

## SISTEMA DE DESINFECCIÓN DE AGUA DE LLUVIA POR RADIACIÓN SOLAR A ESCALA DOMÉSTICA PARA COMUNIDADES VULNERABLES

Lopolito M.F., Rossen A.A., Sanmartin R.A., Mena O.G., El Kassisse Y., Reale M.G., Díaz N.S., Marquina L.V., Calvo D., Ramírez M. y Vera N.Y.

Instituto Nacional del Agua (INA) AU Ezeiza Cañuelas, tramo J. Newbery km 1,620, Ezeiza - Bs. As - Argentina  
[mflopolito@ina.gob.ar](mailto:mflopolito@ina.gob.ar) ; [arossen@ina.gob.ar](mailto:arossen@ina.gob.ar) ; [rocioailensanmartin@gmail.com](mailto:rocioailensanmartin@gmail.com) ; [omena@ina.gob.ar](mailto:omena@ina.gob.ar) ; [yelkassisse@ina.gob.ar](mailto:yelkassisse@ina.gob.ar) ;  
[mreale@ina.gob.ar](mailto:mreale@ina.gob.ar) ; [ndiaz@ina.gob.ar](mailto:ndiaz@ina.gob.ar) ; [lmarquina@ina.gob.ar](mailto:lmarquina@ina.gob.ar) ; [dcalvo@ina.gob.ar](mailto:dcalvo@ina.gob.ar)

### Introducción

En 2010 la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente por Resolución 64/292 que el derecho al agua potable y el saneamiento es un “derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida”, exhortando a los Estados y las organizaciones internacionales a que proporcionen recursos financieros y propicien el aumento de la capacidad y la transferencia de tecnología, en particular a los países en desarrollo, para el acceso económico al agua potable y el saneamiento (ONU, 2010). El Censo Nacional de 2010 indica que 2,6 millones de personas habitan en zonas rurales dispersas con déficit en el acceso a servicios básicos. El Informe de coyuntura sobre acceso e igualdad al agua y al saneamiento del Ministerio de Obras Públicas de la Nación (MOP) indica que “para las áreas rurales es necesario considerar modelos alternativos de cobertura, particularmente para zonas rurales dispersas, ya que la dispersión imposibilita la construcción de redes centralizadas”. A nivel nacional 20,1% de la población no accede al agua potable o segura, y en zonas rurales dispersas este valor asciende a 37,6% (MOP, 2021).

Se presenta aquí una tecnología de tratamiento como respuesta a la necesidad de acceso al agua segura para consumo de comunidades vulnerables sin posibilidad de conexión a redes de abastecimiento convencionales, por no resultar una alternativa económicamente viable.

### Materiales y métodos

SODIS (*Solar Disinfection*) es un método simple de tratamiento de agua empleado por más de 4 millones de personas en el mundo y recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) que permite eliminar microorganismos patógenos presentes en el agua por radiación solar, en botellas PET. A temperaturas superiores a 45°C, un fuerte efecto sinérgico de la temperatura y la radiación UV acelera significativamente el proceso de desinfección (Meierhofer, 2002).

A pesar de que el sistema SODIS es efectivo, requiere de elevado tiempo de exposición para lograr desinfección adecuada, por lo que resulta necesario utilizar dispositivos que incrementen la eficiencia del sistema. Los concentradores, son dispositivos que aumentan la energía enfocando los rayos del sol en una región focal. Diferentes validaciones de este método indican que superando los 50 °C en el agua las bacterias y demás patógenos son removidos. La bibliografía refiere diversos tipos de dispositivos construidos a partir de materiales que permiten la transferencia de calor y concentran los rayos UV para maximizar la eliminación de agentes patógenos, por lo que se debe prestar atención al tipo de material reflejante que se utilice (González, 2017).

Este proyecto desarrolla y valida un Concentrador Parabólico Compuesto (CPC) de bajo impacto ambiental, económico y de fácil operación por el usuario, para la desinfección natural y producción de agua segura para consumo a partir de agua de lluvia a escala doméstica.

Desde el punto de vista constructivo el CPC ensayado posee una base de plástico sobre la que se colocó una lámina reflectora de material vinil brillante y adherente. Posee una tapa de PVC con

un cierre que asegura hermeticidad del sistema y simula el efecto invernadero por sus características de transparencia. El recipiente que contiene el agua es de material PET de 6 L de capacidad (Figura 1).



Figura 1.- Dispositivos utilizados para la desinfección de agua de lluvia

Los ensayos realizados consistieron en la exposición del sistema a la radiación solar en tiempos de 4, 24, 48 y 72 hs. y posterior toma de muestras del agua de lluvia sin tratar y tratada. Las técnicas analíticas empleadas en el laboratorio para la determinación de los parámetros generales, fisicoquímicos y microbiológicos realizados se presentan en la Tabla 1 y corresponden a métodos recomendados por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SM) (APHA, 2017), International Standard Organization (ISO, 2006) y U.S. Food and Drug Administration (FDA, 1998).

Tabla 1.- Técnicas analíticas empleadas

Parámetro	Técnica Analítica
pH	SM 23 <sup>rd</sup> 4500-H <sup>+</sup> -B
Conductividad	SM 23 <sup>rd</sup> 2510-B
Turbidez	SM 23 <sup>rd</sup> 2130-B
Carbono Orgánico Total-COT	SM 23 <sup>rd</sup> 5310-B
Fósforo total	SM 23 <sup>rd</sup> 4500-P-B y E
Alcalinidad	SM 23 <sup>rd</sup> 2320-B
Cloruros	SM 23 <sup>rd</sup> 2340-B
Dureza	SM 23 <sup>rd</sup> 4500-Cl <sup>-</sup> -B
Sulfatos	SM 23 <sup>rd</sup> 4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -E
Nitrógeno de Nitratos	SM 23 <sup>rd</sup> 4500-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -B
Nitrógeno de Nitritos	SM 23 <sup>rd</sup> 4500-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -B
Nitrógeno total	TOC Shimadzu LCPN (NT)
Sólidos Disueltos Totales	SM 23 <sup>rd</sup> 2540-C
Sólidos Totales	SM 23 <sup>rd</sup> 2540-B
Coliformes totales	SM 23 <sup>rd</sup> 9221-A, B
<i>Escherichia coli</i>	SM 23 <sup>rd</sup> 9221-E y F
Bacterias Aerobias Mesófilas-BAM	SM 23 <sup>rd</sup> 9215
Hongos y levaduras	FDA BAM Media M133
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	ISO 16266:2006

Las determinaciones analíticas se realizaron dentro de las 24 hs. de tomadas las muestras de agua.

Para el seguimiento de la eficiencia del proceso de desinfección se enfatizó especialmente en los resultados de los parámetros microbiológicos obtenidos.

### Resultados

Se analizó la calidad inicial del agua de lluvia almacenada en un sistema cerrado (SC) consistente en un tanque tricapa y su variación en el tiempo. Asimismo, se evaluó un sistema abierto (SA) de recolección directa y almacenamiento de agua de lluvia, con pretratamiento a través de filtros de celulosa y gasa para retener material grueso y materia orgánica en suspensión.

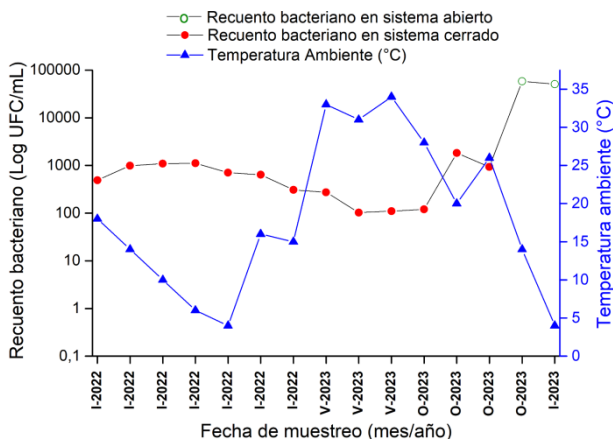


Figura 2.- Recuento bacteriano de agua almacenada en SC y SA

La Figura 2 presenta la variación en el recuento BAM durante el tiempo de almacenamiento SC y SA del agua sin tratar en función de la temperatura promedio ambiental diaria correspondiente a los días de toma de muestras. Los valores de BAM en el agua almacenada en SC oscilaron en el rango 100 a aproximadamente 18.000 UFC/mL. Además, de los 13 ensayos realizados a tiempo inicial, el 50% de las muestras superaron el valor límite establecido en el Código Alimentario Argentino (CAA) para agua potable (<500 UFC/mL. BAM) (CAA, 2007). En la misma figura se observan recuentos superiores a 4.000 UFC/mL. en SA, con calidad inferior del agua almacenada. Los valores de recuento para el SC se mantienen relativamente constantes en el tiempo, independientemente de las variaciones de temperatura ambiente, infiriendo que el almacenamiento de agua de buena calidad en condiciones controladas permite mantener sus características por tiempo prolongado.

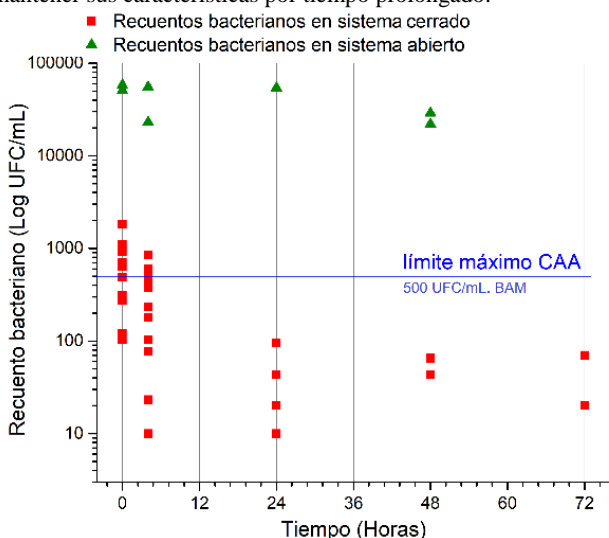


Figura 3.- Recuento bacteriano ensayos a t0, 4, 24, 48 y 72 hs.

La Figura 3 presenta los resultados obtenidos sobre muestras de

agua tratada en los ensayos de radiación solar. Se presentan los valores de recuento bacteriano BAM a tiempo inicial, 4, 24, 48 y 72 hs. de exposición. Nuevamente, se observan diferencias entre el agua proveniente de SC y SA en cuanto a la eficiencia de remoción de bacterias. En el primer caso, se observa disminución de los recuentos a mayor tiempo de exposición, aunque esa eficiencia pareciera alcanzarse entre las 48 y 72 hs. de tratamiento. En el caso del SC, aún con escaso número de ensayos, se observa preliminarmente que los porcentajes de remoción son mayores con valores de recuento inicial elevados.

Estos resultados sugieren que el sistema de tratamiento de desinfección solar es eficiente en la medida que logra la remoción parcial, e indica que para garantizar eficiencia elevada de remoción es importante que el agua presente la mejor calidad posible con anterioridad al tratamiento, por lo que se debería incorporar previamente una etapa de pretratamiento.

### Conclusiones

El CPC ensayado presenta características constructivas para maximizar el efecto de radiación solar, alcanzar temperatura del agua mayor a 45°C y asegurar remoción microbiológica eficiente.

Los valores de BAM promedio al finalizar el tratamiento fue de 126 UFC/ml, menor al valor aceptado por el CAA (<500 UFC/ml). En el caso de los coliformes totales la remoción alcanzada luego de 48 a 72 hs fue cercana al 90%, con eliminación de *E. coli* cuando el agua tratada alcanzó temperaturas superiores a 45 °C.

Si el tiempo de almacenamiento y estanqueidad en tanques supera los 6 meses, con mantenimiento insuficiente del sistema de recolección y conducción (rejillas, tuberías, filtros) la calidad del agua cruda y tratada, y en consecuencia la eficiencia del tratamiento, se ven significativa y negativamente afectadas.

Los ensayos preliminares indican mejoras significativas en la calidad del agua tratada, destacando la tecnología CPC como una alternativa interesante para remover microorganismos en el agua de lluvia recolectada y lograr una fuente de abastecimiento alternativa de calidad.

### Referencias Bibliográficas

APHA/AWWA/WEF (2017) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23<sup>rd</sup> Ed. Baird R.B., Eaton A.D., Rice R.B. Ed.

González Pérez, D. (2017) *Tratamiento ultravioleta del agua a escala doméstica: sistema de desinfección solar usando la óptica anidódica*. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), España.

International Standard Organization (ISO) (2006) *Water Quality: Detection and Enumeration of Pseudomonas aeruginosa: Method by Membrane Filtration*. Geneva, Switzerland.

Meierhofer R., Wegelin, M. (2002) *Solar Water Disinfection: A Guide for the Application of SODIS*. SANDEC Report No 06/ 02. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (EAWAG). Water and Sanitation in Developing Countries (SANDEC). Duebendorf, Suiza.

Ministerio de Obras Públicas (MOP) (2021) *Informe de coyuntura sobre acceso e igualdad al agua y al saneamiento*. Bs. As., Argentina.

Ministerio de Salud (2007) *Código Alimentario Argentino*. CapXII. Art.Nº982. <https://www.argentina.gov.ar/anmat/codigoalimentario>

Organización de Naciones Unidas (ONU) (2010) *Resolución 64/292. El derecho humano al agua y el saneamiento. 108ª sesión plenaria*.

U.S. Food and Drug Administration (FDA) (1998) *Bacteriological Analytical Manual (BAM) Media M133*. 8<sup>th</sup> Ed., Revision A., USA

### Agradecimientos

El presente trabajo se enmarca en el proyecto “Producción de Agua Segura para consumo humano a escala doméstica: Validación de un dispositivo de desinfección solar de bajo impacto ambiental y económico, para la purificación de agua de lluvia”, seleccionado en la convocatoria “Ciencia y Tecnología contra el Hambre” (RESOL-2.021-289-APN-MCT-Proyecto B45) con financiamiento MINCYT y CAF.