0 ppm | 0 ppm | 0 ppm | 0 ppm | 0 ppm | > 1 ppm |
| Alcalinidad total | 240 ppm | 240 ppm | 240 ppm | 240 ppm | 240 ppm | > 180 ppm |
| Dureza total | 400 ppm | 400 ppm | 400 ppm | 400 ppm | 400 ppm | > 50 ppm |
| Cloro residual Dpd 3 | 0 ppm | 0 ppm | 0 ppm | 0 ppm | 0 ppm | 0.2-3.0 |
| Cloro residual ortotolidina | 0 ppm | 0 ppm | 0 ppm | 0 ppm | 0 ppm | 0.3-3.0 |
| Tiras reactivas cloro residual | 0 ppm | 0 ppm | 0 ppm | 0 ppm | 0 ppm | < 4 ppm |
| Crecimiento bacteriano | Positivo | Positivo | Positivo | Positivo | Positivo | Positivo/Negativo |

Cuadro 2.
Cultivos de grifos de agua en parques temáticos ecológicos 1 y 2

| Parques temáticos ecológicos 1 y 2 | |
|---|------------------------------|
| Cocos gram positivos | Ausentes |
| Bacilos gram positivos | Ausentes |
| Cocos gram negativos | Ausentes |
| Medios de cultivo de crecimiento bacteriano (MacConkey) | Más de 100 000 ufc/mL |
| Aislamiento Bacilos gram negativos | <i>Klebsiella pneumoniae</i> |
| Ampicilina con sulbactam | Resistente > = 32 |
| Cefalotina | Resistente > = 64 |
| Ceftriaxona | Resistente 8 |
| Cefepime | Susceptible < = 0.12 |
| Ceftazidima | Susceptible 0.25 |
| Ertapenem | Susceptible < = 0.12 |
| Meropenem | Susceptible < = 0.25 |
| Amikacina | Susceptible < = 1 |
| Gentamicina | Susceptible < = 1 |
| Ciprofloxacina | Susceptible < = 0.06 |
| Norfloxacino | Susceptible < = 0.5 |
| Fosfomicina | Resistente > = 256 |
| Nitrofurantoína | Susceptible 32 |
| Trimetoprim/sulfametoxazol | Susceptible < = 20 |
| CULTIVO MICOLÓGICO: | Sin desarrollo microbiano |

Cuadro 3.
Cultivos de agua de grifos en instalaciones de cenotes abiertos al público

| Toma de agua de grifo en los cenotes 1 y 2 | |
|--|------------------------------|
| Cocos gram positivos | Ausentes |
| Bacilos gram positivos | Ausentes |
| Cocos gram negativos | Ausentes |
| Medios de cultivo crecimiento bacteriano (MacConkey) | Más de 100 000 ufc/mL |
| Aislamiento Bacilos gram negativos | <i>Klebsiella pneumoniae</i> |
| Ampicilina con sulbactam | Resistente ≥ 32 |
| Cefalotina | Resistente ≥ 64 |
| Ceftriaxona | Resistente 8 |
| Cefepime | Susceptible ≤ 0.12 |
| Ceftazidima | Susceptible 0.25 |
| Ertapenem | Susceptible ≤ 0.12 |
| Meropenem | Susceptible ≤ 0.25 |
| Amikacina | Susceptible ≤ 1 |
| Gentamicina | Susceptible ≤ 1 |
| Ciprofloxacina | Susceptible ≤ 0.06 |
| Norfloxacino | Susceptible ≤ 0.5 |
| Fosfomicina | Resistente ≥ 256 |
| Nitrofurantoína | Susceptible 32 |
| Trimetoprim/sulfametoxazol | Susceptible ≤ 20 |
| CULTIVO MICOLÓGICO: | Sin desarrollo microbiano |

Cuadro 4.
Cultivos de agua de grifo de una casa en una colonia

| Toma de agua de grifo de una casa en una colonia | |
|--|------------------------------|
| Cocos gram positivos | Ausentes |
| Bacilos gram positivos | Ausentes |
| Cocos gram negativos | Ausentes |
| Medios de cultivo crecimiento bacteriano (MacConkey) | Más de 100 000 ufc/mL |
| Aislamiento Bacilos gram negativos | <i>Klebsiella pneumoniae</i> |
| Ampicilina | Resistente ≥ 32 |
| Cefalotina | Resistente ≥ 64 |
| Ceftriaxona | Susceptible ≤ 0.5 |
| Cefepime | Susceptible ≤ 0.12 |
| Ceftazidima | Susceptible 0.25 |
| Ertapenem | Susceptible ≤ 0.12 |
| Meropenem | Susceptible ≤ 0.25 |
| Amikacina | Susceptible ≤ 1 |
| Gentamicina | Susceptible ≤ 1 |
| Ciprofloxacina | Susceptible ≤ 0.06 |
| Norfloxacino | Susceptible ≤ 0.5 |
| Fosfomicina | Susceptible ≤ 1 |
| Nitrofurantoína | Susceptible 32 |
| Trimetoprim/sulfametoxazol | Resistente ≥ 256 |
| CULTIVO MICOLÓGICO: | Sin desarrollo microbiano |

Discusión

Pudimos observar que el pH alcalino fue predominante en el muestreo, esto nos indicó una alteración oculta en la potabilidad del agua, ya que no había datos de cloro residual en los puntos de muestreo. Aunque el pH generalmente no tiene un efecto directo en los consumidores, es uno de los parámetros más importantes para determinar la calidad del agua. Por lo tanto, es necesario prestar atención al control del pH en todas las etapas del tratamiento del agua para garantizar su potabilización. Para una efectiva acción del cloro, el pH debe estar en rangos menores de 8. Un pH por arriba de 8 nos puede indicar contaminación del agua, con una pérdida de su potabilidad.¹²

La cloración del agua debe cumplir lo estipulado por la NOM-179-SSA1-1998, ya que la ingesta de bacterias provoca no sólo enfermedades diarreicas agudas, sino también infección recurrente de vías urinarias, del tracto respiratorio e incluso cervicovaginitis por el contacto directo con dicha agua potabilizada. 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 lo añada a tinacos, cisternas o cualquier otro medio de almacenamiento del agua.¹³

Por los padecimientos arriba comentados, es importante enfatizar que la interacción de las bacterias con las superficies de las células epiteliales es un primer paso crucial en la colonización y posterior infección de un huésped. Estudios de adhesión e invasión utilizando líneas celulares humanas, revelaron una variación pronunciada en la capacidad de las diferentes cepas de *K. pneumoniae* para adherirse e invadir las células epiteliales. Las infecciones por *K. pneumoniae*

suelen ir precedidas de una colonización gastrointestinal. Las cepas de origen ambiental son colonizadoras tan efectivas como las cepas de origen nosocomial. *K. pneumoniae* es una causa frecuente de infección de vías urinarias. Una diferencia pronunciada entre cepas es la capacidad para causar pielonefritis. Es importante destacar que a aquellos pacientes con infecciones recurrentes de vías aéreas superiores, y principalmente de vías urinarias, se les debe realizar exudado nasofaríngeo y urocultivo, respectivamente, ya que el médico prescribe antibióticos en ocasiones de manera arbitraria, sin hacer una revaloración del caso, a mediano plazo estos pacientes comenzarán a generar farmacoresistencia. Cuatro cepas reportaron cuatro líneas de antibiótico y una cepa mostró resistencia a tres líneas de antibiótico en el cultivo del agua de grifo de una casa de una colonia; los sitios turísticos tendrían una cepa en común cuyo origen sería el mismo sistema de abastecimiento de agua diferente al que surte a la colonia de la casa donde se tomó la muestra.¹⁴⁻¹⁸

Una limitante para este trabajo es el alto costo para llevar estudios fisicoquímicos del agua potable.

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.

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

Conflicto de Intereses: Ninguno

Financiamiento: Ninguno

Referencias

1. Podschun, R., Pietsch, S., Holler, C. y Ullmann, U., "Incidence of *Klebsiella* species in surface waters and their expression of virulence factors", *Appl Environ Microbiol*, 2001, 67: 3325-3327.
2. Seidler, R., Knittel, M. y Brown, C., "Potential pathogens in the environment: cultural reactions and nucleic acid studies on *Klebsiella pneumoniae* from clinical and environmental sources", *Appl Microbiol*, 1975, 29 (6): 819-825.
3. 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.
4. Sonntag, H., "Experience with bacterial growth in waterworks systems", *Water Supply*, 1986, 4: 195-197.
5. 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.
6. 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.
7. Le Chevallier, M., Cawthorn, C. y Lee, R., "Inactivation of biofilm bacteria", *Appl Environ Microbiol*, 1988, 54 (10): 2492-2499.
8. Colbourne, J., Trew, R. y Dennis, P., "Treatment of water for aquatic bacterial growth studies", *J Appl Bacteriol*, 1988, 65 (1): 79-85.
9. Schoenen, D., "Influence of materials on the microbiological colonization of drinking water". En P. Howsam (ed.), *Microbiology in civil engineering*, Londres, 1989, pp. 101-113.
10. Van der Kooij, D., "Asimilable organic carbon (AOC) in drinking water". En *Drinking water microbiology*, Nueva York, Springer Verlag, 1990.
11. 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.
12. WHO Library Cataloguing in Publication Data, *Guidelines for drinking-water quality*, 4ª ed., Washington, World Health Organization, 2011, pp. 117-153, 155-176.
13. 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".
14. Struve, C. y Krogfelt, K., "Pathogenic potential of environmental *Klebsiella pneumoniae* isolates", *Environmental Microbiology*, 2004, 6 (6): 584-590.
15. Brown, C. y Seidler, R., "Potential pathogens in the environment: *Klebsiella pneumoniae*, a taxonomic and ecological

- enigma", *Appl Microbiol*, 1973, 25 (6): 900-904.
16. Andreu, A., "Patogenia de las infecciones del tracto urinario", *Enf Inf y Micro Clin*, 2005, 23 (4): 23-26.
17. Martínez Díaz, C., Cambronero, J. y Senovilla, J., "Fisiopatología de la infección urinaria", *Clínicas Urológicas de la Complutense*, 1997, 5: 51-63.
18. Rosillo, Y., Zúñiga, I., Samperio, H., Cortés, N., Martínez, O. *et al.*, "Panorama clínico epidemiológico de la insuficiencia renal crónica en población de 20 a 49 años de la UMF 223 IMSS Lerma", *Salud en Chiapas*, 2019, 7 (1): 6-13.