

# Evaluación del método “SODIS” en la desinfección del agua para uso doméstico en la comunidad de Yanacoto, distrito de Lurigancho-Chosica

Castillo Infante J.<sup>1</sup>, Franco Chumacero V.<sup>2</sup>, Cruz Huaranga M.<sup>3</sup>  
Recibido 2 de mayo de 2016, Aceptado 10 de julio de 2016

Received: May 2, 2016

Accepted: July 10, 2016

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el método SODIS en la desinfección del agua para uso doméstico en la comunidad de Yanacoto, distrito de Lurigancho-Chosica. Para ello, se recolectaron muestras de 2 500 ml, en botellas de plástico PET (politereftalato de etileno), las botellas estaban limpias, transparentes y no presentaron rayaduras, ni envejecimiento externo. Para determinar la eficiencia del SODIS, las botellas se expusieron al sol, colocándolas en el techo; el tiempo de exposición fue de 6 horas, siguiendo lo expresado en la guía de aplicación de desinfección solar de Meierhofer y Wegelin (2003). Se determinaron parámetros fisicoquímicos: pH, temperatura, Oxígeno Disuelto, Conductividad Eléctrica y Sólidos Disueltos Totales, así como parámetros microbiológicos (coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*), los análisis se realizaron preaplicación y postaplicación del método SODIS. Los resultados se compararon con la norma peruana vigente de calidad del agua potable (D.S 031-2012/MINSA). Los parámetros fisicoquímicos, antes de la aplicación y posterior a la aplicación del SODIS, no presentaron diferencias significativas, estando dentro de los límites máximos permisibles. En cuanto a los parámetros microbiológicos, SODIS redujo en un 100% la concentración de coliformes totales (de 17 NMP/100 ml a <1.8 NMP/100 ml), coliformes termotolerantes (de 63 NMP/100 ml a <1.8 NMP/100 ml) y *Escherichia coli* (de 48 NMP/100 ml a <1.8 NMP/100 ml), cumpliendo con la norma peruana para la calidad del agua potable. Por lo tanto, la desinfección

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Ambiental. Universidad Peruana Unión. email: hiramcastillo@upeu.edu.pe

<sup>2</sup> Estudiante de Ingeniería Ambiental. Universidad Peruana Unión. email: victorfranco@upeu.edu.pe

<sup>3</sup> Ingeniera Ambiental. Universidad Peruana Unión. email: mildacruz@upeu.edu.pe

solar es eficaz en la inactivación de coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*.

**Palabras clave:** Desinfección solar, temperatura, coliformes totales, coliformes termotolerantes, radiación solar.

## ABSTRACT

The objective of this investigation was to evaluate the SODIS method in the disinfection of water for domestic use in the community of Yanacoto, district of Lurigancho-Chosica. There were collected samples of 2 500ml in plastic bottles PET (polyethylene of ethylene) those bottles were clean, transparent and did not show scratches or external aging. To determinate the efficiency of SODIS, the bottles were exposed to the sun by placing them on the roof. The time of exposure was 6 hours in order to follow the Meierhofer and Wegelin guide to solar disinfection application (2003). Physicochemical parameters were determined: pH, temperature, dissolved oxygen, electrical conductivity and total dissolved solids, as well as microbiological parameters (total coliforms, thermo tolerant coliforms and *Escherichia coli*). The analysis were carried out as pre-application and post-application of the SODIS method. The results were compared with the current Peruvian Norm of quality of potable water (D.S 031-2012 / MINSA). The physicochemical parameters before and after the application of SODIS did not present significant differences, being within the maximum permissible limits. In terms of microbiological parameters, the SODIS method reduced a 100% of the concentration of total coliforms (from 17 NMP / 100 mL to <1.8 NMP / 100 mL), thermo tolerant coliforms (from 63 NMP / 100 mL to <1.8 NMP / 100 mL) and *Escherichia coli* (from 48 NMP / 100 mL to <1.8 NMP / 100 mL). According to the Peruvian Norm of quality for potable water. Therefore, solar disinfection is effective in inactivating total coliforms, thermo tolerant coliforms and *Escherichia coli*.

**Keywords:** Solar disinfection, temperature, total coliforms, thermo tolerant coliforms, solar radiation.

## INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento útil para todos los usos domésticos, incluida la higiene personal, de ahí la importancia de que todos deben disponer de un abastecimiento satisfactorio (suficiente, salubre y accesible) (Rodríguez et al., 2009). Este recurso, en suficiente cantidad y de buena calidad, es esencial para la vida.

A principios del año 2000, la sexta parte de la población mundial, es decir, más de mil millones de personas, no tenía acceso a un abastecimiento mejorado de agua potable y muchas más personas carecían de acceso a agua segura. Solo en América Latina y en el Caribe, de acuerdo con el informe de la OPS en el año 2000, existen más de 76 millones de personas sin acceso a agua segura y, al menos, 130 millones de personas en América Latina que necesitan mejorar la calidad del agua que toman (Meierhofer y Wegelin, 2003). Para el caso del Perú, según el Organismo Panamericano de la Salud, (OPS, 2005) el 81% de la población del Perú tiene acceso al agua potable, mientras que los servicios de saneamiento alcanzan al 62% de los habitantes. Sin embargo, un desagregado de estos porcentajes nos da una idea más clara de la realidad en las zonas rurales, en las que solo un 66% tiene acceso a agua potable y no más del 33% a servicios de saneamiento, con los problemas adicionales de que un gran porcentaje de la población es abastecida intermitentemente y con sistemas de almacenamiento inadecuados.

Dentro de este marco, son muchas las comunidades en el mundo que no tienen acceso al agua potable o simplemente carecen de agua segura (Garrido *et al.*, 2013), incluido el Perú. La falta de una buena calidad de agua es debido a que este recurso puede ser vehículo de transmisión de microorganismos causales de diferentes enfermedades (Herrero *et al.*, 2002), presentando peligros microbiológicos y siendo la principal preocupación, tanto de los países desarrollados como de los países en desarrollo (Rodríguez et al., 2009).

La calidad microbiológica del agua para consumo humano es de importancia primaria (Fuentes *et al.*, 2007), así como el monitoreo de un indicador bacteriano, como el coliforme total y el coliforme termotolerante deben tener la más alta prioridad (OPS 2009), además de estar asociados al tracto intestinal, de manera que su presencia en las aguas indique contaminación fecal (Powell *et al.*, 2015).

La presencia de coliformes termotolerantes en el agua es un indicio de contaminación fecal y, por consiguiente, una alta posibilidad de que estén presentes también organismos patógenos (Sierra, 2011; Doran & Linn, 1979; Thelin & Gifford, 1983). Es por ello que este grupo es un indicador muy empleado para evidenciar la contaminación microbiana del agua (Madigan et al. 2009; Sierra 2011; Laws 1981) que pueda representar una amenaza potencial a la salud pública, esto podría indicar que la desinfección no fue suficiente para eliminar todos los organismos patógenos asociados con los desperdicios de origen humano (De Sousa *et al.*, 2008), un mal tratamiento o que hubo una contaminación posterior a su tratamiento. Otro indi-

cadore es la *Escherichia coli*, donde su presencia es signo de contaminación por materia fecal de origen humano o animal.

Ante esta problemática, existe el riesgo de contraer enfermedades transmitidas por una mala calidad de agua (Meierhofer y Wegelin, 2003), y suelen ser frecuentes en todo el mundo. Estas ocurren por diferentes causas, producto de la falta de un tratamiento correcto del agua o por contaminación en las redes de distribución (Eish et al., 2006; Goi et al., 2005; Romero 1999). Así, desde el año 1993 se han descrito más de 20 enfermedades, algunas de ellas con alto impacto en términos de morbilidad y mortalidad, en cuya aparición la calidad del agua incide directa o indirectamente (Sánchez 1996).

De acuerdo a la normativa peruana mediante el Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano (D.S N° 031-2010-SA), establecido en el año 2010 por el Ministerio de Salud (MINSA) mediante la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), así como normas internacionales (OMS), mencionan que el agua es apta para consumo si se encuentra exenta de microorganismos, donde los coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* deben estar ausentes o ser no detectables.

Las aguas destinadas a consumo humano deben recibir tratamientos previos establecidos según su calidad inicial (Soria et al., 2006), además, que tengan una aplicación doméstica (Meierhofer y Wegelin, 2003), y pueden brindar un agua segura y libre de microorganismos patógenos. Es por ello que se vuelve muy interesante el uso de la energía solar como base de procesos sostenibles en regiones de escaso desarrollo socioeconómico. Dicho tratamiento es la desinfección solar, conocido como SODIS (acrónimo de Solar Disinfection) que es una solución simple, de bajo costo y ambientalmente sostenible para el tratamiento de agua destinada al consumo humano a nivel doméstico (Andino y Lorenzana, 2004). El método SODIS usa la energía solar para destruir los microorganismos patógenos que causan enfermedades transmitidas por el agua y, de esa manera, mejora la calidad del agua utilizada para el consumo humano. Los microorganismos patógenos son vulnerables a dos efectos de la luz solar: la radiación y el calor (incremento de la temperatura del agua). Se produce una sinergia entre estos dos efectos, ya que el efecto combinado de ambos es mucho mayor que la suma de cada uno de ellos independientemente. Esto implica que la mortalidad de los microorganismos se incrementa cuando están expuestos a temperatura elevada y a radiación solar simultáneamente (Andino y Lorenzana, 2004).

Estudios realizados por Basualdo et al., (1996); Pumarola et al., (1988); Gleesson et al., (1997) muestran la reducción del 99.9% de microorganismos como *Enterococcus faecalis*, *Pseudomonas* y *Aeruginosa*, después de 8 horas de exposición. La reducción de Colifagos F-RNA fue de un 89% en días despejados y *Escherichia coli* fue del 100 % con 4 horas de exposición (Grabow et al. (1990); Taylor, (1982) y Tartera et al. (1988). La inactivación de *Vibrio cholerae* fue de un 100% con 6

horas de exposición al sol y con temperatura constante de 30° C. Según Meierhofer y Wegelin, (2003) para inactivar un 100% de coliformes termotolerantes se necesita 5 horas de exposición.

SODIS es ideal para desinfectar pequeñas cantidades de agua con una turbiedad menor de 30 UNT, se llenan con agua contaminada, botellas de plástico transparente, las cuales se exponen a la luz solar durante seis horas. La exposición al sol destruye los microorganismos patógenos. Cuando la nubosidad es mayor del 50 %, es necesario exponer las botellas de plástico durante dos días consecutivos para obtener agua segura destinada al consumo humano (Andino y Lorenzana, 2004). Sin embargo, si la temperatura del agua supera los 50 °C, una hora de exposición es suficiente para obtener agua segura. Es posible mejorar la eficacia del tratamiento si las botellas de plástico se exponen a la luz solar mediante superficies reflectoras como láminas de aluminio. Es por ello que, según Meierhofer y Wegelin (2003), en una investigación realizada en Bolivia, se comprobó que al utilizar bandejas de aluminio, hubo una mayor efectividad en la inactivación de microorganismos, pasando de un 89%, en las botellas directamente expuestas sobre la calamina, a un 99% con las bandejas de aluminio que funcionan como reflectores en días despejados.

Asimismo, de acuerdo al estudio publicado por Encinas e Iriarte (2003), en donde se evaluó la eficiencia del método en tres regiones de Bolivia (valle, trópico y altiplano), no se encontraron diferencias significativas de la eficiencia de SODIS con relación a la altura (500 msnm, 2500 msnm, 3800 msnm), sino más bien se comprobó que la eficiencia del método dependió exclusivamente de las condiciones climáticas, presentando los siguientes índices: 100% de efectividad para días totalmente despejados, 99.78% para días parcialmente nublados y 89% para días completamente nublados. (Encinas e Iriarte, 2003).

Sin embargo, a pesar de lo interesante del método y de sus escasos requerimientos, SODIS no ha alcanzado popularidad extendida. La razón es que hay demasiadas variables que condicionan su eficiencia y la eventual seguridad del agua tratada. La latitud geográfica, la estación, el número de horas de exposición, la hora, las nubes, la temperatura; el tipo, el volumen y el material de los envases que contienen el agua; la turbiedad de agua y el color son, entre otros, los parámetros que podrían interferir en una desinfección perfecta (WHO, 2006).

La comunidad de Yanacoto no cuenta con agua potable provista por la Compañía de Agua y Alcantarillado para Lima, sin embargo, el sistema de abastecimiento es mediante un pozo; debido a la situación geográfica y por la ubicación de la comunidad que está en las faldas de un cerro, el pozo se encuentra en la parte superior de la comunidad y abastece, a la población, mediante un sistema por gravedad. Mediante análisis microbiológicos, se ha encontrado la presencia de coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*, lo que indica una contaminación en la fuente de agua.

Es por ello que el propósito de esta investigación consistió en evaluar el uso de la energía solar empleando el método SODIS en la desinfección del agua para abastecimiento de familias en la comunidad de Yanacoto, distrito de Lurigancho-Chosica, región de Lima Metropolitana. Este método se presenta como versátil e innovadora herramienta para desinfección de agua para una comunidad desprovista de agua potable, basándose en una metodología sencilla, de bajo costo y que esté al alcance de todos, y cuyo propósito es que pueda ser utilizada como alternativa para obtención de agua potable segura.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Yanacoto es una comunidad que se encuentra localizada en el distrito de Lurigancho – Chosica, departamento de Lima (Figura 1). Aproximadamente a 3 km de la ciudad de Chosica, y a 35 km de la ciudad de Lima. El punto de muestreo está ubicado en las coordenadas S  $11^{\circ} 56.625'$  y H O  $76^{\circ} 43,564'$ , con una altitud de 951 msnm. La comunidad se encuentra en el valle del río Rimac, en la cuenca media de dicho río, entre dos cadenas de formaciones montañosas ramificadas en zonas con pendientes pronunciadas en los alrededores. La temperatura a lo largo del año varía, teniendo temperaturas máximas de  $32^{\circ}\text{C}$  en los meses de verano y temperaturas mínimas de  $13^{\circ}\text{C}$  en invierno, teniendo un clima seco y templado.

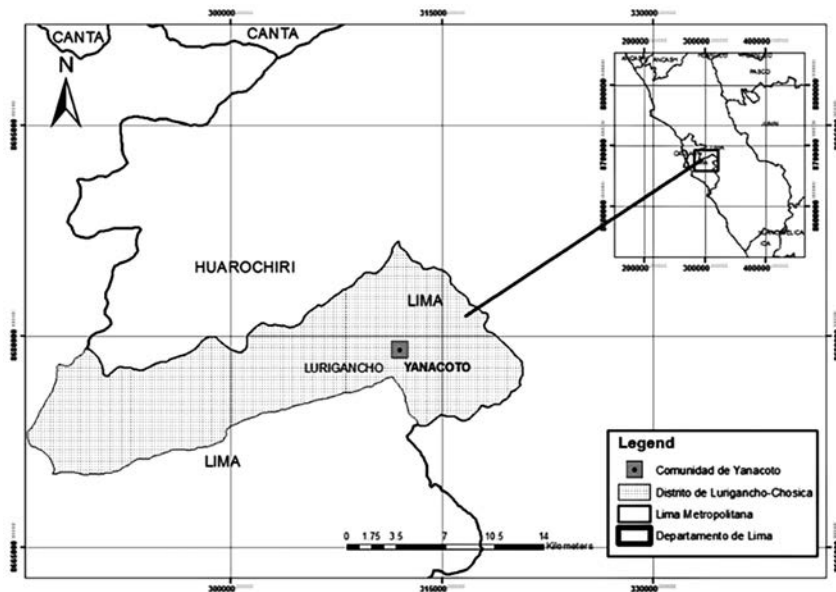


Figura 1. Mapa de ubicación de la comunidad de Yanacoto.

Se recolectó manualmente una muestra de agua, del tanque de almacenamiento de una familia de la comunidad de Yanacoto que tiene una capacidad de 1 100 L. La recolección se llevó a cabo en frascos de vidrio estériles, los cuales se rotularon.

Posteriormente, se preservaron a una temperatura de 4°C en un tiempo establecido no mayor a 24 horas para su análisis, de acuerdo a la norma peruana R.D 2254-2007 DIGESA/SALUD (Tabla 1) y la Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano (OPS, 2002).

Para realizar el diagnóstico de la calidad microbiológica del agua, se tomaron como parámetros microbiológicos: coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia Coli* (Tabla 1). Para la estimación de la densidad bacteriana se utilizó el método del Número Más Probable NMP/100 ml, según el Sthandard Methods for the examination of wáter and wastewater (APHA 2012).

**Tabla 1**  
*Parámetro y metodología empleada en el análisis microbiológico.*

Parámetros	Forma de preservación	Tiempo máximo de análisis	Método
Coliformes totales	Refrigerar a 4°C	6 – 24 horas	Fermentación por tubos múltiples (NMP)
Coliformes termotolerantes	Refrigerar a 4°C	6 – 24 horas	Fermentación por tubos múltiples (NMP)
Escherichia Coli	Refrigerar a 4°C	24 horas	Fermentación por tubos múltiples (NMP)

Protocolo de Monitoreo de la Calidad Sanitaria de los Recursos Hídricos (R.D 2254-2007 –DIGESA/SA)

La calidad de agua se interpretó siguiendo la legislación vigente en el Perú, mediante el reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano establecido por el Ministerio de Salud (MINSa) y la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), mediante el D.S N° 031-2010-SA, estableciendo los Límites Máximos Permisibles de parámetros microbiológicos (Tabla 2).

**Tabla 2**  
*Límites Máximos Permisibles de bacterias en el agua.*

Parámetros	Límite Máximo Permisible
Coliformes totales	< 1,8 NMP/100 ml
Coliformes termotolerantes	< 1,8 NMP/100 ml
Escherichia Coli	< 1,8 NMP/100 ml

Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano (D.S N° 031-2012/SALUD)

Para la aplicación del método SODIS, los envases de recolección de agua fueron botellas de plástico PET (politereftalato de etileno), debido a que contienen muchos menos aditivos que las botellas de PVC y son más resistentes a temperaturas elevadas (Meierhofer y Wegelin, 2003). Las botellas estaban limpias y transparentes, y tenían una capacidad de 2 500 ml. Asimismo, no presentaron rayaduras ni envejecimiento externo, debido a que las botellas desgastadas y con rayaduras producen una reducción de la transmisión de radiación UV-A y una inactivación menos eficaz de los microorganismos (Meierhofer y Wegelin, 2003). Posteriormente, se procedió a llenar los envases con agua del tanque de la familia seleccionada para la aplicación del método SODIS.

Para determinar la eficiencia del SODIS, las botellas se expusieron al sol, colocándolas en un lugar donde no haya sombra y estén expuesta al sol todo el día. El lugar designado fue el techo y el tiempo de exposición fue de 6 horas, abarcando desde las 9:00 am hasta las 3:00 pm, siguiendo lo expresado en la guía de aplicación de desinfección solar de Meierhofer y Wegelin (2003). Asimismo, las botellas se colocaron sobre bandejas de aluminio que cumplen la función de superficies reflectoras, para mejor efectividad en la inactivación de microorganismos (Navarro, 2004).

Antes de la aplicación del método SODIS, y pasada las seis horas de aplicación, se realizó la medición de parámetros in-situ, en el agua, como: pH, temperatura del agua y oxígeno disuelto (OD), así como algunos parámetros fisicoquímicos: conductividad eléctrica (CE) y sólidos disueltos totales (TDS), según la norma peruana para protocolos de monitoreo: R.D 2254-2007 DIGESA/SALUD; obteniéndose dos resultados: preaplicación y postaplicación. Asimismo, después de la medición, se procedió a la comparación con la normativa peruana para calidad de agua apta para el consumo humano: D.S N.º 031-2012/SALUD. En la Tabla 3 se muestra los parámetros analizados y sus respectivos límites máximos permisibles.

**Tabla 3**  
*Límites Máximos Permisibles de calidad fisicoquímica en el agua.*

Parámetros	Unidad de medida	Límites Máximos Permisibles
pH	Valor de pH*	6,5 – 8,5*
T° del agua	C°	-
Oxígeno disuelto	mg/L	-
Conductividad eléctrica	µmho/cm*	1 500*
Sólidos disueltos totales	mg/L*	1 000*

\*Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano (D.S N° 031-2012/SALUD)



Asimismo, después de las seis horas de aplicación del método, se procedió a determinar los parámetros microbiológicos respectivos para la calidad del agua; para ello se tomaron parámetros como: coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*, y se compararon con la normativa peruana sobre la calidad de agua apta para el consumo humano: D.S N.° 031-2012/SALUD, mostrada en la Tabla 2.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis microbiológico del tanque de almacenamiento de la muestra analizada, perteneciente a la familia seleccionada para evaluar la eficiencia del método SODIS, fueron los siguientes: el recuento de coliformes totales fue de 17 NMP/100 ml, para la prueba de coliformes termotolerantes el resultado fue de 63 NMP/ 100 ml, finalmente para *Escherichia Coli*, fue de 48 NMP/100 ml (Tabla 4).

En la Figura 2 se muestra el recuento de los parámetros microbiológicos analizados, tanto coliformes totales como coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*, donde se puede observar que se obtuvo un mayor recuento en coliformes termotolerantes.

**Tabla 4**  
Resultados de coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*.

Parámetros	Muestra	Límite Máximo Permissible
Coliformes totales	17 NMP/100 ml	< 1,8 NMP/100 ml*
Coliformes termotolerantes	63 NMP/ 100 ml	< 1,8 NMP/100 ml*
<i>Escherichia Coli</i>	48 NMP/ 100 ml	< 1,8 NMP/100 ml*

\*Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano (D.S N° 031-2012/SALUD)

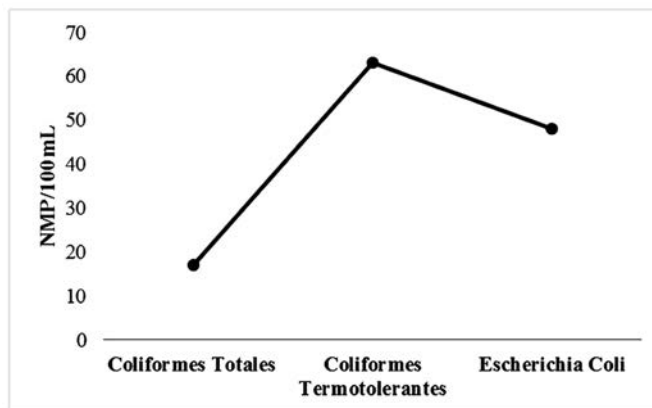


Figura 2. Gráfico de los valores obtenidos de los parámetros microbiológicos.

Los valores correspondientes a los parámetros fisicoquímicos *in situ* se muestran en la Tabla 5 y la Figura 3. Se puede observar que el pH preaplicación y postaplicación del método SODIS es ligeramente alcalino, alcanzando 8,3 y 8,2 respectivamente, cumpliendo con el límite máximo permisible exigido por la norma sanitaria de agua para consumo humano que es de 8,5.

En cuanto a los valores de temperatura, se midió este parámetro físico, debido a que existe una sinergia entre la radiación UV-A y la temperatura del agua, siendo la temperatura un elemento clave en la inactivación de microorganismos patógenos presentes en el agua (Meierhofer y Wegelin, 2003). La temperatura inicial en el agua fue de 22.5° y la temperatura final, pasadas 6 horas de aplicación del método SODIS, llegó a 31.9°, esto indica que a medida que transcurría el tiempo de exposición, la temperatura se iba incrementando, observándose en la disminución de coliformes totales, termotolerantes y *Escherichia coli* en función del tiempo, debido a la acción en conjunto del aumento de la temperatura del agua en la botella y los efectos de los rayos solares, la disminución fue hasta que la concentración de coliformes y *E. coli* fue nula (< 1.8 NMP/100 ml).

Con respecto al Oxígeno Disuelto (OD), se alcanzó valores preaplicación de 4 mg/L y postaplicación de 2.5 mg/L, habiendo una pequeña reducción, así también, para este parámetro la norma sanitaria no lo considera como un indicador de la calidad del agua para consumo humano, incluso la EPA y la OMS, tampoco recomiendan valores para el oxígeno disuelto.

La conductividad eléctrica se mantuvo en un mismo índice, tanto en la preaplicación como en la postaplicación del método, siendo de 720  $\mu\text{mho/cm}$ , estando por debajo del límite máximo permisible que es 1500  $\mu\text{mho/cm}$ . Así también, en los sólidos disueltos totales, solo hubo una ligera variación de 340mg/L a 350 mg/L, entre la preaplicación y postaplicación de SODIS.

**Tabla 5**

*Parámetros físicos de muestras de agua antes y después de la aplicación del método SODIS.*

Parámetros	Preaplicación	Postaplicación	Límites Máximos Permisibles
pH	8,3	8,2	6,5 – 8,5*
T° del agua	22,5°	31,9°	-
Oxígeno disuelto	4,0 mg/L	2,5 mg/L	-
Conductividad eléctrica	720 $\mu\text{mho/cm}$	720 $\mu\text{mho/cm}$	1 500 $\mu\text{mho/cm}$ *
Solidos disueltos totales	340 mg/L	350 mg/L	1 000 mg/L*

\* Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano (D.S N° 031-2012/SALUD)

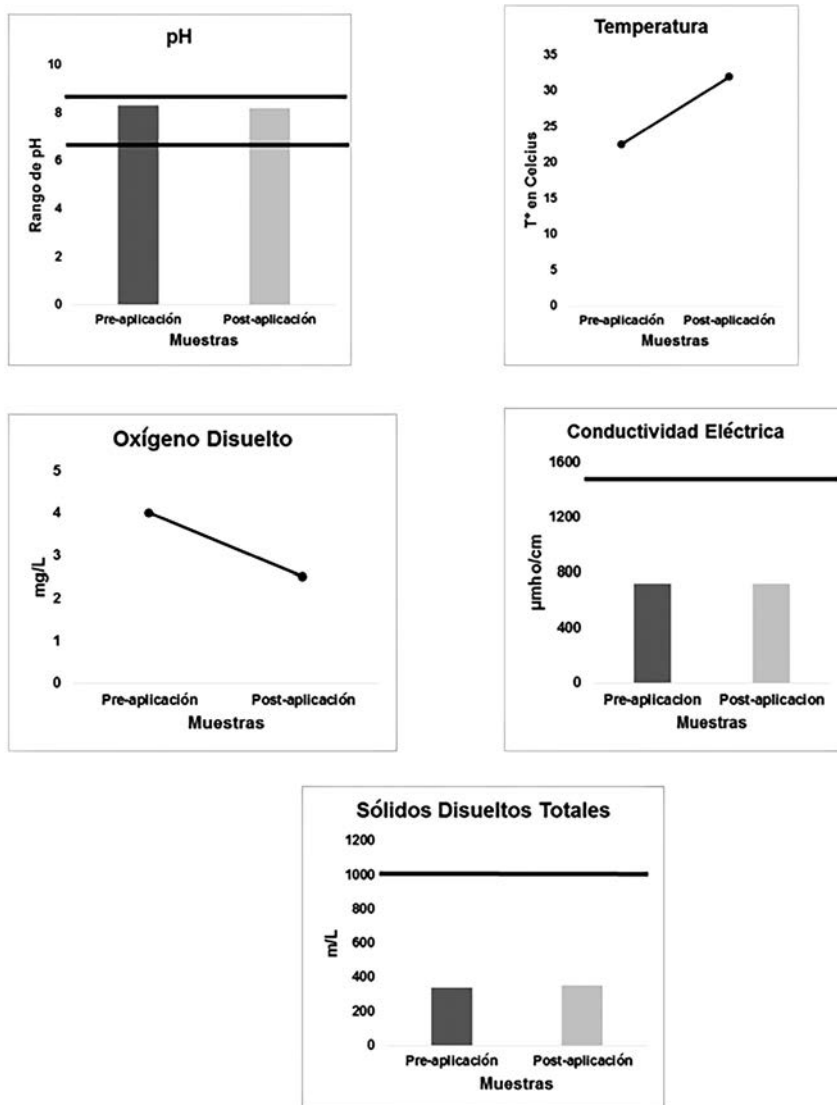


Figura 3. Gráfico de los valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos.

En la Tabla 6 se muestra los resultados obtenidos, después de exponer la muestra de agua a la radiación solar. Se puede observar que hubo una reducción total de coliformes totales, coliformes totales y *Escherichia coli*, siendo el resultado post – aplicación menor a 1,8 NMP/100 ml, cumpliendo con la normativa peruana, donde indica que el agua para consumo humano debe estar libre del grupo coliforme y *Escherichia coli*.

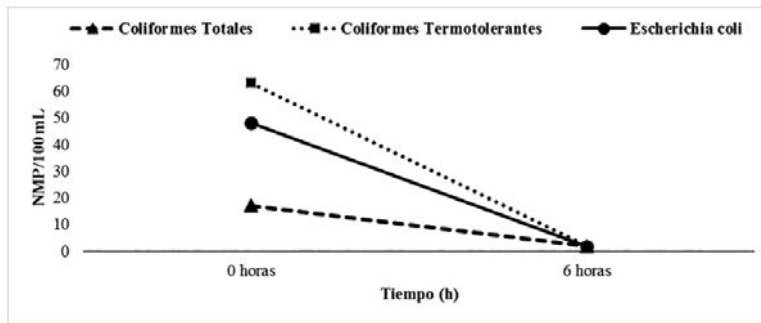
**Tabla 6**

*Parámetros microbiológicos de muestras de agua antes y después de la aplicación del método SODIS.*

Parámetros	Preaplicación	Postaplicación	Límite Máximo Permisible
Coliformes totales	17 NMP/100 ml	< 1,8 NMP/100 ml*	< 1,8 NMP/100 ml*
Coliformes termotolerantes	63 NMP/ 100 ml	< 1,8 NMP/100 ml*	< 1,8 NMP/100 ml*
Escherichia Coli	48 NMP/ 100 ml	< 1,8 NMP/100 ml*	< 1,8 NMP/100 ml*

\*Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano (D.S N° 031-2012/SALUD)

La Figura 4 muestra la reducción y eliminación de los parámetros microbiológicos analizados, después de exponer las muestras de agua a radiación solar, pasado las 6 horas. Se puede apreciar que para los 3 parámetros microbiológicos hubo una reducción total, cumpliendo con la norma peruana para la calidad de agua de consumo humano (D.S 031-2012/SALUD).



*Figura 4.* Disminución de coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* aplicando el método de desinfección solar (SODIS).

## CONCLUSIONES

El método SODIS mostró ser un proceso muy eficiente de inactivación de coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* en la comunidad de Yanacoto, distrito de Lurigancho - Chosica. Esto debido a que al término de 6 horas de exposición, a la radiación solar, la densidad bacteriana fue menor a 1,8 NMP/100 ml, cumpliendo con el Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano (D.S 031-2010/SALUD). El factor más importante que influyó en la eficiencia del proceso fue el clima. Bajo condiciones climáticas ideales (día totalmente despejado), y un periodo de 6 horas de exposición, se ha visto que se llega a obtener 100 % de eficiencia y, por ende, la eliminación total de los parámetros microbiológicos analizados. Asimismo, la desinfección solar no alteró los parámetros fisicoquímicos del

agua potable, produciéndose mínimas diferencias en sus valores, y estando dentro de los Límites Máximos Permisibles, según la norma peruana para calidad de agua potable.

Por lo tanto, el método por desinfección solar (SODIS) resulto, ser efectivo un 100% en la remoción e inactivación de microorganismos patógenos, además, es un método de bajo costo, está al alcance de todos, y puede ser utilizado como alternativa para obtención de agua potable segura.

## Referencias

- American Public Health Association (APHA)(2012), *American water works asociation (AWWA) Water environment federation (WEF)*. Sthandard Metods for the examination of wáter and wastewater. 22nd edition. Washington D.C. ISBN: 978-087553-013-0
- Andino J and Lorenzana C. (2004). "Aplicación del método de desinfección solar (sodis) del agua utilizada a nivel doméstico en el caserío cerro partido, Chalatenango". [Tesis]. San Salvador. Universidad de El Salvador. Facultad de Química y Farmacia. 132 p.
- Basualdo J, Coto C, Torres R. (1996). *Microbiología biomédica*. Ed Atlante S.R.L. Buenos Aires: Argentina.
- De Sousa C, Colmenares M, Correia A. (2008). Contaminación bacteriológica en los sistemas de distribución de agua potable: Revisión de las estrategias de control. *Boletín de malariología y salud ambiental* 48(1): 17-26 pp.
- Doran, J. Linn D. (1979). *Bacteriological quality of runoff water from pastureland*. Appl. Environ. Microbiol. 37(1): 958-991 pp.
- Eish Y, Wells M. (2006). *Assessing the trihalomethane formation potential of aquatic fulvic and humic acids fractionated using thin-layer chromatography*. J Chromatogr. 1116: 272-276.
- Encinas, J.; Iriarte, M.. 2003. Evaluación de la Eficiencia del Método SODIS en la inactivación de Coliformes Termotolerantes en tres regiones de Bolivia ( Valle, Trópico y Altiplano). Facultad de Ciencias y Tecnología. *Serie de Publicaciones Técnicas* 1 (5): 21-24 pp.
- Fuentes A, Campas O, Aguilar G, & Meza M. (2007). Calidad microbiológica del agua de consumo humano de tres comunidades rurales del sur de Sonora (México). *Revista de Salud Publica y Nutricion*. 8(3): 1-13 pp.
- Garrido I, Fernandez R and Storaci V. (2013). Evaluación del método "SODIS" en la desinfección del agua para abastecimiento en La Guadalupe, Chirgua, municipio de Bejuma del estado Carabobo. *Revista Ingeniería UC*. 20 (2): 29-38 pp.
- Gleeson, C, Gray N. (1997). *The coliform index and waterborne disease* chapman &Hall London. 102-107 pp.
- Goi D, Tubazo F, Barbone F, Dolcetti G, Bontempelli G. (2005). *Evaluation of chlorinated byproducts in drinking waters of Central Friuli (Italy)*. 6: 17-27.
- Grabow. 1990. *Microbiology of drinking water treatment reclaimed wastewater*. Ed. Springer-Verlag. London

- Herrero M, Iraman M, Korol S, Buffoni H, Flores M, Maldonado M, Sardi V, Fortunato M. 2002. Calidad de agua y contaminación en tambos de la cuenca lechera de abasto sur, Buenos Aires (Argentina). *Rev.Arg.Prod.Anim.* 22(1): 61-71 pp.
- Laws E. 1981. *Aquatic Pollution*. Wiley, Nueva York, 482 p.
- Meierhofer, R y Wegelin, M. (2003). "*Desinfección solar del agua guía de aplicación*". Guía SODIS aspectos técnicos, aplicación en campo y metodología. Segunda edición, apoyado por UNICEF, AIDIS, PAS-BM, COSUDE, RRAS-CA. *Manual. Fundación SODIS*. 84 pp.
- Navarro L. 2004. Determinación de la eficiencia del método SODIS en la inactivación de *Escherichia coli* y Colifagos. *Tesis*, Universidad Mayor de San Simón, Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental, Carrera de Biología.
- OPS (Organización Panamericana de la Salud). 2009. *Guía técnica sobre saneamiento, agua y salud*.
- Powell P, Litter M, Blesa M and Apella M. 2015. *Desinfección solar de aguas por fotólisis y fotocátalisis: aplicación en Tucumán*, Argentina. UNSAM. 2: 27-44 pp. ISSN: 987-22523-0-0
- Pumarola A, Rodríguez A, García J and Piedrola G. 1988. *Microbiología y parasitología médica 2 ed* Ed Salvat S.A. Barcelona.
- Rodríguez N, Rojas P, Romero K & Rueda Z. 2009. Estudio microbiológico de la calidad de agua suministrada a la población de Sebastián Pagador en el año 2008. *Revista Científica Ciencia Médica*. 12(1): 10-13 pp.
- Romero J. 1999. *Calidad del agua 2 Ed*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sanchez R. 1996. *Water quality problems in nogales*, Sonora. *Environ Health Perspect*; 103: 93-97.
- Sierra C. 2011. *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. Medellín: Ediciones de la Universidad de Medellín. 457 p. ISBN: 978-958-8692-06-7
- Solarte Y, Salas M, Sommer B, Dierolf C, Wegelin M. 1997. Uso de la radiación solar (UV-A y temperatura) en la inactivación del *Vibrio cholerae* en agua para consumo humano. Factores que condicionan la eficiencia del proceso. *Colombia Médica*. 28(3): 123-129 pp.
- Soria M, Powell P and Apella M. 2006. *Aguas tratadas por fotólisis y fotocátalisis heterogénea para inactivación bacteriana*. Organización de los Estados Americanos (OEA) and Agencia Interamericana para la Cooperación y Desarrollo (AICD). 39 -50 pp.
- Tartera C., Boscha. and Jofre J. 1988. The inactivation of bacteriophages infecting *Bacteroides fragilis* by chlorine treatment and U.V. irradiation. U.S.A. F.E.M.S. *Microbiology Letters*: 56: 315-316 pp.
- Taylor, G.R. (1982). *The effect of disinfectants on picornavirus structure and infectivity*. In "*Viruses and disinfection of water and wastewater*", Ed. BUTLER M. MEDLEN A.R. and MORRIS R. Guilford University of Surrey. 289-297 pp.
- Thelin, R. Gifford G. 1983. *Fecal coliform release patterns from fecal materials of cattle*. *J. Environ. Qual.* 12:57-63 pp.
- World Health Organization. *Water sanitation health*. 2006.