

Determinación bacteriológica de la calidad del agua para consumo humano obtenida de filtros ubicados dentro del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala

Bacteriological determination of the quality of drinking water obtained from filters located in the central campus of the University of San Carlos of Guatemala.

Arriaza, AE, Waight, SE, Contreras, CE, Ruano, AB, López A. y Ortiz, D.
Departamento de Citohistología, Escuela de Química Biológica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC)
alerarriaza@gmail.com

Recibido: 5 de mayo, 2015 • Aceptado: 19 de mayo, 2015

Resumen

El agua apta para el consumo humano o lo que se conoce como “agua potable”, es aquella que según sus características organolépticas, físicas, químicas y bacteriológicas, no representa un riesgo para la salud del consumidor. El presente estudio se basó en la determinación de la calidad del agua extraída de 21 filtros de ozono y de capas de las Facultades de Agronomía, Arquitectura, Ciencias Químicas y Farmacia, Económicas, Ingeniería y Odontología; Escuela de Historia y de Trabajo Social; Gimnasio Universitario y del Centro de Estudios del Mar (CEMA); ubicados dentro del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala con el objetivo de determinar si el agua extraída de los mismos es apta para el consumo humano. Se colectaron y evaluaron las muestras para determinar la cantidad de coliformes totales y fecales por el método del Numero Más Probable (NMP) así como evidenciar la presencia de *Escherichia coli* (*E. coli*) según criterios establecidos por la norma Comisión Guatemalteca de Normas, Norma Técnica Guatemalteca [COGUANOR NTG 29001], 2010.

Se concluyó que los filtros ubicados en las Facultades de Ciencias Químicas y Farmacia, Ciencias Económicas, Odontología y la Escuela de Trabajo Social superan las normas establecidas por COGUANOR para el agua potable, respecto al número de coliformes totales; así mismo el agua obtenida de los filtros de las Facultades de Ciencias Económicas y Ciencias Químicas y Farmacia obtuvieron un resultado positivo para la presencia de *E. coli*, lo que concluye que el agua extraída de éstos filtros no es apta para el consumo humano.

Palabras claves: agua potable, filtros de ozono, filtros de capas, *Escherichia coli*, normas COGUANOR.

Abstract

“Purified water” is described as having organoleptic, physical, chemical and microbiological characteristics that does not represent any risk for human health. The present study was based in the determination of water quality from 21 ozone and sedimentation water filters from the Faculties of Agronomy, Architecture, Chemical Sciences and Pharmacy, Economic Sciences, Enginery and Odontology; The School of History, Social Work; The University Gym and The Center of Sea Studies (CEMA) (Spanish acronyms); located in the central campus of Universidad de San Carlos de Guatemala. The main purpose of the study to determine if the water samples extracted from the filters a qualified for human intake. This evaluation is based on the quantity of total and fecal coliforms according to the most probable number method (MPN) and the presence of *Escherichia coli* (*E. coli*), both evaluated under [COGUANOR NTG 29001],2010 standards.

The results indicate that the filters located in the Faculties of Chemical Sciences and Pharmacy, Economical Sciences, Social Work, Dentistry are over the safety limits for total coliforms established for potable water under COGUANOR standards. Also the samples taken in the Faculties of Economical Sciences and Chemical Sciences and Pharmacy show a positive result in the presence of *E. coli* too, means that the water extracted from those filters is not qualified for human intake.

Keywords: purified water, ozone filters, sedimentation water filters, *Escherichia coli*, COGUANOR standards.

Introducción

El agua potable debe estar libre de microorganismos, sustancias químicas y desechos biológicos, entre otros; ya que la presencia de los agentes mencionados antes dentro del organismo humano conlleva a una serie de invasiones y afecciones que perjudican el equilibrio del cuerpo de manera que la salud se ve afectada (García, 2010).

La calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con estándares de calidad del agua. En el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y, de este modo, proteger la salud de las personas (Organización de Naciones Unidas-Departamento de Asuntos Económicos y Sociales [ONU-DAES], 2014).

Para garantizar sistémicamente la inocuidad del agua del consumo y proteger la salud pública, debe presentarse atención especial a la aplicación de un marco para la seguridad del agua y de planes de seguridad del agua (PSA) completos. Para gestionar la inocuidad microbiana del agua de consumo es preciso: a) evaluar el conjunto del sistema, para determinar los posibles peligros a los que pueden estar expuesto; b) determinar las medidas de control necesarias para reducir o eliminar los peligros y realizar un monitoreo operativo para garantizar la eficacia de las barreras del sistema y c) elaborar planes de gestión que describan las medidas que deben adoptarse en circunstancias normales y si se producen incidentes. (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2014)

Es importante la identificación de coliformes totales así como de *E. coli* en el agua, ya que estos microorganismos son patógenos para el humano, además es necesario el correcto mantenimiento que se brinde en este

servicio prestado en especial a la comunidad estudiantil de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) que fue el objeto de este estudio (Madigan, Martinko, Dunlap & Clark, 2009).

Se evaluó la calidad del agua purificada con filtros de ozono y capas en el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en las Facultades de Agronomía, Arquitectura, Ciencias Químicas y Farmacia, Económicas, Ingeniería y Odontología; Escuela de Historia y de Trabajo Social; Gimnasio Universitario y del Centro de Estudios del Mar (CEMA); mediante el análisis microbiológico, para demostrar además la efectividad de los filtros, y determinar la cantidad de coliformes por medio del método del número más probable (NMP), e identificar la presencia o ausencia de *E. coli* como contaminante fecal. Este fue un estudio prospectivo en donde la parte experimental se llevó a cabo durante una semana que corresponde del 08 al 15 de septiembre del año 2014; con un total de 21 filtros analizados. Se realizó además una encuesta acerca del mantenimiento a los 21 encargados de los filtros. Los resultados del estudio fueron reportados a las autoridades correspondientes de cada unidad académica.

Materiales y Métodos

Fueron tomadas en forma aséptica 21 muestras de agua de los filtros localizados dentro del campus central, de las Facultades de Agronomía, Arquitectura, Ciencias Químicas y Farmacia, Económicas, Ingeniería y Odontología; Escuela de Historia y de Trabajo Social; Gimnasio Universitario y del Centro de Estudios del Mar (CEMA), para realizar un estudio prospectivo transversal empleando un análisis experimental microbiológico por medio del método número más probable

(NMP) utilizado un sustrato cromogénico y un fluorogénico, para determinar coliformes totales y fecales presentes en la muestra. Este método consta de una sola etapa utilizando tres diluciones (1:10, 1:100 y 1:1000) en 5 tubos con caldo LMX (Lauril sulfato-MUG-X-GAL) cada uno.

Se realizó la determinación de coliformes totales incubando los tubos a $35 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 24 horas, este caldo contiene un sustrato cromógeno, 5-bromo-4-clor-3-indol- β -D-galactopiranosido (X-GAL), el cual es hidrolizado por la enzima β -D-galactosidasa que es producida por las bacterias coliformes totales, ocasionando un cambio de color en el caldo, que va de amarillo claro a azul – verde que indica y confirma una prueba positiva. Asimismo, el caldo contiene un sustrato fluorogénico, 4-metilumbiferil- β -D-glucoronido (MUG), el cual es hidrolizado por la enzima β -D-glucoronidasa que es producida por la bacteria *E. coli*, ocasionando una fluorescencia en el caldo bajo la luz ultravioleta de onda larga (336 nm) que indica la presencia de esta bacteria. Para confirmar su presencia se comprobó

la producción de Indol en los tubos que presentaron fluorescencia, utilizando el reactivo de Kovacs (Redondo & Arias, 2011).

Al evidenciar la positividad en los tubos para coliformes totales, se procedió a estimar la concentración de estos en la muestra calculando el número más probable (NMP) con las tablas estadísticas especialmente diseñadas para su evaluación.

También se realizó una encuesta a las 21 personas encargadas de cada uno de los filtros, para conocer el mantenimiento que se les brinda, así como su uso dentro de las instalaciones. Por último los resultados fueron analizados con estadística descriptiva mediante frecuencia, porcentajes y gráficas.

Resultados

En la Tabla 1 se observan los resultados del análisis de coliformes totales según los criterios de calidad del agua establecidos en COGUANOR; los datos se expresan según el recuento de muestras y porcentaje en cada Facultad, Escuela y gimnasio.

Tabla 1

Frecuencia de muestras de agua analizadas según presencia o ausencia de coliformes totales

			Frecuencia		
			Si cumple	No cumple	Total
<u>Facultad/Edificio</u>	Económicas	Recuento	0	1	1
	Gimnasio	Recuento	1	0	1
	Historia	Recuento	2	1	3
	Odontología	Recuento	1	2	3
	Trabajo Social	Recuento	0	4	4
	Farmacia	Recuento	0	2	2
	Agronomía	Recuento	2	1	3
	Arquitectura	Recuento	1	0	1
	Ingeniería	Recuento	2	0	2
	CEMA	Recuento	1	0	1
Total		Recuento	10	11	21
		% dentro de Edificio	47.6%	52.4%	100.0%

En la Tabla 2 se observan los resultados de presencia o ausencia de *Escherichia coli* en las muestras de agua analizada;

los resultados se expresan en recuento y porcentaje de muestras por cada Facultad, Escuela y gimnasio.

Tabla 2

Frecuencia de muestras con ausencia o presencia de *E. coli* en cada Facultad, Escuela y gimnasio

<u>Facultad/Edificio</u>			<u>Frecuencia de <i>E. coli</i></u>		
			<u>Ausencia</u>	<u>Presencia</u>	<u>Total</u>
<u>Facultad/Edificio</u>	Económicas	Recuento	0	1	1
	Gimnasio	Recuento	1	0	1
	Historia	Recuento	3	0	3
	Odontología	Recuento	3	0	3
	Trabajo Social	Recuento	4	0	4
	Farmacia	Recuento	0	2	2
	Agronomía	Recuento	3	0	3
	Arquitectura	Recuento	1	0	1
	Ingeniería	Recuento	2	0	2
	CEMA	Recuento	1	0	1
Total		Recuento	18	3	21
		% dentro de Edificio	85.7%	14.3%	100.0%

En la Tabla 3 se describen los resultados que relacionan la presencia de coliformes (según criterios que indican si cumplen o no cumplen con las normas COGUANOR), así

como la presencia o ausencia de *E. coli*, en relación al conocimiento del funcionamiento del filtro por parte de los encargados del mismo.

Tabla 3

Relación entre criterio de sanidad por NMP de las muestras y el conocimiento del funcionamiento de los filtros de ozono y capas

		<u>Frecuencia de coliformes totales</u>			Total	<u>Frecuencia de <i>E. coli</i></u>		Total
		Si cumple	No cumple	Ausencia		Presencia		
							Recuento	
Conoce el funcionamiento	No	Recuento	4	9	13	10	3	13
		Porcentaje	30.8	69.2	100.0	76.9	23.1	100.0
	Si	Recuento	6	2	8	8	0	8
		Porcentaje	75.0	25.0	100.0	100.0	0.0	100.0
Total		Recuento	10	11	21	18	3	21
		Porcentaje	47.6	52.4	100.0	85.7	14.3	100.0

Discusión

Para la población universitaria del campus central de la USAC es de vital importancia el uso de los filtros de ozono y capas, así como, el determinar si el agua que beben es apta para consumo humano ya que si una afluencia tan grande de usuarios consumen agua contaminada, esta puede convertirse en un foco de infección para enfermedades transmitidas por medio de la misma. Como se observa en la Tabla 1, donde se determinó, por medio de la técnica de número más probable (NMP), que más de la mitad (52.4%) de la totalidad de las muestras de los filtros analizados, resultaron positivas para coliformes totales; esto indica que muchas personas han estado consumiendo agua que según la norma COGUANOR NTG 29001:2010, no es apta para consumo humano, ya que la misma no permite la presencia de dichas bacterias en la misma; tomando como referencia que se espera que un agua tratada y purificada, debe contener un NMP no mayor a 10 UFC/mL (OMS, 2014). Sin embargo, el 47.6% de las muestras analizadas sí aprobaron la regla antes mencionada; por lo tanto se puede determinar que el problema no es que el agua provenga ya contaminada de las fuentes de abastecimiento, sino que existen otros factores que intervienen como un mal mantenimiento de los filtros, por los cuales se observa un porcentaje mayor de muestras contaminadas que potables, después del proceso de purificación.

Por otro lado y siguiendo con el análisis de la totalidad de los filtros, también se determinó el porcentaje de muestras positivas para la presencia de *E. coli*, bajo la misma técnica antes mencionada, de los cuales se puede observar en la Tabla 2, que de las mismas, únicamente el 14.3% se encontró contaminada; esto indica que pese a que más de la mitad de los filtros se encuentran contaminados con coliformes totales, es en

un porcentaje menor que se identificó la presencia de *E. coli*, lo cual es un indicativo fiel de que el agua está contaminada con heces fecales y que por tanto constituyen un mayor riesgo de desarrollar una infección transmitida por agua como por ejemplo, una salmonelosis, shigelosis, cólera, Hepatitis A, entre otros, que en relación a la mayoría, que únicamente presentan coliformes totales, ya que estas últimas pueden provenir de fuentes naturales contaminadas localizadas en los nacimientos o plantas de tratamiento, de las cuales proviene el agua que se suministra en el campus central de la USAC.

En cuanto a la no potabilidad del agua de filtros de cada Escuela o Facultad en relación con las normas establecidas por COGUANOR, como se muestra en la Tabla 2, se determinó la presencia de coliformes totales según el método de NMP en la totalidad de los filtros de Ciencias Económicas, Trabajo social y Ciencias Químicas Farmacia. Seguido de la Facultad de Odontología donde 2 de sus 3 filtros no cumplen y por último Historia y Agronomía donde 1 de sus 3 filtros no cumplen.

La detección de coliformes totales indica una mala calidad del agua; aunque suele deducirse que la mayoría de los coliformes que se encuentran en el ambiente son de origen fecal, existen muchos de vida libre. A pesar de esto las Escuelas o Facultades en donde todos sus filtros presentan coliformes, deben tomar en cuenta que es muy probable que el agua tenga un alto grado de contaminación fecal, esto debido a que mientras más coliformes se aísla del agua, mayor es la gravedad de la descarga de heces (Cabrera & Hernández, 2008).

Para el resto de filtros ubicados en Ingeniería, Arquitectura y el gimnasio dentro del Campus Central, donde sí cumplen con la norma, indica que el agua es bacteriológicamente segura, de buena calidad y apta para el consumo humano.

Con respecto a la comparación de filtros de cada Escuela o Facultad con la presencia de *E. coli*, como se muestra en la Tabla 2, la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia y la de Ciencias Económicas tienen los únicos filtros que son positivos; por lo tanto se considera el agua no apta para el consumo humano. Esto debido a que la detección de *E. coli* es un indicador de un alto grado de certeza de contaminación fecal, alrededor del 99%, porque se han aislado cepas de *E. coli* que no tienen origen fecal. Hay que considerar que tanto los alimentos como el agua contaminada por desechos fecales son los medios principales de transmisión de enfermedades (Cabrera & Hernández, 2008).

En la Tabla 3, se muestra la relación entre el NMP de coliformes totales, comparando estos valores con el conocimiento del funcionamiento del filtro por parte de los encargados del mantenimiento de cada filtro. En las muestras en donde los encargados de los mismos, admitieron no tener conocimiento de su funcionamiento, fueron 13 las muestras en donde hubo presencia de coliformes totales, de las cuales 9 fueron las que no cumplieron con el límite aceptable de NMP y 4 sí lo cumplen. En el caso de evidenciar presencia o ausencia de *E. coli*, fueron 10 las que mostraron resultados negativos, donde hubo ausencia, y únicamente 3 muestras se identificaron con presencia de dicho microorganismo. Mientras que en las 8 muestras en las cuales los encargados refirieron conocer el funcionamiento de los filtros, las muestras cumplieron en su mayoría para el NMP, siendo 6 muestras las muestras aceptables, y únicamente 2 muestras no cumplieron con el límite aceptable de COGUANOR para agua potable. Relacionando los resultados entre NMP y *E. coli*, se concluyó que a pesar de que en los filtros donde no se tenía conocimiento de su funcionamiento por parte de los encargados, y que la mayoría

de filtros no cumpliera con los límites aceptables para NMP, la cantidad de filtros con ausencia de *E. coli*, fue mayoritaria. Y en el caso de los filtros en donde sí se tuvo conocimiento de su funcionamiento por parte de los encargados, la mayoría sí cumplió con los límites aceptables de COGUANOR para NMP, y el resultado de *E. coli* fue ausente.

En el total de las 21 muestras que mostraron presencia de coliformes totales, fueron 3 en las que se determinó la presencia de *E. coli*, la cual es una bacteria que, como se indicó anteriormente, es indicador de contaminación fecal, por lo que pertenece al grupo de coliformes fecales que a su vez forman parte del grupo de coliformes totales (Osorio, Torres & Sánchez, 2011).

Entre las posibles causas de contaminación de los filtros con *E. coli* puede ser mencionada la falta de mantenimiento realizado a los mismos ya que permite la acumulación de las bacterias, ya sea en la tubería de estos o en las membranas de filtración, así mismo se puede mencionar una inactivación o destrucción total de las bacterias por parte del ozono aplicado o una aplicación de ozono insuficiente. También puede ser mencionado que los filtros con mayor tiempo de instalación pueden tener mecanismos ineficaces para la purificación del agua, como lo pueden ser membranas de filtración con porosidad superior a la necesaria para que las bacterias queden atrapadas en la misma o la aplicación de ozono ineficiente.

Agradecimientos

Lic. André Chocó, por su ayuda en el análisis estadístico de la investigación.

Al Laboratorio Microbiológico de Referencia (LAMIR), por su colaboración durante la fase experimental.

Referencias

- Adelman, M., Weber-Shirk, M., Cordero, A., Coffey, S., Maher, W., Guelig, D., Lion, L. (10 de Octubre de 2012). Stacked filters: novel approach to rapid sand filtration. *ASCE*, 106(10), 1556-1589.
- Bravo, A., Mejía, A., Ramírez, G., Herradora, M., Pablos, J. & Martínez, R. (2008). The effect of using separation/sedimentation/filtration-treated wastewater on the health of weanings pigs. *Téc Pecu Méx*, 46(3), 287-302.
- Cabrera, J. & Hernández, M. (2008). Validación de la prueba de coliformes totales y fecales por la técnica de tubos múltiples utilizando un medio fluorogénico. (Tesis de Licenciatura), Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
- Comisión Guatemalteca de Normas, COGUANOR. Norma Técnica Guatemalteca. Agua para Consumo Humano (Agua Potable). COGUANOR NTG 29001.
- Devesa, R., Fabrellas, C. (31 de octubre del 2002). El estado de la cuestión de los olores y sabores en aguas. Barcelona. Recuperado de http://www.percepnet.com/perc0110_02.htm
- García, P. (2010) *Agua, medio ambiente y desarrollo en el siglo XXI*. (1ª ed.) México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Gołaś, I., Filipkowska, Z., Lewandowska, D. & Zmysłowska I. (2002). Potentially pathogenic bacteria from the family *Enterobacteriaceae*, *pseudomonas sp.* and *Aeromonas sp.* in waters designated for drinking and household purposes. *Polish Journal of Environmental Studies*, 11(4), 325-330.
- Gómez D., Ania J., Gonzáles A. & Alés M. (2002) *Auxiliares sanitarios de la comunidad autónoma de las Illes Balears*, temario específico. (1ª ed.) España: Editorial MAD
- Guiza L. & Rodríguez J. (2011) Evaluación de la contaminación con *Vibrio cholerae* en un sistema abastecedor de agua potable. *Revista Tecnoambiente*, 21(2), 15 – 20.
- Kaplan, L. & Pesce, A. (2010). *Clinical chemistry: theory, analysis, correlation*. (5a ed.) USA: Mosby
- Lösh, L. S., Alonso, J. M. & Merino, L. A. (2008). Occurrence of antimicrobial-resistant *Enterobacteriaceae* in water from different sources in a subtropical region of Argentina. *An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 3(2), 28-36.
- Madigan M., Martinko J., Dunlap P. & Clark D. (2009) Brock, *Biología de los Microorganismos* (11ª ed.) España: Pearson
- Muñoz, J. & Orta, M. (18 de diciembre de 2012). Efecto del ozono en la remoción de materia orgánica disuelta de un efluente secundario. *Escuela de Ingeniería de Antioquia*, 17(18), 171-178.
- Organización de Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, (2014). Calidad del agua. Recuperado desde <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>
- Organización Mundial de la Salud (2014). *Calidad del Agua, Saneamiento y*

- Salud -ASS-* (3ª ed.). Génova. Guías para la calidad del Agua Potable, ONU-DAES
- Osorio, F., Torres, J. & Sánchez, M. (2011). *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes*. Madrid: Díaz de Santos.
- Ortiz, M. C. & Ríos, M. S. (2006). Comparación de los métodos Petrifilm™ coliformes y Número Más Probable (NMP) para la determinación de coliformes fecales en muestras de queso blanco. *Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel*, 37(2), 15-18).
- Pinca, J. (2010). *Determinación de la calidad de aguas*. (1ª ed.). Ecuador: Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- Ramalho, R. S. (2010). *Aguas Residuales*. Barcelona: Reverté, 71-74.
- Redondo, M. & Arias, M. (2011). Comparación de métodos para el análisis de coliformes totales y fecales en muestras de agua mediante la técnica de Número Más Probable (NMP). *Cuadernos de Investigación UNVED*, 3(2), 219-225.
- Rompré, A., Servais, P., Baudart, J., de-Roubin, M. & Laurent, P. (2002). Detection and enumeration of coliforms in drinking water: current methods and emerging approaches. *Journal of Microbiological Methods*, 49, 31–54.
- Shittu, O. B., Olaitan, J. O. & Amusa, T. S. (2008). Physico-chemical and bacteriological analyses of water used for drinking and swimming purposes in Abeokuta, Nigeria, *African. Journal of Biomedical Research*, 11, 285-290.
- Suffet, I., Djanette, K. & Bruchet, A. (2009). The drinking water taste and odor wheel for the millennium. *Analyses of Water Science and Technology. USA*, 40 (6), 1–14
- Walter, J. & Webber, J. (2003). *Control de la calidad del agua, Procesos Fisicoquímicos*. España: Reverté.
- Wang, D., Li, S., Yang, J., You, Z. & Zhou, X. (17 de Julio de 2014). Adaptive MPC for ozone dosing process of drinking water treatment based on RBF modeling. *Journal Citation Reports*, 36(1), 58-67.
- Yao, P., Hendrawan, F., Bi, T., Wang, J. & Fu, J. (10 de enero de 2008). Effects of organic compounds and recycling on ozone absorption in a portable water purification unit. *NRC. Journal of Environmental Engineering and Science*, 29(6), 78 – 98.