

Distribución de bacterias patógenas en el agua para consumo humano en una cuenca rural y sus afectaciones potenciales en la salud pública

*Yesenia Rodríguez López¹, María Estela Carmona Jiménez²
y Rubén Hernández Morales¹*

¹Facultad de Biología, UMSNH; ²Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM - Morelia

Resumen

A nivel mundial por diversos factores, las comunidades rurales tienen acceso limitado al agua potable. Las condiciones deficientes de su distribución aumentan el riesgo potencial de transmitir enfermedades, mismas que en gran parte son generadas por microorganismos patógenos. Las comunidades que habitan en la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo (CASPJ) todas rurales, en el Bajo Balsas en Michoacán, se enfrentan al problema de acceso al recurso hídrico, tanto como a la calidad de éste. Encontrando que el 95% de las muestras analizadas en norias, manantiales y arroyos, presentaron entre tres y diez géneros diferentes de bacterias. En total 15 géneros identificados, distribuidos a lo largo de la CASPJ; sin

registrar una diferencia estadística significativa entre la parte alta, media y baja de la cuenca; ni entre las fuentes de agua. Los géneros con mayor frecuencia son: *Enterobacter*, *Escherichia*, *Klebsiella*, *Proteus*, y *Hafnia*, mismas que son parte de la flora intestinal de animales, incluyendo al humano, lo que indica una contaminación del agua por heces fecales. Se establece que la contaminación es por mal manejo y falta de saneamiento. Los problemas potenciales de salud a la población, al consumir agua y alimentos contaminados o por contacto son: infecciones gastrointestinales, cutáneas, urinarias y nosocomiales, llegando a la septicemia; actuando varias de las bacterias como patógenos oportunistas. *Shigella*, *Salmonella* y *Vibrio* presentan el mayor riesgo a la población. Por lo cual las comunidades requieren acciones que procuren la potabilización y saneamiento del agua de uso y consumo humano.

Palabras clave: microbiología médica, contaminación del agua, distribución de bacterias, enfermedades transmitidas por el agua.

Abstract

Distribution of pathogenic bacteria in water for human consumption in a rural river basin and its effects potentials on public health.

Worldwide, several factors affect rural communities to have access to clean drinking water. Poor water distribution conditions increase the risk of disease transmission, which is largely attributed to pathogenic microorganisms. The rural communities of the San Pedro Jorullo basin, in the state of Michoacán, Mexico, face problems related to a steady supply of clean drinking water. Results from this study show that 95% of the sampling sites, which correspond to streams and springs, have 3 to 10 genera of bacteria out of the 15 genera that were identified. No significant differences in bacterial biodiversity were found among the top, mid and lower portions of the basin and between water sources. The most frequent bacterial genera that were found were: *Enterobacter*, *Escherichia*, *Klebsiella*, *Proteus*, and *Hafnia* which are part of the gut microbiota of animals and humans. This means that the water was contaminated with fecal matter. Water contamination is attributed to poor management and inefficient sanitation systems. Potential health problems related to the intake of contaminated water and consumption of contaminated produce include: gastrointestinal infections, skin reactions, urinary and nosocomial infections which can even lead to septicemia. *Shigella*, *Salmonella* and *Vibrio* pose the highest risk to the population. It is very important that specific actions be taken to ensure that

potabilization and sanitation of water for human consumption is achieved for these rural communities.

Keywords: medical microbiology, water contamination, bacterial distribution, water-borne diseases.

Introducción

El agua es un recurso vital para los seres vivos e indispensable para las necesidades básicas y el desarrollo de las actividades humanas, incluyendo las agrícolas e industriales, entre otras, requieren de cantidades altas de agua; por lo que para hacer uso de este recurso, es motivo de competencia y para ciertas regiones por diversas causas el acceso es aún más difícil (ONU 2000, ONU 2002, Zúñiga 2005). Tal es el caso de muchas poblaciones rurales, que tienen que recurrir a pequeños manantiales, ríos, arroyos, estanques, lagos u otros cuerpos de agua para satisfacer sus necesidades diarias de consumo, carentes o con escasa infraestructura hidráulica, siendo deficiente la distribución del agua en los hogares, factor que incrementa el riesgo de consumir agua de baja o dudosa calidad (ONU 2000, ONU 2002).

Con la finalidad de tener una supervisión del abastecimiento de agua potable y servicios sanitarios adecuados a nivel mundial, la Organización de las Naciones Unidas plantea los Objetivos de Desarrollo del Milenio y más allá de 2015 (ODM). De acuerdo con el informe de 2013 en ésta temática, las metas sobre el abastecimiento de agua potable, se han cumplido antes de lo previsto (ONU 2013); sin embargo, el 83 % de la población que aún está sin acceso a fuentes de agua potable segura, vive en zonas rurales, con serias carencias de infraestructura hidráulica y de servicios sanitarios adecuados (ONU 2002, Montgomery y Elimelech 2007, UNICEF y WHO 2012, ONU 2013). Sin lugar a duda, la preocupación simultánea sobre el acceso de agua y los servicios sanitarios en los ODM, tienen que ver con el conocimiento y pruebas documentadas, donde en buena medida los servicios sanitarios deficientes favorecen al aporte de contaminantes tanto físicos, químicos, como microbiológicos al agua, o sirven como hábitat de organismos patógenos; generando problemas de salud pública y ambiental (Montgomery y Elimelech 2007, Okafor 2011, González 2012, Sorlini 2013).

Existe un amplio registro de las enfermedades transmitidas por el agua contaminada, el 18 % causada por bacterias y con mayor frecuencia en los países en vías de desarrollo (Ford 1999, Zúñiga 2005, Okafor 2011).

Esta situación ha sido motivo de preocupación a nivel mundial, que ha generado múltiples investigaciones en diversas áreas rurales, las cuales concluyen que el mayor problema de contaminación del agua ocurre, -adicionalmente a las malas prácticas de higiene- durante el trayecto de transporte y almacén del agua, al mezclarse con desechos principalmente sanitarios (drenaje y defecación al aire libre), adquiriendo organismos microbianos asociados con heces fecales, proceso que conlleva a un riesgo potencial de salud pública, al favorecer una serie de enfermedades, principalmente a la población infantil. (Suthar *et al.*, 2009, Okafor 2011, Ryan y Lawrence 2011, González 2012, Sorline 2013, Abubakar *et al.*, 2014). Situación que para las zonas rurales de México no está exenta, como ocurre en las poblaciones rurales del Bajo Balsas en Michoacán, región calificada con un índice de desarrollo humano bajo (Hernández *et al.*, 2011, IEESA 2012, Burgos *et al.*, 2013). Sin embargo, poco se conoce o no se tienen referencias bibliográficas de los patógenos existentes y su afectación a las poblaciones de esta región. Por lo que el presente trabajo pretende dar a conocer la distribución de los géneros y especies de bacterias presentes en fuentes de agua relacionados al consumo y abastecimiento, en las poblaciones rurales que habitan en la Cuenca del Arroyo San Pedro Jorullo (CASPJ), del Bajo Balsas en Michoacán; además de indicar los riesgos potenciales a problemas de salud en la población por la presencia de las bacterias identificadas.

Área de estudio

La Cuenca del Arroyo San Pedro Jorullo (CASPJ), se sitúa al Suroeste de México, en la región hidrológica número 18, subregión de planeación del Bajo Balsas, que comprende parte de los municipios de la Huacana y Churumuco (CONAGUA 2009). El clima en la parte alta de la región corresponde a cálido subhúmedo, y cálido semiárido en la parte baja, ambos con lluvias de verano y escasa precipitación de noviembre a mayo; situación que propicia baja disponibilidad de agua en la región en más de la mitad del año, con una temperatura media que llega a los 30 °C en mayo y junio (CONAGUA 2009).

En México, el Río Balsas se destaca por su longitud y tiene vinculación con varios estados del centro sur del país, principalmente Guerrero y Michoacán. Regionalmente en Michoacán éste sistema hídrico, presenta una acentuada importancia, se alimenta por diversos afluentes, entre ellos el Arroyo San Pedro Jorullo, el cual tiene su origen en las partes altas de la cuenca, donde la precipitación es ligeramente mayor dando origen a algunos manantiales permanentes, cuyas

aguas son almacenadas en pequeños depósitos por las comunidades de la región para su consumo, y a los que ocasionalmente se les da tratamiento de cloración. Es un arroyo de corriente intermitente que queda completamente seco a finales de la época de estiaje, por lo que las comunidades de la parte media y sobre todo baja de la cuenca, construyen pozos de hasta ocho metros de profundidad (norias), cercanos a la riberia del arroyo, para hacer uso de los acuíferos que se generan en la zona. Las condiciones de infraestructura para la distribución de agua a las comunidades son deficientes, al igual que la carencia de drenaje, por lo cual hacen uso de “fosas sépticas” o se defeca al aire libre, que aunados a la presencia de ganado en la zona son vectores importantes de microorganismos, sea por infiltración o dispersión por el viento generando un alto riesgo de contaminación al recurso hídrico (CONAGUA 2009, Burgos *et al.*, 2013).

Las comunidades rurales que habitan esta región, presentan un alto rezago socioeconómico, razón por la cual se califican con un índice de desarrollo humano bajo, reflejo de las escasas oportunidades de ingreso, desempeño educativo y esperanza de vida (IEESA 2012).

Materiales y métodos

En la CASPJ se seleccionaron 20 sitios, que se puede ver su distribución en el mapa de la figura 1, reconocidos como fuentes de agua para uso y consumo humano, los cuales corresponden a diez manantiales, seis norias (acuíferos) y cuatro arroyos; localizados cuatro en la parte alta, diez en la media y seis en la sección baja de la cuenca. Las muestras de manantiales se colectaron de forma directa en los sitios de almacén (pequeños depósitos), o directamente en las llaves de agua domiciliarias; en las norias se colectaron con ayuda de recipientes introducidos en el cuerpo de agua; y para los arroyos la toma fue directa en el cuerpo de agua. En todos los casos se siguieron los protocolos de colecta, almacén y transporte hasta el laboratorio para su análisis, establecidos en las normas NMX-AA-121/1-SCFI-2008 y PROY-NMX-AA-042-SCFI-2010. El muestreo se realizó la primera semana de octubre de 2011, que corresponde a la etapa final de la época de lluvias.

Las bacterias coliformes totales y fecales se determinaron en el laboratorio por pruebas presuntivas y confirmativas del número más probable (NMP), con base a la norma NMX-AA-042-SCFI-2010. Se aplicaron pruebas bioquímicas de medios de cultivo selectivos establecidos para bacterias gramnegativas que permitieron identificar géneros y especies por diferenciación cromática y morfológica, además

de los productos metabólicos que se generaron por cada uno de los taxa (Koneman *et al.*, 1998).

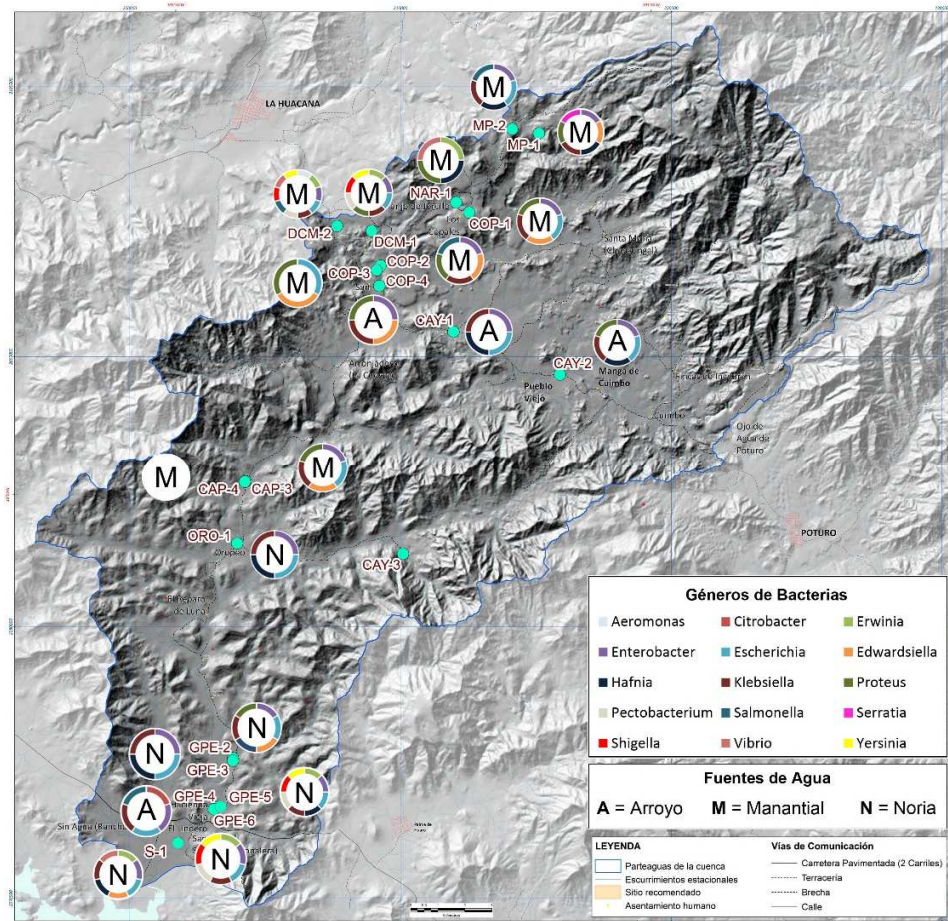


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo, géneros de bacterias identificadas y fuente de origen de las muestras en la CASPI. MP = Mata de Plátano; NAR = Naranjo de Jorullo; COP = Los Copales; DCM = David C. Manjarrez; CAY = San José Cayaco; CAP = Capire de Oropeo; ORO = Capire de Oropeo; GPE = Guadalupe Oropeo; S = Sinhagua (Rancho Nuevo).

Para definir las diferencias estadísticas entre los muestras de la parte alta, media y baja de la cuenca, lo mismo que para las fuentes de origen del agua (manantial, noria y arroyo); y el número de géneros registrados como variable de contraste, se

aplicó la prueba de Kruskal-Wallis, con $p \leq 0.05$ para H_0 con uso del programa SPSS Statistics 20.

Resultados y discusión

Las pruebas bioquímicas aplicadas permitieron identificar la presencia de 15 géneros (Cuadro 1), la mayoría pertenecen a la familia Enterobacteriaceae, excepto los géneros *Vibrio* y *Aeromonas* que anteriormente se clasificaban dentro de esta familia, sin embargo se separaron por la reacción positiva a la oxidasa y la presencia de flagelos polares (Murray 2013). Varios de estos organismos se pueden encontrar tanto en el suelo, el agua y la vegetación, como en la flora intestinal normal de muchos animales incluyendo al hombre; pero que a su vez bajo ciertas condiciones son capaces de producir enfermedades; otros son estrictamente patógenos al incorporarse al cuerpo humano (WHO 2004, Jawetz *et al.*, 2010, Ryan y Lawrence 2011, González 2012, Murray 2013).

CUADRO 1

Familias, géneros y especies identificadas en muestras de agua de la CASPJ.

Familia	Género	Especies
Enterobacteriaceae	<i>Citrobacter</i>	
	<i>Erwinia</i>	<i>E. amylovora</i>
	<i>Enterobacter</i>	<i>E. cloacae</i>
	<i>Escherichia</i>	<i>E. coli</i> , <i>E. aureus</i> , <i>E. freundii</i>
	<i>Edwardsiella</i>	
	<i>Hafnia</i>	
	<i>Klebsiella</i>	
	<i>Proteus</i>	<i>P. morganii</i> , <i>P. vulgaris</i> , <i>P. mirabilis</i>
	<i>Pectobacterium</i>	
	<i>Salmonella</i>	<i>S. paratyphi</i> , <i>S. choleraesuis</i>
	<i>Serratia</i>	<i>S. marcescens</i>
	<i>Shigella</i>	
	<i>Yersinia</i>	
Aeromona	<i>Aeromona</i>	
Vibrio	<i>Vibrio</i>	<i>V. cholerae</i>

Aunque los resultados y discusiones se basan a nivel de género, también se determinaron algunas especies, que se enlistan en el cuadro 1. Para el género *Proteus* se identificaron tres especies *P. morganii*, *P. vulgaris* y *P. mirabilis*; al igual que el género *Escherichia* manifestándose *E. coli*, *E. aureus* y *E. freundii*.

Escherichia coli es común en la población microbiana intestinal de animales vertebrados, por ende se encuentra en todos los humanos, no necesariamente

provocando problemas de salud, por ello se usa como indicador de contaminación fecal en el agua, además de ser su hábitat secundario y que resiste a condiciones ambientales de estrés (Jawetz et al., 2010, Ratajczak et al., 2010, González 2012, Murray 2013).

Para el caso de *Salmonella* se identificaron *S. paratyphi* y *S. choleraesuis*, especies que como se ve más adelante, representan problemas serios de salud pública; para los demás géneros se reconoció una especie o sólo quedaron identificadas a nivel genérico.

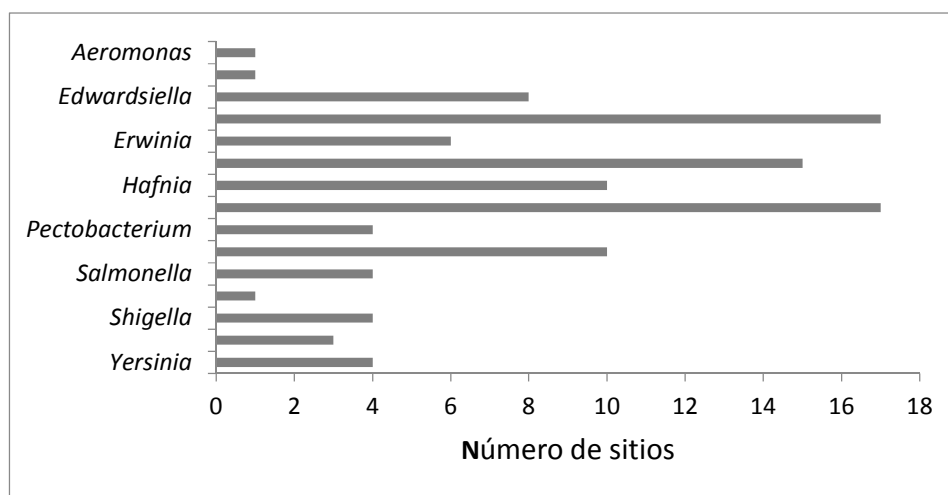


Figura 2. Número de sitios que registraron cada uno de los géneros de bacterias identificados en la CASPJ.

En la figura 2, se observa el total de sitios de muestreo que registraron cada uno de los géneros. *Enterobacter* y *Klebsiella* son los géneros registrados con mayor frecuencia dentro de la cuenca, presentes en 17 de los 20 sitios analizados. El género *Escherichia* representado por la especie *E. coli*, se determinó en 15 sitios, es decir en el 75% de las muestras; seguido de *Hafnia* y *Proteus*, presentes en el 50 % de los sitios; y *Edwardsiella* se identificó en ocho muestras.

Los géneros determinados en un solo punto corresponden a *Aeromonas* en DCM-2, *Citrobacter* en GPE-4 y *Serratia* en MP-1. Los géneros *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Proteus*, y *Escherichia* registrados como mayor frecuencia en las muestras analizadas, corresponde a una situación similar a lo que ocurre en otros lugares estudiados (Suthar et al., 2009, Hernández et al., 2011 Abubakar et al., 2014), Estos

cuatro géneros corresponden a los que constituyen comúnmente la flora intestinal animal y humana (Jawetz *et al.* 2010, Ryan y Lawrence 2011).

La presencia y distribución de cada uno de los géneros registrados en las muestras a lo largo de la CASPJ; así como la fuente de origen del agua se puede apreciar en la figura 1. Se puede observar que en el 95 % de las muestras estudiadas se identificaron de tres a diez géneros de bacterias diferentes. Solo la muestra CAP-4, que corresponde a un manantial, ubicado en la parte media de la cuenca esta excenta del registro de bacterias; sin embargo la muestra CAP-3, de este mismo tipo de fuente de agua y muy cercano al sitio CAP-4, presenta cinco géneros diferentes de bacterias; por lo que hace pensar que la contaminación es por cuestiones de manejo sanitario (Suthar *et al.* 2009, Sorlini *et al.* 2013, Abubakar *et al.* 2014).

De acuerdo a la posición de la cuenca, tanto la muestras de la parte alta, media y baja presentan hasta diez géneros diferentes. Tomando en consideración estas categorías de la cuenca y el número de géneros diferentes registrados en las muestras, no se registra diferencia estadística significativa al aplicar la prueba de Kruskal-Wallis, con $p < 0.05$ como H_0 , al presentar ($X^2 = 4.228$, $gl = 2$, Sig. asintót. = 0.121). Aunque como se puede apreciar en la figura 1, se tiene mayor diversidad de géneros en la parte alta y baja de la cuenca.

Al considerar las fuentes de origen de las muestras como grupos, de acuerdo a la prueba estadística de Kruskal-Wallis, también con una $p \leq 0.05$ como H_0 , se tiene que tampoco arroja una diferencia significativa entre los manantiales, norias y arroyos con ($X^2 = 1.757$, $gl = 2$, Sig. asintót. = 0.415). En la figura 2, se distingue que las muestras de manantiales DCM-1 y DCM-2, y GPE-5, GPE-6 y S-1 de norias, presentan una mayor diversidad de géneros de bacterias. Aunque estadísticamente las muestras del arroyo no presentan diferencias significativas con los manantiales y norias, es importante destacar que la diversidad microbiana es menor, con cuatro o cinco géneros, predominando los géneros *Enterobacter* y *Klebsiella*, seguidos por *Escherichia*.

En general se puede decir que no se observa un patrón de comportamiento de distribución en cuanto a la posición de la cuenca, ni a la fuente de origen de la muestra, por lo que indica que el mayor problema de contaminación por bacterias en la zona y para cada sitio en particular, es generado por diversos factores, dentro de éstos la práctica escasa de mantenimiento de las fuentes de almacenamiento de agua, carencia de infraestructura de drenaje, construcción de fosas sépticas sin

control de ubicación, defecación al aire libre y presencia de ganado cercano a las fuentes de agua.

Se tiene conocimiento que las bacterias de la familia Enterobacteriaceae, así como de los géneros *Aeromonas* y *Vibrio* presentan importancia clínica destacada, pero sólo un pequeño grupo de especies de estos taxones son responsables de un buen porcentaje de las infecciones (Murray 2013); varias de estas bacterias han sido identificadas en las muestras de agua estudiadas, como son *Enterobacter cloacae*, *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, *P. vulgaris*, *Serratia marcescens*; así como organismos de los géneros *Citrobacter*, *Klebsiella*, *Salmonella*, *Shigella* y *Yersinia*. El número de bacterias que están directamente relacionadas a una enfermedad bien definida es escaso; ya que varios de los microorganismos reflejan un cuadro clínico similar y son causales de una misma enfermedad; por lo cual se les asocia a múltiples enfermedades o síntomas (Hernández *et al.* 2011, González 2012, Murray 2013).

CUADRO 2

Principales problemas de salud originados por bacterias, principales vías de transmisión y sitios registrados en la CASPJ.

Bacteria	Problemas de salud	Vías de transmisión	Observaciones	Sitios
<i>Aeromona</i>	Infecciones gastrointestinales como gastroenteritis; infecciones oculares y cutáneas; septicemia. Infantes y adultos mayores son los más afectados.	Ingestión de agua y alimentos contaminados; por contacto de agua contaminada; vía fecal-oral.	Frecuentes en meses cálidos; indicadores del agua dulce.	DCM-2
<i>Citrobacter</i>	Infecciones urinarias y cutáneas; meningitis y abscesos cerebrales en neonatos; enfermedades nosocomiales; septicemia. Patógeno oportunista.	Contacto e ingestión de agua y alimentos contaminados.	Forma parte de la flora intestinal humana.	GPE-4
<i>Erwinia</i>	Sin información de afectación al humano			
<i>Enterobacter E. cloacae</i>	Infecciones urinarias, osteomielitis, meningitis, infecciones cutáneas principalmente de quemaduras; enfermedades nosocomiales en neonatales y pacientes inmunodeprimidos; septicemia. Patógeno oportunista.	Contacto con agua contaminada.	Parte de la flora intestinal de animales y humana. Resistencia a antibióticos.	COP-1, DCM-1,
<i>Escherichia E. coli</i>	Infecciones gastrointestinales como gastroenteritis y colitis; infecciones de las vías urinarias; meningitis neonatal; peritonitis; septicemia. Patógeno oportunista con mayor	Consumo de agua y alimentos contaminados; por contacto; de	Común en la flora intestinal humana. Indicador de	DCM-1 y 2, CAP-3, MP-2, CAY-1 y

Distribución de bacterias patógenas en el agua para consumo humano en una cuenca rural...

	incidencia en infantes de países en desarrollo.	persona a persona y vía fecal-oral.	contaminación fecal.	2, ORO-1, GPE-1, 2, 3, 5 y 6
<i>Edwardsiella</i>	Infecciones gastrointestinales común la gastroenteritis; infecciones cutáneas; meningitis, afectaciones hepáticas; septicemia.	Ingestión de agua contaminada y por contacto.	Parte de la flora intestinal de animales de sangre fría.	MP-1, COP-1, 2, 3 y 4, CAP-3, GPE-2, S-1
<i>Hafnia</i> <i>H. alvei</i>*	Infecciones gastrointestinales como gastroenteritis; en vías urinarias; infecciones cutáneas; septicemia. Patógeno oportunista.	Por contacto e ingestión de agua contaminada.	Parte de la flora intestinal de animales.	
<i>Klebsiella</i> <i>K. pneumoniae</i>*	Común en enfermedades nosocomiales; infecciones gastrointestinales; genitourinarias; respiratorias; septicemia. Patógeno oportunista	Ingestión de agua y alimentos contaminados, inhalación de vapores hospitalarios; y de persona a persona.	Parte de la flora intestinal humana. Resistencia a los antibióticos	
<i>Proteus</i> <i>P. mirabilis</i> <i>P. vulgaris</i>	Común en enfermedades nosocomiales; infecciones urinarias; infecciones cutáneas y oculares; ocasionalmente neumonía y septicemia. Patógeno oportunista.	Por contacto con agua contaminada.	Forman parte de la flora intestinal humana.	MP-1, COP-1, 2, 3 y 4, NAR-1, DCM-1, CAP-3, GPE-2
<i>Pectobacterium</i>	Sin información de afectación al humano			
<i>Salmonella</i> <i>S. paratyphi</i> <i>S. choleraesuis</i>	Infecciones gastrointestinales como gastroenteritis, salmonelosis y paratifoidea con problemas fatales si no se atienden a tiempo; infecciones óseas, vasculares y articulaciones; septicemia. Incidencia en menores de edad, enfermos y adultos mayores.	Transmisión frecuente por consumo de agua y alimentos contaminados; y de persona a persona.	<i>S. paratyphi</i> está más adaptada al ser humano <i>S. choleraesuis</i> a los animales.	DCM-2, COP-2, MP-2, GPE-4
<i>Serratia</i> <i>S. marcescens</i>	Infecciones urinarias; meningitis neonatal; infecciones cutáneas; enfermedades nosocomiales; septicemia. Patógeno oportunista.	Contacto con agua contaminada	Parte de la flora intestinal humana. Resistentes a la penicilina.	MP-1
<i>Shigella</i>	Infecciones gastrointestinales como shigelosis o disentería que pueden ocasionar la muerte. La población infantil es la más afectada. Epidemias en lugares con higiene deficiente o aglomerados.	Por agua y alimentos contaminados; por contacto en aguas de recreación; y de persona a persona.	Los seres humanos y primates son el único reservorio de esta bacteria.	DCM-1 y 2, GPE-5 y 6
<i>Vibrio</i> <i>V. cholerae</i>	Infecciones gastrointestinales, específicamente el cólera que puede ser mortal. Epidemias en países en desarrollo.	Por consumo de agua y alimentos asociados al agua contaminada.	Presente en agua dulce y salobre en meses cálidos	DCM-2

Distribución de bacterias patógenas en el agua para consumo humano en una cuenca rural...

<i>Yersinia</i> <i>Y.</i> <i>enterocolitica</i>*	Infecciones gastrointestinales la más común es la gastroenteritis; septicemia. Común en niños.	Ingestión de agua y alimentos contaminados; vía fecal-oral.	Con pocos problemas de salud pública, si habitan en el agua.
---	--	---	--

* Especie de bacteria no identificado en este estudio, por ello no se señalan sitios de ubicación, pero que es patógeno importante relacionado con el agua. MP = Mata de Plátano; DCM = David C. Manjarrez; CAP = Capire de Oropeo; ORO = Oropeo; COP = Los Copales; NAR = El Naranjo; GPE = Guadalupe Oropeo; S = Sinhagua (Rancho Nuevo); CAY = San José Cayaco.

(Ford 1999, Payment y Hunter 2001, Abbaszadegan y Alum 2004, WHO 2004, Bailey y Scott 2009, Jawetz *et al.* 2010, Hernández *et al.* 2011, Okafor 2011, Ryan y Lawrence 2011, Mishra y Agrawal 2013, Murray *et al.* 2013).

En el cuadro 2, se presenta una relación de los géneros y especies de bacterias que se identificaron en las muestras de agua estudiadas, los problemas de salud que pueden ocasionar al humano, las principales formas de transmisión, con énfasis en el recurso hídrico; así como algunos comentarios por destacar del patógeno, y los sitios de la CASPJ donde se registran estas especies.

Es relevante señalar que parte de estos microorganismos que habitan como flora intestinal normal, aportan grandes beneficios al humano al ayudar a sintetizar la vitamina K y a la absorción de nutrientes (Jawetz *et al.*, 2010); varios de estos microorganismos solo presentan riesgos bajo ciertas condiciones, actuando como patógenos oportunistas (Abbaszadegan y Alum 2004, Bailey y Scott 2009, Murray 2013).

Los problemas potenciales a la salud humana en la CASPJ, como se puede observar en el cuadro 2, son los riesgos de infecciones gastrointestinales, en vías urinarias, cutáneas, en el sistema nervioso como meningitis, en vías respiratorias, enfermedades nosocomiales, llegando a la septicemia. El proceso frecuente de infección corresponde el beber agua sin la precaución de hervirla o clorarla, al ingerir alimentos contaminados, principalmente en los meses cálidos; por contacto con agua contaminada, en los sitios de recreación. Otra forma importante de transmisión es interpersonal, o por autoinfección por vía fecal-oral en infantes, y la inhalación de vapor de agua contaminada. La población infantil, adultos mayores y enfermos presentan mayor riesgo de infección (González 2012, Murray 2013). De las bacterias identificadas en la CASPJ, que tienen mayor problema potencial de provocar riesgos serios de salud corresponden a *Salmonella*, *Shigella* y *Vibrio*, al

presentar peligro de muerte si no se atiende a tiempo la infección (Jawetz y Adelberg 2010, Ryan y Lawrence 2011, Murray 2013); bacterias que se identificaron en varios de los manantiales, agua que es almacenada en depósitos para abastecer de agua potable a la población, como son DCM-1, DCM-2, y COP-2. De las bacterias *Erwinia* y *Pectobacterium* no se tiene información que ocasionen problemas de salud humana.

Conclusiones

El 95 % de las muestras de agua analizadas presentaron contaminación por bacterias con tres y hasta diez géneros de bacterias diferentes; sin una diferencia estadística significativa en la ubicación con respecto a la cuenca (alta, media y baja); ni la fuente de origen del agua (manantial, noria y arroyo).

Se identificaron 15 géneros y 12 especies predominando los géneros *Enterobacter* y *Klebsiella*, seguidos de *Escherichia*, *Hafnia* y *Proteus*, los cuales coinciden en ser constituyentes de la flora intestinal de animales incluyendo al humano, pero que son patógenos oportunistas.

El agua tiene una contaminación por heces fecales de manera puntual por cuestiones de sanidad y no relacionada con la fuente de origen del agua.

Las bacterias con mayor potencial de ocasionar daños en la CASPJ son *Salmonella*, *Shigella* y *Vibrio* al correr riesgos de muerte si no se atiende a tiempo la infección, y que están presentes en algunos manantiales que abastecen de agua potable a la población.

Los problemas potenciales de salud, en las comunidades rurales del bajo balsas, respecto a las bacterias determinadas son: infecciones gastrointestinales, en vías urinarias, cutáneas, en el sistema nervioso, enfermedades nosocomiales, llegando a la septicemia.

Las vías de transmisión frecuentes son; la ingestión de agua y alimentos contaminados, por contacto con agua contaminada, de persona a persona y vía fecal-oral principalmente por infantes.

Recomendaciones

Se requiere prestar mayor atención al control sanitario personal, en el hogar, en los sitios de almacenamiento del recurso principalmente en depósitos comunitarios de

los cuales se abastece un porcentaje alto de la población; sin descuidar la vigilancia a nivel regional o de cuenca.

Se recomienda dar tratamiento previo al agua de uso y consumo humano, como puede ser hervirla o clorarla.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento al Fondo Mixto CONACYT-Gob. Michoacán por el financiamiento a los proyectos Mich-2009-C05-115454 y Mich-2012-05-196949 de los cuales forman parte los datos del presente documento. A la Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P. y Grupo Balsas, A.C. por la implementación del Programa de Monitoreo Comunitario en Comunidades del Bajo Balsas del cual forma parte los proyectos. A la Dra. Ana Burgos coordinadora de dichos proyectos y del programa de monitoreo. Finalmente al Mtro. José Antonio Navarrete Pacheco por la elaboración del mapa.

Referencias

- Abbaszadegan, M. and A. Alum. 2004. Microbiological contaminants and threats of concern. 2.1-2.13. En: Water supply systems security. (Larry W. Mays, Eds.) McGraw-Hill Companies Inc.
- Abubakar Y., F., R. Siddiqui and N. Ahmed K. 2014. Survey of gram negative and gram positive bacterial in drinking water supplies in Karachi, Pakistan. British Microbiology Research Journal. 4(6):592-597.
- Bailey y Scott. 2009. Diagnóstico microbiológico. (Betty Forbes, Daniel F. Sahm, Alice S. Weissfeld. Eds.) 12a. ed. Buenos Aires. Médica panamericana. 1160 pp.
- Burgos, A., R. Páez, E. Carmona and H. Rivas. 2013. A systems approach to modeling community-based environmental monitoring: a case of participatory water quality monitoring in rural Mexico. Environ Monit Assess 185(12): 10297-10316.
- CONAGUA. 2009. Programa hídrico visión 2030 del Estado de Michoacán de Ocampo. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. 176 pp.
- Ford, T.E. 1999 Microbiological safety of drinking water: United States and global perspectives. Environmental Health Perspectives 107, supplement 1: 191-206.

- González L., G.R. 2012. Microbiología del agua. Conceptos y aplicaciones. Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. 378 pp.
- Hernández C., C., M.G. Aguilera A. y G. Castro E. 2011. Situación de las enfermedades gastrointestinales en México. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología*. 31(4), 137 - 151.
- IEESA 2012, Instituto de Estudios Educativos y Sindicales de América. Dirección de Investigación. Michoacán 2012 Población y Educación. 52 pgs.
- Jawetz, Melnick y Adelberg. 2010. Microbiología médica. 25a. edición. McGraw-Hill, New York. 145-240.
- Koneman, E., S. Allen, V. Dowell J., H. Sommers y W. Winn. 1998. Diagnóstico Microbiológico. 3ª. ed. Editorial Médica Panamericana, México. 204-265 pp.
- Ratajczak, M., E. Laroche, T. Berthe, O. Clermont, B. Pawlak, E. Denamur, F. Petit. 2010. Influence of hydrological conditions on the *Escherichia coli* population structure in the water of a creek on a rural watershed. *BMC Microbiology* 10:222. <http://www.biomedcentral.com/1471-2180/10/222>
- Mishra, S.J. and D. Agrawal. 2013. A concise manual of pathogenic microbiology. John Wiley & Sons, Inc. p. 69-82.
- Montgomery, M.A. and M. Elimelech. 2007. Water and sanitation in developing countries: including health in the equation. *Environmental Science & Technology* 1: 17 – 24.
- Murray P.R., K. S. Rosenthal y M.A. Pfaller. 2013. Microbiología médica. 7a. ed. Elsevier Health Science Spain, London. 872 pp.
- Okafor N. 2011. Environmental microbiology of aquatic and waste systems. Springer Science+Business Media B.V. 189-214 pp.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). 2000. Capítulo 18. En: Cumbre para la Tierra. Programa 21. Organización de la Naciones Unidas. <http://www.un.org/esa/sustdev/agenda21/>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). 2002. Informe de la cumbre mundial sobre el desarrollo sostenible. Johannesburgo (Sudáfrica), 26 de agosto a 4 de septiembre de 2002. Naciones Unidas. Nueva York. A/CONF.199/20
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). 2013. Objetivos de desarrollo del milenio. Informe de 2013. Nueva York. 64 pp.
- PROY-NMX-AA-121-SCFI-2008. Aguas naturales epicontinentales, costeras y marinas – Muestreo. 62 pgs.
- PROY-NMX-AA-042-SCFI-2010. Análisis de agua. Determinación y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia Coli* presuntiva. 30 pgs.

- Payment, P. and P.R. Hunter. 2001. Endemic and epidemic infectious intestinal disease and its relationship to drinking water. En: WHO. Water Quality: Guidelines, Standards and Health. Edited by Lorna Fewtrell and Jamie Bartram. Published by IWA Publishing. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/who/wa/en/
- Ryan, J.K. and D. Lawrence 2011. Part III. Pathogenic Bacteria. En: Serris Medical Microbiology. (Kenneth J. Ryan. and C.G. Ray, Eds.) McGraw-Hill Interamericana. 749 pp.
- Sorlini, S., R. Pedrazzani, D. Palazzini and M.C. Collivignarelli. 2013. Drinking water quality change from catchment to consumer in the rural community of Patar (Senegal). Water Qual Expo Health 5:75-83
- Suthar, S., V. Chhimpa, S. Singh. 2009. Bacterial contamination in drinking water: a case study in rural areas of northern Rajasthan, India. Environ Monit Assess 159:43-50 pp.
- World Health Organization (WHO). 2004. Guidelines for drinking water quality. V. 1. Recommendations. 3a. ed. World Health Organization. Geneva. 540 pp.
- UNICEF and WHO. 2012. Progress on drinking water and sanitation. 2012 update. UNICEF and World Health Organization. Geneva/New York. 66 pp.
- Zúñiga H.E. 2005. México, ante los desafíos de desarrollo del milenio. Consejo Nacional de Población. 451 pp.