

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

**Efectividad del método de purificación de agua con limón y luz solar, en
contraste con el método de agua clorada.**



Presentado por

Br. María Aurora Salazar de León 200710141
Br. María Fernanda Rodas Trujillo 201315503
Br. Yoselín Rosleth Axpucá Chajón 201315763
Br. Katherinne Dulce R. Solís Pérez 201403437

Asesora de investigación

Licenciada Cecilia Liska de León

Guatemala, 06 de mayo de 2019

Efectividad del método de purificación de agua con limón y luz solar, en contraste con el método de agua clorada

Salazar, A., Rodas, M., Axpucac Y. y Solís, K.

Resumen

La purificación de agua constituye en un proceso necesario para que pueda consumirse. Principalmente uno de los mayores retos es la reducción de los microorganismos que pueden generar una enfermedad aguda, así como *E. Coli* y Coliformes Totales. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la efectividad del método de purificación con limón y luz solar comparada con el método de desinfección con cloro, que se aplicó en una muestra de agua no potable extraída de un estanque natural de Finca La Joya, San Bartolomé Milpas Altas, Sacatepéquez. Para la elaboración del proceso de experimentación se realizó el método de purificación de limón y luz solar en Amatitlán, Guatemala, a temperatura entre 29 °C a 31 °C y entre las 1:00 P.M. a 4:00 P.M. horas y el método de purificación con cloro se hizo en San Bartolomé Milpas Altas, Sacatepéquez según la guía “Tratamiento de desinfección de agua para el consumo humano por medio de cloro” del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Guatemala. Se realizó una evaluación microbiológica por triplicado de *E. Coli* y Coliformes Totales, para cada uno de los métodos de purificación. Los resultados obtenidos fueron: no se detectó *E. Coli* en ninguna de las muestras por triplicado de ambos métodos, sin embargo, se detectó Coliformes Totales en una de las muestras realizado por triplicado en ambos métodos. Concluyendo que el método de limón y luz solar no es efectivo para la purificación de agua para consumo humano, al no eliminar Coliformes Totales.

Palabras clave: *Purificación de agua, método de purificación de agua con cloro, método de purificación de agua con limón y luz solar.*

Effectiveness of the water purification method with lemon and sunlight, in contrast to the chlorinated water method

Salazar, A., Rodas, M., Axpuaca Y. y Solís, K.

Summary

The purification of water constitutes a necessary process so that it can be consumed. Mainly one of the biggest challenges is the reduction of microorganisms that can generate an acute disease, as well as E. coli and total coliforms.

Therefore, the objective of this research was to evaluate the effectiveness of the method of purification with lemon and sunlight compared with the method of disinfection with chlorine, which was applied in a sample of non-potable water extracted from a natural pond of Finca La Joya, San Bartolomé Milpas Altas, Sacatepéquez. For the elaboration of the experimentation process, the lemon and solar light purification method was carried out in Amatitlán, Guatemala, at a temperature between 29 to 31°C and between 10:00 A.M. at 1:00 P.M. hours and the method of purification with chlorine was made in San Bartolomé Milpas Altas, Sacatepéquez. A triplicate microbiological evaluation of E. Coli and Total Coliforms was then carried out in -LAMIR-, where E. coli was not detected in any of the samples from both methods and one of three samples resulted in Total Coliforms detectable by each method, according to the analysis of data obtained, the effectiveness for both methods is the same. In conclusion, the hypothesis was not accepted that the method of lemon and sunlight is effective in the elimination of E. Coli. but it is not completely effective for the elimination of total coliforms, therefore, it does not comply with the regulations established for drinking water.

Key words: *Water purification, chlorine water purification method, water purification method with lemon and sunlight.*

Introducción

Según resultados publicados en el 2018 por La Universidad Técnica de Machala en Ecuador donde se demostró que hay una eliminación por completa de coliformes fecales después de haber aplicado el método SODIS. Además, Aquino y Tevez en su investigación demuestran que el limón desinfecta las aguas contaminadas con *V. cholerae* (Bermudes, 2018). Asimismo, La Universidad Nacional de Colombia en el 2014 realizó un estudio donde se evaluó el método SODIS y SODIS combinado con *Artemisia annua* y determinó la eficiencia del método en la remoción de *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Enterococcus faecalis* y *Salmonella typhimurium*.

Finalmente, La Sociedad Americana de Medicina Tropical e Higiene publicó en el 2012 un estudio donde se utilizó limas y psoralenos sintéticos para mejorar la desinfección solar del agua (SODIS) evaluando la eficacia de implementar el uso de limón con el método de purificación de agua con luz solar (SODIS) con el fin de evaluar el grado de eliminación del *Norovirus*, *E.coli* y *el MS2*, se mostró que la combinación del método de purificación del agua con limón y luz solar reduce considerablemente el tiempo de espera para la reducción en la concentración de microorganismos (Harding y Schwab, 2012).

Respecto a la calidad del agua, en muchos casos el agua se capta directamente del río o lago y se distribuye directamente sin realizar tratamiento alguno. Los niveles de bacterias del grupo coliforme y de bacterias patógenas son elevados y son característicos de aguas residuales sin tratamiento, más que de agua de río, lo que pone en riesgo la salud de la población (PHAO/ OPS, 2018). El agua segura debe estar disponible para el consumo humano, y para lograr alcanzar esta disponibilidad se requiere de la aplicación de un método de purificación eficaz que elimine los microorganismos y sea a bajo costo.

La desinfección de agua mediante el uso de energía solar (SODIS) y jugo de limón consiste en utilizar botellas PET para almacenar agua con jugo de limón para luego ser expuesta en un lapso de tiempo a la radiación solar, utilizando los rayos ultravioletas y el calor para elevar la temperatura dentro de los envases y de esta manera eliminar los microorganismos causantes de enfermedades ya que son muy sensibles a los cambios de temperatura.

El siguiente estudio se probó la efectividad del método con limón y luz solar para la purificación de una muestra de agua extraída de un estanque de agua natural de la finca la Joya en San Bartolomé Milpas Altas, Sacatepéquez al cumplir con los parámetros microbiológicos de *E. coli*, y *Coliformes totales* establecidos por la legislación guatemalteca. Para ello, se aplicaron ambos métodos en una muestra de agua no potable extraída de un estanque de agua de La Finca la Joya en San Bartolomé Milpas Altas, Sacatepéquez. Es necesario realizar más abordajes para seguir probando la efectividad y determinar si el método de purificación de agua con limón y luz solar se puede aplicar confiablemente.

Materiales y métodos

En esta sección se presenta la metodología que se aplicó en la investigación, así como los materiales, recursos y demás elementos que la conforman.

Universo y muestra. 10 L de agua no potable de San Bartolomé Milpas Altas, Sacatepéquez.

Tipo de estudio. Cuantitativo, explicativo, experimental, de diseño cuasiexperimental de posprueba únicamente y grupos intactos, de cohorte transversal.

Materiales. Para la recolección de informe se utilizó una tabla de registro de análisis microbiológicos de agua. Dentro de los insumos empleados fueron: 90 ml de jugo de limón, 10 L de agua no potable, cloro comercial, botellas plásticas PET de 2.5 litros, frascos estériles para recolectar las muestras, jeringas, tela de manta para filtrar.

Recursos institucionales o físicos. Laboratorio microbiológico -LAMIR- unidad que pertenece a la Escuela de Química Biológica que se encuentra ubicado en el segundo nivel del edificio T-12 de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, USAC.

Métodos

A continuación, se detallan los pasos que se realizaron para el desarrollo de la investigación, los cuales permitieron que la misma se tuviera un proceso de la manera más adecuada y que los resultados que se obtuvieron fueron reales.

Selección y determinación de la muestra. La muestra fue recolectada en el estanque natural y utilizando un recipiente limpio y desinfectado en la finca la Joya en San Bartolomé Milpas Altas, Sacatepéquez por las investigadoras.

Criterios de inclusión. Agua de fuente natural sin tratamientos previos, *E. Coli* y Coliformes totales detectables en análisis microbiológico de agua por LAMIR.

Criterios de exclusión. Presencia cuerpos extraños en el agua (piedras, tierra, jabón, etc.), coloración del agua y turbidez.

Elaboración de instrumentos de recolección. El instrumento que se empleó para la recolección de datos consiste en una tabla de registro, en la cual se tabularon los valores de *E. Coli* y Coliformes Totales de cada una de las muestras entregadas a -LAMIR-. La tabla de información se basa en criterios de COGUANOR. Este instrumento fue validado entre las investigadoras.

Preparación de las muestras. Posterior a la experimentación se recolectaron muestras por triplicado de 200 mL las cuales se llevaron a -LAMIR- en el departamento de Microbiología de la Escuela de Química Biológica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC para su análisis microbiológico.

Para la recolección de muestra de agua se utilizó un recipiente estéril y se sumergió en la superficie del agua para tomar una buena cantidad de muestra con la menor cantidad de contaminantes físicos (tierra, piedras, etc.).

Recolección de datos. La experimentación se llevó a cabo en dos grandes dimensiones. Cada proceso deberá hacerse por triplicado y realizado por la misma persona. Se recolectó 10 L de agua de un estanque de agua natural en la finca La Joya de San Bartolomé Milpas Altas, Sacatepéquez una vez cumplido con los criterios de agua no potable analizada previamente en LAMIR.

A continuación, se describen los procesos que se desarrollaron en la investigación:

Agua con tratamiento con cloro. Para la primera parte del ensayo se realizó el proceso de purificación de agua con cloro comercial, el cual se ha tomado del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (2016). Este se realizó bajo las siguientes condiciones:

La temperatura se esperó estar entre los 17 °C a 26 °C que es la temperatura ambiente del lugar, y en el período de las 3:00 pm a las 6:00 pm horas, con ubicación en San Bartolomé Milpas Altas, Sacatepéquez. Se recolectó la muestra, y luego se procedió a filtrar por un paño de tela de manta. Posteriormente se trasladó el agua a otro recipiente limpio una vez que el agua quedó clara se agregó el cloro líquido, siendo una gota de cloro comercial para dos litros de agua. Como siguiente paso se mezcló completamente y se dejó reposar durante 30 minutos.

Luego del tratamiento se tomó una muestra de 200 ml en un frasco estéril transparente con tapa de rosca, para luego ser analizado por LAMIR, Permaneció a una temperatura de refrigeración entre los 4 °C a 7 °C, fue transportado en una hielera para mantener la temperatura.

Agua con tratamiento de limón y luz solar. Para la segunda parte del ensayo se realizó una adaptación de pasos del método de purificación de agua con limón y luz solar (SODIS), según investigaciones realizadas por Conant (s.f.) y Harding y Schwab (2012).

La temperatura se encontró entre los 29 °C a 31 °C, entre la 1:00 P.M. a las 4:00 P.M. horas y con ubicación en Amatitlán, Guatemala. Se recolectó la muestra, y luego se procedió a filtrar por un paño de tela de manta. Posteriormente se trasladó el agua a otro recipiente limpio. Se agitó por 20 segundos para promover la oxigenación, posteriormente se procedió a trasvasar el agua a una botella con capacidad de 2.5 L, de forma que se llenó sólo el 75% de la capacidad de la botella. Luego se agregó 30 ml de jugo de limón persa y se cerró la botella para luego agitarla vigorosamente.

Posteriormente se colocó la botella sobre una lámina que estaba expuesta a luz solar directa y fue monitorizado durante 3 horas, tal como se detalla en el flujograma (ver el Apéndice 3).

Luego del tratamiento se tomó una muestra de 200 mL en un frasco estéril transparente con tapa de rosca, para luego ser analizado por LAMIR, Permaneció a una temperatura de refrigeración entre los 4 °C a 7 °C, fue transportado en una hielera para mantener la temperatura.

Por cada muestra LAMIR entregó un informe de resultados que sirvió para su posterior análisis.

Plan de tabulación y análisis de datos. La tabulación de resultados se realizó por medio de tablas. El análisis estadístico se realizó únicamente por estadística descriptiva para comparar la efectividad del agua purificada por el método de limón y luz solar (SODIS) según normas de COGUANOR.

Resultados

En la Tabla 1 muestra de la evaluación microbiológica para una muestra de agua de estanque natural recolectado en la Finca “La Joya” ubicado en San Bartolomé Milpas Altas, Sacatepéquez, siendo detectables las Coliformes totales y *E Coli*.

Tabla 1

Resultado de análisis microbiológico de una muestra de agua de estanque natural

Muestra	Variable	Resultado
Agua de estanque natural	Coliformes totales	31 NMP/100 mL Detectable
	<i>E. Coli</i>	13 NMP/100 mL Detectable

Nota: Instrumento de recolección de resultados según el informe de análisis de agua por LAMIR.

En la Tabla 2 se resume los resultados obtenidos en el análisis microbiológico por triplicado realizado en LAMIR donde se indica que en una muestra de agua de estanque

natural tratada con cloro se detectaron Coliformes totales en una repetición, en ninguna muestra se detectó *E. Coli*.

Tabla 2

Resultado de análisis microbiológico de una muestra de agua de estanque tratada con cloro

Metodología de purificación aplicada	Repetición	Variable	Resultado	
Metodología de purificación con cloro comercial.	Primera repetición	Coliformes totales	1.8 NMP/100 mL Detectable	
		<i>E. Coli</i>	< 1.8 NMP/100mL Detectable	No
	Segunda repetición	Coliformes totales	< 1.8 NMP/100mL Detectable	
		<i>E. Coli</i>	< 1.8 NMP/100mL Detectable	No
	Tercera repetición	Coliformes totales	< 1.8 NMP/100mL No Detectable	
			<i>E. Coli</i>	< 1.8 NMP/100mL No Detectable
		<i>E. Coli</i>	< 1.8 NMP/100mL No Detectable	

Nota: Instrumento de recolección de resultados según el informe de análisis de agua por LAMIR

En la Tabla 3 se resume los resultados obtenidos en el análisis microbiológico por triplicado realizado en LAMIR donde se indica que en una muestra de agua de estanque natural tratada con luz solar y limón se detectaron Coliformes totales en una repetición, en ninguna muestra se detectó *E. Coli*.

Tabla 3

Resultado de análisis microbiológico de una muestra de agua de estanque tratada con luz solar y limón

Metodología de purificación aplicada	Repetición	Variable	Resultado
Metodología combinada de purificación con jugo de limón y luz solar	Primera repetición	Coliformes totales	1.8 NMP/100 mL Detectable
		<i>E. Coli</i>	< 1.8 NMP/100mL No Detectable
		Coliformes totales	< 1.8 NMP/100mL No Detectable
	Segunda repetición	Coliformes totales	< 1.8 NMP/100mL No Detectable
		<i>E. Coli</i>	< 1.8 NMP/100mL No Detectable
		Coliformes totales	< 1.8 NMP/100mL No Detectable
	Tercera repetición	Coliformes totales	< 1.8 NMP/100mL No Detectable
		<i>E. Coli</i>	< 1.8 NMP/100mL No Detectable
		Coliformes totales	< 1.8 NMP/100mL No Detectable

Nota: Instrumento de recolección de resultados según el informe de análisis de agua por LAMIR

Discusión de Resultados

La calidad del agua para el consumo humano mejora tras la aplicación del método de luz solar, según el estudio realizado por Solano *et al.* de La Universidad Técnica de Machala en Ecuador cuyos resultados fueron publicados en el año 2018 sobre la “Desinfección solar para abastecimiento de agua de consumo humano a nivel domiciliario”. Se esperaba que todas las pruebas de las muestras de agua tratadas con la metodología de purificación con limón y luz solar, no presentarían niveles detectables de coliformes totales ya que la parte del tratamiento de luz solar garantiza reducir la carga microbiana de coliformes totales. Se indica en la tabla 10 que el método no eliminó totalmente la cantidad de coliformes totales aceptables para agua potable, debido a que en una de las tres pruebas fueron detectables en el rango límite, sin embargo, si hubo efectividad en las tres pruebas en la reducción ya que

comparada a la tabla 9 aún en la muestra detectable la carga de coliformes totales si se redujo. En los coliformes totales los géneros de bacterias que se encuentran son *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter*, etc. Géneros gram negativos (Universidad de Salamanca, s.f.).

Según la revista publicada en el año 2014 por la Universidad de Colombia el estudio titulado “Efecto microbicida de la radiación solar (SODIS) combinado con *Artemisia annua*” el tratamiento SODIS muestra eficiencia en la remoción de *E. Coli*. Inicialmente en la muestra era detectable *E. Coli* tal como se presenta en la tabla 9. Se comprobó la efectividad del método de limón y luz solar para purificar el agua y eliminar por completo *E. Coli* ya que no fue detectable en las tres repeticiones analizadas de la tabla 10. Sin embargo, no se le puede atribuir el mayor efecto de eliminación microbiana al método SODIS únicamente o al jugo de limón ya que la metodología combinó a ambos para generar el tratamiento. La efectividad del método combinado puede ser por la actividad fotoreactiva de los psoralenos del jugo de limón en la eliminación de microorganismos (Harding y Schwab, 2012).

El uso de los psoralenos es conocido en la inactivación de patógenos en el plasma sanguíneo para evitar la transmisión de enfermedades por transfusiones de sangre, su actividad se basa en intercalar sus moléculas en las cadenas de ácidos nucleicos de los microorganismos por acción de los rayos UV, originan uniones covalentes irreversibles evitando la replicación de las bacterias (Chiera *et al*, 2013). Los genomas de los patógenos y los leucocitos entrecruzados de este modo ya no pueden funcionar ni multiplicarse. El psoraleno más utilizado en la medicina para este fin es el amotosaleno (clorhidrato de amotosaleno), se utiliza en la sangre del donador para eliminar toda la carga de microorganismos que posea, se observó que tiene efectividad para la eliminación de bacterias, virus, parásitos y leucocitos del donante, entre las especies de bacterias que elimina están las de los géneros de *Klebsiella* y *Staphylococcus*, entre otros (Cerus, 2017). Debido que son reacciones irreversibles, la variabilidad en la efectividad del método combinado pudo

radicar en algún tipo de contaminación cruzada al momento de la preparación de las muestras para su análisis. Los estudios con fármacos que contienen psoralenos demuestran que se pueden reducir significativamente estos géneros de bacterias. Según la información obtenida de los fármacos, se desconoce la especie vegetal utilizada que contiene el amotosaleno. Debido a que se desconoce aún el tipo de psoraleno que contiene el jugo de limón y no se conozca la efectividad exacta del mismo, en los géneros de bacterias que pueda eliminar, podría tener influencia en los resultados.

La purificación de agua mediante el método con cloro se tomó como patrón de referencia, por lo tanto, se esperaba que en todas las repeticiones no fuese detectable *E. Coli* ni Coliformes totales. En la tabla 8 se observó variabilidad de lo esperado con detección de coliformes totales en una de las muestras, con lo que se puede confirmar la posibilidad de contaminación cruzada al momento de la preparación y posterior análisis en el laboratorio LAMIR. Según la guía para la calidad de agua potable de la OMS, menciona que uno de los principales factores que influyen en la proliferación de bacterias es el tipo de contenedor de muestra de recolección de agua por lo que se recomienda la utilización de envases nuevos, además menciona que cuando la solución (agua con cloro) se encuentra a temperaturas bajas y/o entre mayor sea el pH del agua, disminuye la eficacia del cloro (OMS, s.f.). Durante la experimentación no se evaluó el pH del agua recolectada, por lo tanto, se desconoce si este fue el factor limitante que influyó en la detección de Coliformes Totales en una de las muestras realizadas por triplicado. Finalmente se determinó que tanto la metodología de purificación de agua con limón y luz solar como la purificación con cloro variaron en una repetición en la cual se detectaron coliformes totales y las repeticiones restantes si cumplieron los parámetros establecidos por la norma COGUANOR 29001 que comprueba la efectividad de ambos tratamientos.

Se establece que el método de limón y luz solar fue efectivo para la eliminación de *E. Coli*, pero no para la eliminación de Coliformes Totales, por lo tanto, se rechaza la

hipótesis planteada ya que el agua no cumple con los reglamentos de COGUANOR para agua potable. Por lo tanto, se concluye que el método de limón y luz solar no es efectivo para la purificación de agua para consumo humano, al no eliminar Coliformes Totales y se recomienda volver a repetir la experimentación para descartar si existió una contaminación cruzada.

Agradecimientos

A los propietarios de la Finca La Joya ubicada en San Bartolomé Milpas Altas, Sacatepéquez.

Referencias

- Arriaza, A., Waight, S., Contreras, C. Ruano, A., López, A. y Ortiz, D. (2015). 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. *Revista científica*. Vol.25(2), 21-29.
- Bermudes, D. (2018). Desinfección Solar para el Abastecimiento de Agua de consumo humano a nivel Domiciliario en el sector de la Pereira, parroquia la Avanzada, Cantón Santa Rosa provincia de El Oro. *Conference Proceedings*, 2(1), 239-246.
- Boston Public Health Commission. (2019). *E. Coli (Escherichia Coli)*. Estados Unidos. Boston Public Health Commission, Infectious Disease Bureau.
- CERUS (2017). *Ficha técnica del Clorhidrato de Amotosaleno INTERCEPT Blood System*. Estados Unidos. CERUS Corporation.
- Chiera, A., Oknaian, S., Blejer, J., Remersar, M., Livellara, B., Rey, J. y Magariños J. (2013). *Reducción de riesgo de contaminación bacteriana de hemocomponentes por la utilización de bolsas con derivación de la primera alícuota de sangre*. Argentina. Comisión de Infecciones Transmisibles por Transfusiones

- Conant, J. (s.f.). *Agua para vivir, Cómo proteger el agua comunitaria*. Estados Unidos: Fundación Hesperian.
- Harding, A. y Schwab, K. (2012). Using limes and Synthetic Psoralens to Enhance Solar Disinfection of water (SODIS): A laboratory Evaluation with Norovirus, Escherichia coli, and MS2. 86(4):10.4269. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3403757/>
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2016). *Tratamiento de desinfección de agua para el consumo humano por medio de cloro*. Guatemala. Recuperado de: <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0214/doc0214.pdf>
- OPS/OMS. (2018). *Agua y saneamiento*. Guatemala. Recuperado de: https://www.paho.org/gut/index.php?option=com_content&view=article&id=789:agua-y-saneamiento&Itemid=405
- Organización Mundial de la Salud (2006) *Guía para la calidad de agua potable*. Suiza. Recuperado de: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf
- Solano, C. Espinoza, J. Campuzano, F. Oyola, J. (2018). *Desinfección solar para el abastecimiento de agua de consumo humano a nivel domiciliario*. Ecuador. Universidad técnica de Machala.
- Universidad de Salamanca. (s.f.) *Recuento de Coliformes totales. Filtración a través de membranas*. España. Recuperado de: http://coli.usal.es/Web/demo_fundacua/demo2/FiltraMembColiT_auto.html