

Control microbiano de agua de mar mediante microfiltración

Microbial control of seawater by microfiltration

Wilmer Soler T¹; Harold Durango²; Juan P. Soler A³.

¹ Bioquímico Msc, profesor titular del Departamento de Fisiología y Bioquímica de la Facultad de Medicina, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Correo electrónico: wsoler@udea.edu.co.

² Bacteriólogo, especialista en micología médica, profesor de la Facultad de Medicina, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

³ Estudiante de química farmacéutica, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Recibido: 4 de mayo de 2010. Aprobado: 29 de julio de 2010.

Soler W, Durango H, Soler JP. Control microbiano de agua de mar mediante microfiltración. Rev Fac Nac Salud Pública 2010; 28(2): pags. 141-148

Resumen

El agua de mar refinada aparece en la literatura científica reciente como una potencial ayuda terapéutica en el tratamiento de varias enfermedades en humanos y animales por su contenido de minerales y oligoelementos. En Colombia, Nicaragua y España se utiliza de forma natural por recogida de la orilla e ingesta; sin embargo, esto puede representar un riesgo para la salud por los problemas de contaminación microbiológica y química. Los tratamientos de control microbiano del agua de mar permiten mejorar su calidad microbiológica. **Objetivo:** comparar la eficiencia de tres métodos de control microbiano: microfiltración, exposición solar y cuarentena. **Metodología:** se recolectaron 30 muestras de agua de mar en recipientes de polietileno de alta densidad con capacidad de 20 litros, en tres lugares diferentes de la costa atlántica colombiana. Re-

sultados: de 30 muestras recolectadas, 15 resultaron con enterobacterias como E. coli y bacterias halófilas como Vibrio y Aeromonas. La microfiltración a través de cerámica de 0,5 µm produce una desinfección de 100% de las muestras, mientras que la cuarentena por cinco meses y la desinfección solar son efectivas en 66 y 21% respectivamente. Esta última requiere de ciertas condiciones climáticas para alcanzar la desinfección y solo permite el manejo de pequeños volúmenes. **Discusión:** Respecto de la contaminación química en ciertos lugares, que no es controlable por los métodos de desinfección, se recomienda recoger el agua en altamar, en lugares limpios, y realizar la microfiltración.

-----**Palabras clave:** desinfección, agua costera, ingestión de agua de mar.

Abstract

Recent scientific literature presents seawater as a potential aid to solve a variety of health diseases in animals and human beings because by means of its mineral and trace elements content. In Colombia, Nicaragua and Spain it is collected in a natural way from the shore and drunk; however, this can represent a health risk because of the problems related to chemical and microbiological contamination. Microbial control of seawater allows the improvement of its microbiological quality. **Objective:** to compare the efficiency of three microbial control methods: microfiltration, solar exposition and quarantine. **Methodology:** 30 samples were collected in 20-liter high density polyethylene containers in three different places in the Colombian Atlantic coast. Results: 15 samples out of 30

showed the presence of bacteria such as E. coli and halophiles bacteria like Vibrio and Aeromonas. Microfiltration through ceramic filters of 0.5 µm produces disinfection in 100% of the samples but the quarantine for five months and solar disinfection are effective in 66 and 21% respectively. The latter requires certain weather conditions to achieve disinfection and it only allows managing small quantities of water. **Discussion:** Considering chemical contamination in some places which cannot be controlled through disinfection methods, the collection of water offshore in clean places is suggested and then microfiltration treatment should be performed.

-----**Key words:** seawater disinfection, seawater drinking, coastal water pollution

Introducción

En la literatura científica reciente, el agua de mar se presenta como una potencial ayuda para resolver una variedad de problemas de salud, por su contenido de minerales y oligoelementos, con un enfoque dirigido al fortalecimiento del medio interno o terreno que rodea las células. El uso terapéutico y nutricional del agua de mar se remonta a los orígenes de la cultura occidental, y en la modernidad se destacan las investigaciones científicas del fisiólogo francés René Quinton al inicio del siglo xx (1), hasta las investigaciones recientes de médicos japoneses y europeos, en las que se han estudiado la toxicidad, la fisiopatología y la bioquímica, en respuesta a la ingesta del agua de mar. A pesar de la existencia de estudios, falta todavía más investigación en el tema para concluir sobre el impacto, los beneficios y los riesgos de su consumo para la salud.

En la actualidad, el agua de mar la comercializan laboratorios americanos, europeos y japoneses, en diversas presentaciones y diluciones: bebible en ampollas o botellas, en aerosol y gotas nasales, tratada por electrodiálisis —que retiene iones monovalentes como Na^+ y Cl^- y microfiltrada— (2). Con esta agua comercial obtenida a más de 200 m de profundidad y de superficie se han realizado importantes investigaciones de intervención en humanos y animales, en las que se ha mostrado efecto significativo en problemas de eccema y dermatitis (3), rinitis alérgica (4) y efecto antidiabético y antiobesidad en ratones (5), entre otros. La explicación que se ha dado para este efecto inespecífico, en tal variedad de trastornos, es el contenido de minerales como Ca^{++} , Mg^{++} y K^+ , de los cuales se conocen sus propiedades nutricionales y terapéuticas, además del amplio contenido de oligoelementos. Uno de los obstáculos para el uso masivo del agua de mar comercial ha sido el de los altos costos de recogida, transporte, desinfección y envasado, que se traducen en precios elevados para el usuario, en particular en los países en desarrollo.

En Colombia, Nicaragua y España, se ha iniciado el uso del agua de mar natural con fines medicinales y nutricionales, con la implementación, por parte de la fundación española Aquamaris, de lugares de distribución denominados dispensarios marinos. Este fenómeno re-emergente ha motivado la realización de investigaciones científicas, de carácter biomédico en la Universidad de Antioquia por parte de nuestro grupo de investigación (6, 7).

Aunque el agua de mar es un elemento seguro para el consumo humano cuando se recoge mar adentro o en playas limpias, alejadas de las grandes urbes y afluencias de turistas, es muy importante ofrecer un producto con mínimos riesgos microbiológicos y fisicoquímicos y de agradable presentación comercial. Además, de esta

forma se puede continuar con los estudios de intervención clínica y, en el futuro, con su uso como complemento terapéutico en una amplia variedad de patologías.

Con relación a las características microbiológicas del agua de mar, se ha descrito la presencia de microorganismos terrestres, patógenos para los humanos, en las zonas costeras turísticas, razón por la cual normalmente se realizan controles de laboratorio en muestras de este tipo de agua. Se considera que este es un factor de riesgo para el desarrollo de procesos infecciosos (8, 9). Respecto a las bacterias marinas, también se ha encontrado asociación de procesos infecciosos agudos poco frecuentes con *Vibrio vulnificus*, un bacilo Gram negativo, lactosa positivo, que pertenece a la familia Vibrionaceae y que no se relaciona con la contaminación fecal. Epidemiológicamente, la sepsis por este microorganismo se ha asociado con el consumo de ostras crudas por parte de pacientes con daño hepático crónico por alcoholismo principalmente y el uso de inmunosupresores, con mortalidad entre 56 y 61% (10). Otro riesgo de contaminación se origina con las llamadas “mareas rojas”, cuando se presentan cambios de coloración en el agua de mar debidos a la proliferación de algas nocivas, productoras de toxinas, y que se han asociado con muerte masiva de peces y animales terrestres. Sobre esto hay pocos estudios en Colombia y no se conoce hasta el momento que hayan provocado muertes en la población colombiana por el consumo de alimentos contaminados (11).

Además de la contaminación microbiológica del agua de mar de las playas en Colombia, causadas por las condiciones de saneamiento básico de poblaciones que vierten sus aguas residuales sin ningún tratamiento a los ríos que desembocan en el mar y a la falta de alcantarillados en las poblaciones costeras, también se da la contaminación química a causa de la minería artesanal, la actividad agroindustrial e industrial de los grandes centros urbanos y la exportación petrolera y carbonífera (12), lo que afecta críticamente algunos lugares de la costa Caribe.

Partiendo de la posibilidad de utilizar para el consumo humano el agua de mar de la orilla de sitios alejados de los centros urbanos, industriales y turísticos, es de todas maneras importante asegurar su calidad microbiológica, para lo cual nos apoyamos en las técnicas que se han utilizado en la desinfección del agua de mar en la acuicultura, a fin de garantizar la calidad de alimentos marinos. Entre estos están: radiación UV, antibióticos, ozono, calor, cloro y microfiltración (13). Adicionalmente, consideramos técnicas sencillas y prácticas que han permitido mejorar la calidad del agua dulce para consumo humano, como es el de la desinfección solar o sodis, método de tratamiento del agua a escala doméstica que se ha investigado para implementar en países en desarrollo.

Es el caso de países donde se ha logrado controlar, en pruebas de campo, enfermedades infecciosas, con aceptación de 84% entre comunidades rurales que utilizan aguas contaminadas, debido a la sencillez del método, lo económico que resulta, al ahorro de combustible y porque no se altera el sabor del agua (14, 15). El método recomienda utilizar botellas de plástico transparentes, elaboradas con tereftalato de polietileno (PET), porque ofrecen muy bajo riesgo de contaminación química del agua y son recipientes desechables que se consiguen fácilmente. El fundamento químico del método consiste en la generación de radicales libres del oxígeno con acción microbicida por efecto de la radiación ultravioleta UV-A sobre el oxígeno, en las condiciones de temperatura propias de esta exposición solar. Los estudios de laboratorio del método sodis muestran el efecto inactivador sobre diferentes tipos de microorganismos patógenos, incluidos el *Vibrio cholerae*, otras bacterias, virus, protozoos y helmintos (16, 17).

El agua dulce para consumo humano también se ha sometido a microfiltración a través de cerámica (0,2 μ m de tamaño del poro), con el fin de desinfectarla y retener bacterias fecales, con la consecuente disminución de la prevalencia de diarrea en comunidades rurales en Colombia (18), tal como se ha investigado en otros países en vía de desarrollo (19).

En los dispensarios marinos que han operado en Colombia, Nicaragua y España se ha empleado la cuarentena o almacenamiento a temperatura ambiente del agua de mar por varios meses antes de su consumo, con el fin de lograr sedimentación y con ello disminuir la carga microbiana, técnica basada en la capacidad bacteriostática del agua de mar, por su alta salinidad y la acción bactericida que realizan microorganismos marinos cultivados en condiciones de laboratorio frente a los de origen terrestre (20). Dentro del presente estudio se utilizan las condiciones de recogida de la orilla, el transporte y el almacenamiento del agua de mar que se están empleando en los actuales dispensarios marinos, lo que asegura la limpieza de los recipientes y el cuidado en la manipulación del agua.

También se compara aquí la efectividad de tres métodos de desinfección microbiana del agua de mar en muestras recolectadas en la orilla de tres lugares de la costa atlántica colombiana. Los métodos a evaluar son: microfiltración, desinfección solar y cuarentena; esto con el fin de mejorar su calidad para el consumo humano y animal. Son métodos de fácil ejecución y muy baratos; los dos primeros han sido ampliamente investigados y utilizados en los países en vía de desarrollo para el tratamiento de agua dulce y en la acuicultura.

Metodología

Recolección de las muestras

Se recolectaron 30 muestras de agua de mar en recipientes de polietileno de alta densidad con capacidad de 20 litros, en tres lugares diferentes de la costa atlántica colombiana, ubicados a una distancia de entre 500 y 900 km de la ciudad de Medellín: en Coveñas, en el departamento de Sucre; en Cartagena y Playa Blanca, en la isla de Barú, en el departamento de Bolívar; y en Santa Marta, en el departamento del Magdalena. De cada uno de estos lugares se tomaron diez muestras, recolectadas durante una semana, y se transportaron por vía terrestre, a temperatura ambiente, hasta el laboratorio de bioquímica de la Facultad de Medicina de la Universidad de Antioquia, donde se almacenaron también a temperatura ambiente hasta la realización de los análisis. Se incluyó también una muestra de la población de Turbo, en el departamento de Antioquia, recolectada cinco meses antes del presente estudio y almacenada a temperatura ambiente en nuestro laboratorio; se tuvo en cuenta, dado que algunas personas estaban consumiendo agua de mar de este lugar, y se utilizó en el procedimiento de exposición solar.

Los recipientes se lavaron previamente antes de la recolección de las muestras y se enjuagaron con agua destilada, y en el lugar de recogida se realizó una purgada con agua de mar antes de tomar las muestras. De los recipientes plásticos, ubicados en el laboratorio de bioquímica de la Facultad de Medicina de la Universidad de Antioquia, se tomaron alícuotas para la medición de pH, salinidad y conductimetría. Una cantidad de 100 mL se enviaron al Laboratorio de Investigación en Infectología de la Facultad de Medicina de la Universidad de Antioquia, donde se realizaron los análisis microbiológicos. Otras alícuotas de 1 L se enviaron al laboratorio de análisis físico-químico y microbiológico de la Corporación Autónoma Regional Rionegro-Nare (Cornare). El resto de las muestras se conservó a temperatura ambiente (entre 18 y 28 °C) y en los recipientes de recogida, para el posterior análisis microbiológico a los cinco meses de cuarentena o almacenamiento.

Métodos de desinfección

Se aplicaron los siguientes procedimientos:

Microfiltración: de las 30 muestras de agua de mar, 15 resultaron contaminadas en el análisis inicial con bacterias de la familia Enterobacteriaceae, Vibrionaceae y Aeromonadaceae. De estas 15 muestra, se filtraron 5,0

L de cada una, pasándolas por bombeo con motobomba de 0,5 caballos a través de dos sistemas de filtros en serie, de 1,0 y 0,5 μm respectivamente; el primero de ellos era de material sintético de polipropileno Polydeth y el segundo, de cerámica. El agua se recolectó en botellas de tereftalato de polietileno (PET), previamente desinfectadas con hipoclorito de sodio y luego enjuagadas con la misma muestra a tomar.

Desinfección solar (sodis): algunas de las muestras contaminadas se envasaron en botellas plásticas transparentes de PET, de 2,5, 1,25 y 1,0 L, previamente desinfectadas con hipoclorito de sodio, algunas de las cuales se pintaron de negro por un lado y luego se taparon y sellaron. A continuación, se expusieron al sol en piso de cemento durante 3, 4, 6, 12, 16, 48 y 96 horas, y hasta por cuatro días, según el protocolo del programa sodis³⁰. En cada ensayo se mantuvo una muestra control en la oscuridad. Después de la exposición solar se tomaron alícuotas para los análisis microbiológicos.

Cuarentena: alícuotas de 5,0 L de cada una de las 15 muestras contaminadas se almacenaron en envases plásticos opacos de polietileno de alta densidad, bien tapados y a temperatura ambiente por cinco meses. Al final de esta cuarentena se tomaron las muestras para los análisis microbiológicos.

Análisis fisicoquímico

Se realizaron los análisis fisicoquímicos que normalmente se hacen para el control de agua potable: pH, salinidad, conductividad por conductimetría, turbiedad por nefelometría, color aparente por comparación visual, dureza total por titulación complexométrica, cloruros por argentometría, sulfatos por turbidimetría, hierro total por colorimetría (fenantrolina), nitritos por diazotización y mercurio y plomo por voltametría.

Análisis microbiológico

Se tomaron 10 mL de agua de mar de cada muestra en tubos Falcon estériles y se centrifugó a 4.900 rpm durante 30 minutos; luego, por inversión completa del tubo, se descartó el sobrenadante y el sedimento se sembró con asa calibrada en los siguientes medios de cultivo: agua peptonada alcalina (Merck), agar sangre (BBLTM Blood Agar Base), agar TCBS (Scharlau), agar MacConkey (Merck) y agar Chromocult (Merck), los cuales fueron incubados a 35 °C por 24 a 48 horas, tiempos en los cuales se registró el número de colonias presentes en dichos medios y se procedió a hacer las caracterizaciones macroscópica y microscópica (coloración de Gram) y a realizar las pruebas bioquímicas (oxidasa, catalasa y serie bioquímica), que orientaron hacia el tipo de galería a utilizar en el sistema de especiación api® (bioMerieux).

Análisis estadístico

Para las variables cuantitativas de las características fisicoquímicas del agua de mar, se realizó un análisis de varianzas, previa demostración de la homogeneidad de las varianzas con la prueba de Levene, y se utilizó un nivel de significancia $p < 0,05$.

Resultados

Se observaron diferencias muy significativas ($p < 0,001$) entre las tres zonas de recolección de las muestras para la salinidad, la conductimetría y la dureza total (tabla 1). En contraste, los valores de pH no variaron significativamente. Las cifras de nitritos ($< 0,011$ mg/L), color aparente ($< 2,5$ U. C.) y hierro total ($< 0,03$ mg/L) estuvieron muy por debajo de los valores admisibles para agua potable. Igual resultado se obtuvo para los valores de mercurio y plomo ($< 0,49$ $\mu\text{g/L}$ y $1,8$ $\mu\text{g/L}$ respectivamente).

Tabla 1. Evaluación fisicoquímica en muestras de agua de mar de la orilla de tres zonas de la costa Caribe colombiana.

Variables	Tipo de muestras (promedio (SD))			F	p
	Golfo de Morrosquillo	Playa Blanca	Bahía Concha		
pH *	8,26 (0,3)	8,23 (0,05)	8,24 (0,1)	0,5	0,619
Salinidad (g/L)*	32,2 (0,2)	35,3 (0,2)	36,5 (0,1)	1619	0,000
Conductimetría (msiemens/cm)*	49,3 (0,3)	53,5 (0,3)	55,1 (0,1)	1487	0,000
Dureza total (mg/L CaCO ₃) [§]	6025,0 (125,8)	6740,0 (151,7)	6550,0 (256,3)	14,1	0,000
Turbiedad (UNT) [§]	0,2025 (0,0171)	0,1660 (0,0404)	0,1675 (0,0417)	1,4	0,282
Cloruros (mg/L) [§]	19375,0 (2495,8)	20450,0 (1545,2)	20281,3 (1617,1)	0,5	0,648
Sulfatos (mg/L SO ₄ ⁼) [§]	2554,5 (88,3)	2623,6 (88,2)	2646,0 (162,4)	0,7	0,532

* Se analizaron diez muestras de cada zona.

[§] Se analizaron cuatro muestras del golfo de Morrosquillo, cinco de Playa Blanca y ocho de Bahía Concha.

En cuanto a los microorganismos, se cultivaron *Aeromonas* spp y *Vibrio* spp, germen halófilo que normalmente se encuentran en este tipo de aguas. Se aislaron también *Escherichia coli* y *Klebsiella* spp, pertenecientes al grupo de las enterobacterias que se relacionan con contaminación con aguas servidas. De las 30 muestras recolectadas, 15 resultaron con estos microor-

ganismos, con mayor contaminación en las muestras de Bahía Concha (tabla 2). En la misma tabla 2 se observa que 10 de las 15 muestras contaminadas lograron desinfección a los cinco meses de cuarentena en condiciones de oscuridad y temperatura ambiente (18-28 °C), y en las cinco que continuaron contaminadas hubo una disminución significativa en el número de colonias.

Tabla 2. Evaluación microbiológica de agua de mar colectada en la orilla de la costa Caribe colombiana, al inicio y luego de cinco meses de cuarentena.

Zona	Lugar*	Nº	Inicio	Cinco meses
Golfo de Morrosquillo (Sucre)	BC	1	10 UFC <i>E. coli</i>	1 UFC <i>Citrobacter</i> spp
	BC	2	0	0
	BC	3	0	0
	BC	4	0	0
	PV	5	5 UFC <i>Vibrio alginolyticus</i>	0
	PV	6	0	0
	CA	7	0	0
	CA	8	0	0
	LG	9	5 UFC <i>E. coli</i>	1 UFC <i>E. coli</i>
	LG	10	3 UFC <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	1 UFC <i>Aeromonas hydrophyla/caviae</i> 1 UFC <i>E. coli</i> ,
Cartagena (Bolívar)	PB	11	0	0
	PB	12	2 UFC <i>Aeromonas hydrophyla/caviae</i>	0
	PB	13	0	0
	PB	14	0	0
	PB	15	0	0
	PB	16	0	0
	PB	17	0	0
	PB	18	3 UFC <i>E. coli</i>	0
	BG	19	2 UFC <i>Aeromonas salmonicida</i> spp <i>salmonicida</i>	0
	BG	20	0	0
Santa Marta (Magdalena)	T	21	0	0
	T	22	4 UFC <i>E. coli</i>	0
	T	23	5 UFC <i>E. coli</i>	0
	T	24	2 UFC <i>Citrobacter</i> spp	0
	T	25	3 UFC <i>E. coli</i> , 2 UFC <i>Aeromonas hydrophyla/caviae</i>	0
	BCo	26	4 UFC <i>E. coli</i>	0
	BCo	27	0	0
	BCo	28	3 UFC <i>E. coli</i> , 2 UFC <i>Aeromonas hydrophyla/caviae</i>	0
	BCo	29	3 UFC <i>E. coli</i> , 1 UFC <i>Aeromonas hydrophyla/caviae</i>	1 UFC <i>Vibrio alginolyticus</i>
	BCo	30	5 UFC <i>E. coli</i>	2 UFC <i>E. coli</i> , 1 UFC <i>Citrobacter</i> spp

*Lugares de recogida: Boca Caimanera (BC), Puerto Viejo (PV), Cabañas Agua Azul (CA), La Góndola (LG), Playa Blanca-Barú (PB), Boca Grande (BG), Taganga (T) y Bahía Concha (BCo).

Con relación al efecto de la microfiltración del agua de mar a través de membrana de 1,0 μm y de cerámica de 0,5 μm , todas las 15 muestras que estaban contaminadas al inicio de la recolección quedaron desinfectadas; esto es, no presentaron colonias en los medios de cultivo: agar sangre, agar TCBS, agar MacConkey y agar Chromocult; presentaron una eficiencia de 100%; sin embargo, se obtuvo crecimiento en el agua peptonada alcalina, lo que indica que hubo desinfección, mas no esterilización.

Respecto de los resultados de la exposición de las muestras a la radiación solar en botellas grandes sin pintar de 2,5 L y 11,0 cm de diámetro, según el protocolo sodis (tabla 3), durante corto tiempo, de 3 a 16 horas, no se observó desinfección con respecto a las muestras control colocadas en la oscuridad (muestras 6T y 7C). Las temperaturas máximas alcanzadas fueron bajas, por debajo de 38 °C.

Tabla 3. Exposición solar sodis de muestras de agua de mar de Cartagena, Bahía Concha, Santa Marta y Turbo envasadas en botellas de PET.

Botella (volumen/diámetro)	Muestra*	Tiempo de exposición	Temperatura máxima (°C)	A. sangre (UFC)	A. MacConkey (UFC)	A. TCBS (UFC)
Grande 2,5 L/11 cm	1 C	3 horas	37,5	0	0	Vibrio spp
	2 C	6 horas	37,5	Aeromonas spp Vibrio spp	0	E. coli
	3 C	16 horas	37,5	Klebsiella spp Vibrio spp	0	Vibrio spp
	4 T	3 horas	37,5	0	0	Vibrio spp
	5 T	6 horas	37,5	Vibrio spp	0	Vibrio spp
	6 T	5 meses Oscuridad	23,0	Klebsiella spp Vibrio spp	Vibrio spp	0
	7 C	16 horas Oscuridad	23,0	Klebsiella spp Vibrio spp	0	Klebsiella spp Vibrio spp
Mediana 1,25L/8,5 cm pintada†	8 C	4 días	46,5	0	0	0
	9 C	4 días Oscuridad	23,0	Klebsiella spp Vibrio spp	E. coli Klebsiella spp	Vibrio spp
Pequeña 1,0 L/5,5 cm pintada	10 BC	6 horas	44,0	Vibrio spp	E. coli	Vibrio spp
	11 BC	4 horas	55,0	0	0	0
	12 BC	12 horas	55,0	0	0	0
	13 BC	48 horas	60,0	Vibrio spp	0	0
	14 BC	48 horas Oscuridad	28,0	Klebsiella spp Vibrio spp	Klebsiella spp Vibrio spp	Vibrio spp

*Muestras recogidas en: Cartagena (C), Turbo (T), Bahía Concha-Santa Marta (BC).

Asoleadas en Medellín, excepto las muestras 11, 12 y 13 que se asolearon en Cartagena.

† Pintada: botellas pintadas de color negro en un lado.

Solo en tres de las 14 muestras tratadas con sodis se logró una completa desinfección en los tres medios de cultivo utilizados, correspondientes a las que alcanzaron las mayores temperaturas y contenidas en botellas medianas y pequeñas. La muestra de Cartagena que se trató con sodis en botella mediana y pintada de 1,25 L y 8,5 cm de diámetro, y con largo tiempo de exposición (cuatro días), alcanzó mayor temperatura, de 46,5 °C, y

una total desinfección, con respecto a la muestra control colocada en la oscuridad (muestras 8C y 9C de la tabla 3). Las muestras de Bahía Concha-Santa Marta que se trataron con sodis en botellas pequeñas de 1,0 L y 5,5 cm de diámetro (tabla 3), durante corto tiempo —de 4 a 48 horas— y que fueron asoleadas en Cartagena, alcanzaron las más altas temperaturas: 55 y 60 °C (muestras 11 y 12) y una completa desinfección; pero en la muestra 13

aún se recuperaron bacterias del género *Vibrio*, a pesar de la alta temperatura. En la muestra 10BC, tratada con sodis en Medellín, no se logró desinfección.

Discusión

Las diferencias fisicoquímicas entre las muestras de agua de mar de las tres zonas de recolección, en particular la del golfo de Morrosquillo, se pueden explicar por tratarse de mar encerrado con oleaje suave y la mezcla con agua dulce proveniente de algunos arroyos y ciénagas que llegan al mar, lo que se suma a las aguas servidas de las poblaciones costeras en esta zona. En contraste, Playa Blanca y Bahía Concha se encuentran en costas sobre mar abierto, con mayor oleaje y muy pocos habitantes.

Los hallazgos de bacterias de origen terrestre y entérico que afectan la potabilidad del agua de mar para el consumo humano concuerdan con lo esperado, debido a que las muestras fueron tomadas de la orilla de lugares turísticos (21), donde las condiciones de saneamiento de las aguas residuales son precarias. Algunas de las especies de bacterias de los géneros *Vibrio* y *Aeromonas* presentes en las muestras recolectadas en este estudio (las cuales son propias de ambientes marinos) representan un riesgo potencial para la salud humana (22), por lo cual es necesario su control.

De acuerdo con el protocolo sodis, su eficiencia de desinfección depende del diámetro pequeño de la botella, de la intensidad de la radiación solar, del tiempo de exposición y de la mayor temperatura que se logra con botellas pintadas de negro, lo que en este caso se alcanzó en la zona costera, lo cual resulta explicable por la alta intensidad de la radiación solar (23). En Medellín no se alcanzaron temperaturas suficientemente altas para lograr una total eficiencia de control bacteriano durante corto tiempo de exposición, pero sí se logró con cuatro días de exposición y mayor temperatura. Esta ciudad está ubicada en los Andes, a 1.538 msnm, con temperatura ambiente promedio de 25 °C. Por ello, consideramos que no resulta práctico este método de control en una ciudad como esta, pero que puede ser útil en las zonas costeras donde los pobladores pueden acceder fácilmente al agua de la orilla y a las botellas plásticas de PET. Este material al ser expuesto al calor y la radiación solar presenta mínimo riesgo con respecto a la liberación de sustancias tóxicas desde el plástico al agua (24). En contraste con el método de microfiltración, se logró una eficiencia de control bacteriano de 100% de las muestras tratadas, con la ventaja de que no depende de los cambios climáticos de temperatura, nubosidad, radiación solar y largos tiempos de tratamiento; además, permite manejar grandes volúmenes bajo condiciones estandarizadas.

Es de resaltar que con ninguno de estos dos métodos de control bacteriano se logró esterilidad, de acuerdo

con los resultados en agua peptonada alcalina. Las normas internacionales de aguas minerales para consumo no recomiendan utilizar filtros con tamaño de poro menor de 0,5 µm; es decir, no es necesaria ni conveniente la esterilización, dado que las aguas minerales tienen sus propiedades en salud, debidas en parte al contenido de microplancton, como ocurre en el agua de mar. Respecto al método de control microbiano por cuarentena, el almacenamiento hasta por cinco meses produjo una eficiencia de 66%. Sin embargo, aunque es económico, no resulta práctico almacenar agua por tanto tiempo y no lograr 100% de eficiencia.

Los métodos evaluados en el presente trabajo no permiten depurar el agua de la contaminación química que proviene de las aguas residuales, industriales y agroindustriales. Tampoco garantizan un agua libre de virus enteropatógenos. Por todo lo anterior, recomendamos la recolección del agua de mar con fines de consumo, desde mar adentro, cuyos resultados microbiológicos y químicos pueden estar dentro de los parámetros de agua potable para consumo humano, según mediciones que hemos realizado en estudios anteriores (6, 25) y en muestras recogidas para procesar y envasar.

Como producto de esta investigación, se cuenta con el montaje de una planta de microfiltración de agua de mar (obtenida mar adentro), con fines comerciales y de investigación, la cual funciona en la Facultad de Medicina de la Universidad de Antioquia.

Agradecimientos

Los investigadores agradecen a la Universidad de Antioquia y a la Fundación española Aquamaris por la ayuda financiera a este proyecto.

Referencias

- 1 Mahé A. El plasma de Quinton. El agua de mar nuestro medio interno. Barcelona: Icaria editorial S.A.; 1.999. Pág.190.
- 2 Laboratorios Quinton International S.L. Almoradí (CE): Laboratorios Quinton International S.L [Internet] [Acceso 29 de enero de 2010]. Disponible en: <http://www.quinton.es>.
- 3 Kimata H, Tai H, Nakagawa K, Yokoyama Y, Nakajima H, Ikegami Y. Improvement Of Skin Symptoms And Mineral Imbalance By Drinking Deep Sea Water In Patients With Atopic Eczema/ Dermatitis Syndrome (AEDS). *Acta Médica* 2002; 45: 83-84.
- 4 Slapak I, Skoupá J, Strnad P, Horník P. Efficacy of isotonic nasal wash (seawater) in the treatment and prevention of rhinitis in children. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2008; 134:67-74.
- 5 Hee SH, Hyun AK, Sung HL, Jong WY. Anti-obesity and Anti-diabetic Effect of Deep Sea Water on ob/ob Mice. *Mar Biotechnol* 2009; 11: 531-539.
- 6 Soler W, Velásquez NDC, Soler JP. Baja genotoxicidad de extracto orgánico de agua de mar de Coveñas (Sucre, Colombia). *Vitae* 2008; 15(1): 96-102.

- 7 Soler W, Pérez JA, Penagos LE, Osorio G, Velásquez NC. Ausencia de toxicidad por ingesta de agua de mar natural. *Rev. Asoc. Col. Cienc. Biol* 2008; 20:208-222.
- 8 Turbow DJ, Kent EE, Jiang SC. Web-based investigation of water associated illness in marine bathers. *Environ. Res* 2008; 106: 101-109.
- 9 Arvanitidou M, Katsouyannopoulos V, Tsakris A. Antibiotic resistance patterns of enterococci isolated from coastal bathing waters. *J. Med. Microbiol* 2001; 50:1001-1005.
- 10 Cornejo, Rolón AL, Tinoco JC, Cifuentes J. Sepsis fulminante por *Vibrio vulnificus*. Serie de casos. *La Revista de Investigación Clínica*. 2000; 52(6): 632-637.
- 11 García I, Cortés A, Sierra AP. La marea roja causada por el dinoflagelado *Alexandrium tamarense* en la costa Pacífica colombiana. *Revista de Biología Tropical* 2004; 52(1): 59-68.
- 12 Garay J. Programa Nacional de Investigación, Evaluación, Prevención, Reducción y Control de Fuentes Terrestres y Marinas de Contaminación al Mar - PNICM. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives De Andrés" [Monografía en Internet] Santa Marta: INVEMAR; 2004 [Acceso 3 de mayo de 2010]. Disponible en: http://www.cco.gov.co/contaminacion/PNICM%20Texto%20Final%20Total%20_Julio%202022-04_.pdf.
- 13 Jorquera MA, Valencia G, Eguchi M, Katayose M, Riquelme C. Disinfection of seawater for hatchery aquaculture system using electrolytic water treatment. *Aquaculture* 2002; 207: 213-224.
- 14 Martín A, Alarcón MT, Martín IR, González A. Efficiency in the disinfection of water for human consumption in rural communities using solar radiation. *Solar Energy* 2005; 78(1):31-40.
- 15 Rose A, Roy S, Abraham V, Holmgren G, George K, Balraj V, Abraham S, Muliylil J, Joseph A, Kang G. Solar disinfection of water for diarrhoeal prevention in southern India. *Arch Dis Child* 2006; 91:139-141.
- 16 Lonnen J, Kilvington S, Kehoe SC, Al-Touati F, McGuigan KG. Solar and photocatalytic disinfection of protozoan, fungal and bacterial microbes in drinking water. *Water Research* 2005; 39(5):877-883.
- 17 Berney M, Weilenmann HU, Simonetti A, Egli T. Efficacy of solar disinfection of *Escherichia coli*, *Shigella flexneri*, *Salmonella typhimurium* and *Vibrio cholerae*. *Journal of Applied Microbiology* 2006; 101(4):828-836.
- 18 Clasen T, García G, Boisson S, Collin S. Household-Based Ceramic Water Filters for the Prevention of Diarrhea: A Randomized, Controlled Trial of a Pilot Program in Colombia. *Am. J. Trop. Med. Hyg* 2005; 73(4): 790-795.
- 19 Clasen T, Brown J, Suntura O, Collin S. Reducing diarrhoea through household-based ceramic filtration of drinking water: a randomized, controlled trial in Bolivia. *Am. J. Trop. Med. Hyg*. 2004; 70: 651-657.
- 20 Fenical W. Chemical studies of marine bacteria: developing a new resource. *Chem. Rev* 1993; 93:1673-1638.
- 21 Zmirou D, Pena L, Ledrans M, Letertre A. Risks Associated with the microbiological quality of bodies of fresh and marine water used for recreational purposes: summary estimates based on published epidemiological studies. *Archives of Environmental Health* 2003; 58(11): 703-711.
- 22 Fleming LE, Broad K, Clement A, Dewailly E, Elmir S, Knap A, et al. Oceans and human: Emerging public risks in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 2006; 56: 545-560.
- 23 Davis CM, Roser DJ, Feitz AJ, Ashbolt NJ. Solar radiation disinfection of drinking water at temperature latitudes: Inactivation rates for an optimized reactor configuration. *Water Research* 2009; 43: 643-652.
- 24 Schmid P, Kohler M, Meierhofer R, Luzi S, Wegelin M. Does the reuse of PET bottles during solar water disinfection pose a health risk to the migration of plasticisers and other chemical into the water? *Water Research* 2008; 42: 5054-5060.
- 25 Soler W, Velásquez N del C, Miranda LF, Zuluaga DC. Ausencia de genotoxicidad de agua de mar de Coveñas: estudio in vitro en eritrocitos y leucocitos humanos. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública* 2005; 23(2):25-30.