

Evaluación de la eficacia de un concentrador solar para la desinfección de agua para consumo humano

Efficacy test of a solar concentrator for water disinfection for human consumption

Milton Edwin Morales Aquino^{1,a}  

Filiación institucional

¹ Universidad de Huánuco, Huánuco, Perú.

Grado académico

^a Magíster en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible.

Recibido: 03-06-24

Aprobado: 10-08-24

Publicado: 18-08-24

RESUMEN

Objetivo. Evaluar la efectividad del concentrador solar para desinfección del agua para consumo humano en el centro poblado (C.P.) de Casha, Huánuco, Perú. **Métodos.** El estudio fue inductivo-analítico, de tipo analítico y longitudinal, con diseño cuasiexperimental y de enfoque cuantitativo. La población muestral estuvo conformada por 15 viviendas del sector de Casha. La prueba de hipótesis se realizó mediante la prueba *t* de Student. **Resultados.** La evaluación de los parámetros bacteriológicos reveló que el error estándar para los coliformes totales fue de 1,155 y la prueba *t* mostró un valor estadísticamente significativo de $t = 3,464$, $p = 0,004$. Esto indica que la hipótesis nula se rechaza, confirmando que los concentradores solares tienen la capacidad de eliminar eficazmente los coliformes totales, mejorando la calidad del agua para el consumo humano. En el caso de los coliformes termotolerantes, el error estándar fue de 1,195, con un valor estadísticamente significativo de $t = 5,464$, $p = 0,009$. Para las bacterias heterotróficas, el error estándar fue de 1,104, y la prueba *t* indicó $t = 5,464$, $p = 0,009$. Estos resultados demuestran que el concentrador solar es efectivo para reducir los microorganismos (coliformes totales, termotolerantes y bacterias heterotróficas) presentes en el agua. **Conclusiones.** Los análisis confirmaron que el concentrador solar fue capaz de eliminar de manera efectiva los microorganismos (coliformes totales, termotolerantes y bacterias heterotróficas), de modo que se valida que el concentrador solar es una solución efectiva para asegurar que el agua sea segura y adecuada para el consumo humano.

Palabras clave: diseño; concentrador; agua de consumo humano; microorganismos; térmico.

ABSTRACT

To evaluate the effectiveness of the solar concentrator for disinfection of water for human consumption in the Casha population center (C.P.), Huanuco, Peru. **Methods.** The study was inductive-analytic, analytical and longitudinal, with a quasi-experimental design and a quantitative approach. The sample population consisted of 15 households in the Casha sector. The hypothesis test was performed using Student's *t*-test. **Results.** Evaluation of bacteriological parameters revealed that the standard error for total coliforms was 1.155 and the *t*-test showed a statistically significant value of $t = 3.464$, $p = 0.004$. This indicates that the null hypothesis is rejected, confirming that solar concentrators have the ability to effectively remove total coliforms, improving the quality of water for human consumption. For thermotolerant coliforms, the standard error was 1.195, with a statistically significant value of $t = 5.464$, $p = 0.009$. For heterotrophic bacteria, the standard error was 1.104, and the *t*-test indicated $t = 5.464$, $p = 0.009$. These results demonstrate that the solar concentrator is effective in reducing microorganisms (total coliform, thermotolerant and heterotrophic bacteria) present in the water. **Conclusions.** The analyses confirmed that the solar concentrator was able to effectively eliminate microorganisms (total coliform, thermotolerant and heterotrophic bacteria), thus validating that the solar concentrator is an effective solution to ensure that water is safe and suitable for human consumption.

Keywords: design; concentrator; human consumption water; microorganisms; thermic.

Citar como: Morales Aquino, M. E. (2024). Diseño de un concentrador solar para la desinfección de agua para consumo humano. *Revista Peruana de Ingeniería, Arquitectura y Medio Ambiente*, 1(2), 72-81. <https://doi.org/10.37711/repiama.2024.1.2.3>

Introducción

La contaminación microbiológica del agua potable es una de las principales causas de enfermedades transmitidas por el agua a nivel mundial. Enfermedades como la diarrea, el cólera, la fiebre tifoidea y la hepatitis A son consecuencia directa del consumo de agua contaminada con microorganismos patógenos, principalmente bacterias coliformes, virus y protozoos. Estas afecciones representan un riesgo significativo para la salud pública, especialmente en comunidades rurales y periurbanas, donde los sistemas de abastecimiento y saneamiento son deficientes (Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud [OPS, OMS], 2024).

Asimismo, según la OPS (2004) más de 2 mil millones de personas carecen de acceso a agua potable segura y aproximadamente 1,7 millones de niños mueren cada año por enfermedades relacionadas con el agua no tratada. La presencia de patógenos en el agua no siempre está relacionada con factores globales como el calentamiento global o el cambio climático, sino que frecuentemente se debe a la mala gestión de los efluentes, la falta de infraestructura adecuada y el escaso acceso a tecnologías de tratamiento del agua (Torres y Proaño, 2018). En comunidades rurales, las fuentes de agua suelen estar expuestas a contaminantes de origen fecal, lo que agrava el riesgo de transmisión de enfermedades. Estas comunidades requieren soluciones prácticas y sostenibles para tratar el agua y asegurar su calidad microbiológica.

Entre las alternativas para la desinfección del agua, el uso de concentradores solares destaca como una tecnología innovadora que aprovecha la energía solar para reducir la carga microbiana. Este método, basado en el incremento de la temperatura del agua a niveles capaces de inactivar microorganismos, es particularmente útil en zonas con alta radiación solar. La desinfección térmica, lograda mediante concentradores solares, permite eliminar bacterias coliformes y otros patógenos presentes en el agua, contribuyendo a mejorar la salud y la calidad de vida de las comunidades beneficiadas (Bofill-Mas et al., 2005). Según las estrategias, intervenciones y planes ambientales propuestos por Alarcón-Herrera et al. (2004), se busca lograr que las zonas rurales del país tengan entrada a sistemas de agua con óptimas condiciones de saneamiento y cuenten con agua potable para uso humano, a fin de que dichas intervenciones ayuden a prevenir enfermedades causadas por beber agua inadecuada (González, 2017).

El concentrador solar es un sistema diseñado para capturar y concentrar la energía solar, con el fin de aumentar la temperatura del agua, logrando así la inactivación de los microorganismos patógenos. El principio operativo se basa en el uso de una placa de absorción, generalmente fabricada de metal, que maximiza la captación de radiación solar. Esta radiación se convierte en calor, el cual se transfiere al agua a través de conductos o termosifones. La cubierta de vidrio del concentrador minimiza las pérdidas térmicas, creando un efecto invernadero que permite alcanzar temperaturas entre 70 °C y 88 °C. Estas temperaturas son críticas, ya que causan la desnaturalización de proteínas y ácidos nucleicos en las células de los microorganismos, provocando su inactivación y asegurando la desinfección del agua (Infante et al., 2016).

Este método térmico es particularmente efectivo contra bacterias coliformes y bacterias heterotróficas, las cuales se utilizan como indicadores microbiológicos en el análisis de calidad del agua. Además, a diferencia de los métodos químicos, como la cloración, el uso de concentradores solares no introduce residuos químicos, lo que los convierte en una alternativa ecológicamente sostenible.

El presente estudio tuvo como finalidad evaluar la efectividad de un concentrador solar en la desinfección del agua potable en una comunidad rural del C. P. de Casha, en el Departamento de Huánuco (Perú). Este trabajo no solo busca validar la eficiencia de la tecnología propuesta, sino también ofrecer una alternativa sostenible para la mejora de la calidad del agua en zonas donde el acceso a tratamientos convencionales es limitado. Los resultados obtenidos podrían servir como base para el desarrollo de estrategias e intervenciones que contribuyan a reducir las enfermedades asociadas al consumo de agua contaminada y a mejorar las condiciones de saneamiento en comunidades vulnerables.

Métodos

Tipo y área de estudio

El estudio utilizó un enfoque cuantitativo y un diseño cuasiexperimental para analizar la relación causa-efecto entre la aplicación de un concentrador solar y la calidad microbiológica del agua. Este diseño permitió realizar mediciones pre y posintervención, facilitando la evaluación objetiva del impacto de la tecnología en la reducción de contaminantes (Hernández y Mendoza, 2018; Ñaupas, 2018; Supo, 2014). La investigación se llevó a cabo en el C. P. de Casha, distrito de Santa María del Valle, provincia y región Huánuco, durante los meses de julio a agosto de 2019.

Población y muestra

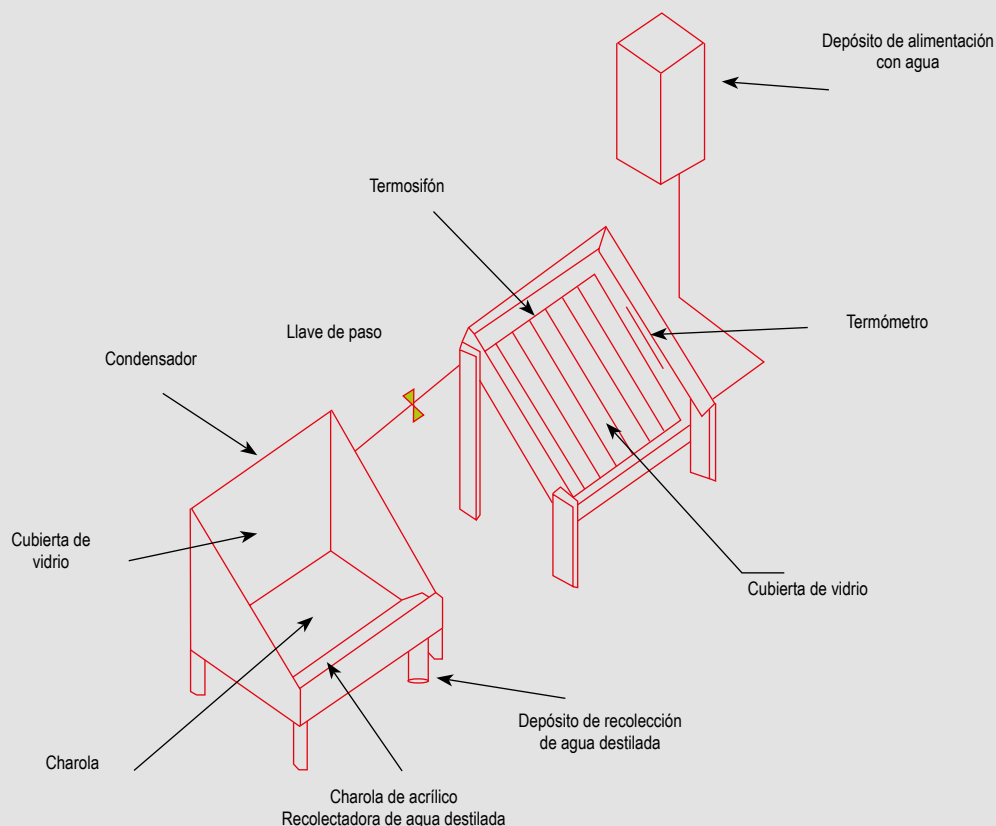
Para los fines de esta investigación, se seleccionaron 15 muestras, correspondientes a las 15 viviendas que conformaron la totalidad de los sectores del C. P. de Casha.

Variables e instrumentos de recolección de datos

Como variable independiente, este fue el diseño de un concentrador solar; dicho concentrador solar es un dispositivo que consta de un depósito para la alimentación de agua, un termosifón y un condensador, siendo este adecuado para zonas templadas donde la temperatura no alcanza niveles suficientes para realizar el proceso de condensación. Como variable dependiente esta fue la desinfección del agua; dicha variable se determinó de acuerdo con las características bacteriológicas que debe cumplir el agua para ser apta para el consumo humano.

Figura 1

Esquema del concentrador solar usada en la investigación



Tal como se aprecia en la Figura 1, a continuación, se detallan los componentes del concentrador solar de agua.

- a) Placa de absorción: su función principal fue captar la energía solar disponible, transformarla en energía térmica y luego transferir esa energía al agua. Estas placas, generalmente fabricadas de metales como acero, cobre o aluminio, son esenciales para maximizar la eficiencia del proceso de calentamiento del agua en sistemas solares. Al absorber la radiación solar, las placas aumentan su temperatura, lo que permite calentar el agua de manera efectiva (Solarte et al., 1997).
- b) Cubierta: es un componente hecho de material transparente que se colocó en la parte frontal del absorbente y se fijó en la parte superior del colector. Está cubierta creó un espacio de aproximadamente 2 a 2,5 cm entre el absorbente y la placa, lo que ayudó a minimizar las pérdidas de calor y a mejorar la eficiencia del sistema al permitir que la energía solar sea capturada y mantenida en el interior (Martínez, 2018).

Conductos para la circulación del fluido: los colectores solares de panel plano contaron con una serie de conductos por los que circula el fluido de trabajo. Este fluido recibe la energía absorbida por los paneles y la transfiere al tanque de almacenamiento de energía. Existen dos métodos principales para hacer circular el fluido, a través de una “bobina” o mediante un “tubo colector”. Además, hay diversas formas de organizar la conexión entre la “placa” y la “tubería” para optimizar la transferencia de calor y mejorar la eficiencia del sistema (Sacari, 2012).

Aislante térmico: su propósito principal fue minimizar la pérdida de calor por conducción en los lados y en la base del colector solar. Al reducir la disipación de calor, el aislante mejoró la eficiencia del sistema al asegurarse de que la mayor cantidad posible de energía térmica se mantuviera dentro del colector, permitiendo un calentamiento más efectivo del fluido de trabajo (Peña et al., 2018).

Caja, juntas y selladores: este componente fue crucial para sostener y proteger todos los elementos del colector solar. Su función fue evitar que la humedad, el aire y el polvo ingresen al sistema, lo cual podría reducir su eficiencia. Durante el diseño, fue esencial considerar tres aspectos (la estanqueidad entre los paneles aislante y absorbente, la posibilidad de fijar firmemente el colector a la estructura de montaje, y el soporte adecuado para la cubierta transparente). Estos factores aseguraron que el colector funcione de manera óptima y que su durabilidad sea maximizada (Forristall, 2003).

Tanque de almacenamiento: el requisito técnico más importante para los tanques de almacenamiento fue que estuvieran “completamente aislados” para conservar la temperatura del agua en los niveles deseados. Un buen aislamiento evitó pérdidas de calor, asegurando que el agua se mantuviera caliente durante períodos prolongados, lo que mejoró la eficiencia del sistema y garantizó un suministro constante de agua a la temperatura adecuada (Chaiña, 2019).

Técnicas y procedimientos de la recolección de datos

Para la recolección de datos se aplicó el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Este protocolo estableció los lineamientos para el muestreo y análisis de la calidad del agua, antes de la intervención (condición inicial) y después de la aplicación del concentrador solar (condición tratada), asegurando la representatividad de las muestras recolectadas, tomando especial cuidado en mantener las condiciones de transporte y conservación adecuadas.

El Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (D.S. N.º 031-2010-SA., 2010) establece los estándares y parámetros que debe cumplir el agua para ser considerada apta para el consumo humano en Perú, definiendo límites máximos permisibles de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos. Para esta investigación, este reglamento en mención fue esencial para evaluar si el agua tratada con el concentrador solar cumple con los requisitos de potabilidad.

Asimismo, la ficha de análisis de laboratorio fue fundamental para registrar y comparar los parámetros de calidad del agua, antes y después del tratamiento con el concentrador solar, permitiendo determinar si esta

cumple con los estándares establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano y verificar la eficacia del proceso de desinfección. Por otro lado, se midieron los parámetros que se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1
Parámetros microbiológicos medidos en la investigación

Parámetro	Unidad	Método de análisis	Límite máximo permisible (D.S. N.º 031-2010-SA)
Coliformes totales	UFC/100 mL	Método de filtración de membrana APHA	0
Coliformes fecales	UFC/100 mL	Método de filtración de membrana APHA	0
Bacterias heterotróficas	UFC/100 mL	Método de recuento en placa fluida APHA	500

Nota. Parámetros medidos en la investigación, límites máximos permisibles según D.S. N.º 031-2010-SA.

A continuación, se detalla una caracterización de la muestra:

- a) Obtención de la muestra: las muestras de agua se obtuvieron de 15 viviendas del sector de Casha. Las muestras fueron recolectadas durante la mañana (7:00 a.m. - 9:00 a.m.) para minimizar variaciones debidas a la actividad del día.
- b) Materiales utilizados: se emplearon recipientes de vidrio estériles de 1 litro, siguiendo las recomendaciones del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (R.J. N.º 010-2016-ANA).
- c) Normativa técnica aplicada: se usaron los métodos establecidos en el manual *Apha Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition* para el análisis microbiológico (método de filtración de membrana y recuento en placa fluida).

Respecto a la operación del concentrador solar de agua, el funcionamiento del dispositivo se llevó a cabo en un espacio abierto, con el termosifón y la tapa del colector orientados hacia el sol, para maximizar la captación de energía solar. El depósito de agua debía contener 25 litros de agua limpia, para asegurar un proceso de calentamiento eficiente y garantizar la calidad del agua tratada.

A continuación, se abrió el grifo permitiendo que el agua fluya desde el termosifón hacia la bandeja del condensador. Luego, se cerró el grifo y se esperó hasta que la temperatura dentro del colector alcance aproximadamente 70 °C. Para monitorear la temperatura, fue recomendable utilizar un termómetro con una escala de -10 a 110 °C. Una vez que se alcanzó la temperatura deseada, se abrió la llave de paso para permitir que el agua fluyera desde el termosifón hacia la bandeja del condensador. Luego se ajustó el caudal de agua en la bandeja del condensador para que fluyera a razón de una gota por segundo. Asimismo, en todo momento fue importante cerrar la válvula de agua por la noche para evitar pérdidas.

Análisis de datos

El diseño del análisis estadístico se basó en la comparación de medias pre y postratamiento. Se eligió la prueba t de Student debido a que la muestra era pequeña (n = 15). El análisis se realizó con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, considerando los parámetros microbiológicos como variables dependientes.

Resultados

Las 15 muestras de agua analizadas contenían niveles elevados de coliformes totales (69-103 UFC/100 mL), coliformes termotolerantes (32-77 UFC/100 mL) y bacterias heterotróficas (20-46 UFC/100 mL). Estos valores excedieron los estándares aceptables para agua potable, donde los conteos microbianos deben ser nulos, indicando una significativa contaminación microbiológica, particularmente de origen fecal. La presencia de estos indicadores sugiere un riesgo elevado de transmisión de enfermedades infecciosas a través del consumo de esta agua. Dada la necesidad urgente de mejorar la calidad del agua en Casha se desarrolló un concentrador solar como método de desinfección (ver Tabla 2).

Tabla 2
Parámetros microbiológicos del agua en el C. P. de Casha antes de la aplicación del concentrador solar

Parámetros	Muestras														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Coliformes totales UFC/100MI	100	102	103	91	95	90	88	99	87	79	78	76	79	76	69
Coliformes termotolerantes UFC/100MI	68	74	77	64	68	69	54	57	55	51	58	43	36	32	35
Bacterias heterotróficas UFC/100MI	34	37	46	45	44	38	34	34	27	29	26	28	21	20	21

Nota. Valores tomados de los análisis realizados en el laboratorio de aguas de la Dirección Regional de Salud de Huánuco.

A continuación, se presentan los resultados microbiológicos de 15 muestras de agua para consumo humano, analizadas después de la intervención del concentrador solar. Todos los valores registrados para coliformes totales, coliformes termotolerantes y bacterias heterotróficas fueron de 0 UFC/100 mL, lo que indicó una eliminación completa de la contaminación microbiana en el agua tratada. Este resultado confirmó la eficacia del concentrador solar en la desinfección del agua, por lo que garantiza que el recurso es seguro para el consumo humano y libre de patógenos potencialmente peligrosos (ver Tabla 3).

Tabla 3
Parámetros microbiológicos del agua después de la aplicación del concentrador solar con sus respectivas temperaturas por día en el C. P. de Casha

Parámetros	Muestras														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Coliformes totales UFC/100MI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coliformes termotolerantes UFC/100MI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bacterias heterotróficas UFC/100MI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota. Valores tomados de los análisis realizados en el laboratorio de aguas de la Dirección Regional de Salud de Huánuco.

Se analizaron los parámetros de coliformes totales antes y después de la aplicación del concentrador solar, mostrando un error estándar de 1,155. La comparación de las medias mediante la prueba *t* de Student reveló un valor *t* de 3,464 con un valor *p* de 0,004. Dado que el valor *p* es significativamente menor que el nivel de significancia ($\alpha = 0,05$), se rechazó la hipótesis nula. Este resultado indica que hay una diferencia estadísticamente significativa en los niveles de coliformes totales antes y después del uso del concentrador solar (ver Tabla 4).

Tabla 4
*Prueba de *t* De Student de comparación de medias de los parámetros microbiológicos (coliformes totales) del agua en el C. P. de Casha*

Prueba <i>t</i> para la comparación de medias	X	Error típico de la media	<i>t</i>	gl	<i>p</i> -valor
Parámetros de coliformes totales en la pre- y la posaplicación del concentrador solar	4,0	1,155	3,464	14	0,004

Se analizaron los parámetros de coliformes termotolerantes después de la aplicación del concentrador solar, con un error estándar de 1,195. La comparación de las medias utilizando la prueba *t* de Student produjo un valor *t* de 5,464 y un valor *p* de 0,009. Dado que el valor *p* fue menor que el nivel de significancia de 0,05, se rechazó la hipótesis nula, lo que indica que la diferencia observada es estadísticamente significativa (ver Tabla 5).

Tabla 5
Prueba de t de Student de la comparación de medias de los parametros microbiológicos (coliformes termotolerantes) del agua en el C. P. de Casha

Prueba t para la comparación de medias	X	Error típico de la media	t	gl	p-valor
Parámetros de coliformes termotolerantes en la pre- y la posaplicación del concentrador solar	4,0	1,195	5,464	14	0,009

Se analizaron los parámetros de bacterias heterotróficas después de la aplicación del concentrador solar, con un error estándar de 1,104. La comparación de las medias mediante la prueba t de Student produjo un valor t de 5,196 y un valor p de 0,000. Dado que el valor p fue mucho menor que el umbral de significancia de 0,05, se rechazó la hipótesis nula, lo que indica una diferencia estadísticamente significativa entre los niveles de bacterias heterotróficas antes y después del uso del concentrador solar (ver Tabla 6).

Tabla 6
Prueba de t de Student de comparación de medias de los parametros microbiologicos (bacterias heterotróficas) del agua en el C. P. de Casha

Prueba t para la comparación de medias	X	Error típico de la media	t	gl	p-valor
Parámetros de bacterias heterotróficas en la pre- y la posaplicación del concentrador solar	6,0	1,104	5,196	14	0,000

Discusión

De acuerdo con González (2017), el agua es esencial para la vida y para mantener el equilibrio ecológico de nuestro planeta; sin embargo, el tratamiento ultravioleta del agua a escala doméstica utilizando un concentrador solar de tipo concentrador parabólico compuesto (CPC) en Michoacán (México) y la presente investigación sobre el uso de concentradores solares en Casha, Huánuco, comparten el enfoque en la desinfección del agua mediante energía solar, logrando eliminar microorganismos a fin de hacerla apta para el consumo humano. Ambos proyectos destacan por ser soluciones tecnológicas sostenibles y de bajo costo, dirigidas a comunidades marginadas. Esta investigación se enfoca, además, en la desinfección térmica, alcanzando la eliminación completa de coliformes y bacterias heterotróficas. La complementariedad de ambos enfoques abre la posibilidad de combinar los beneficios térmicos y fotobiológicos para optimizar la desinfección, lo que podría discutirse en términos de mejorar aún más la eficiencia en la desinfección del agua en zonas rurales (Santos, 2021).

En este contexto, se propone un diseño de concentrador solar como alternativa para la desinfección del agua, considerando que en el distrito de Santa María del Valle, departamento de Huánuco (Perú), se reportan con frecuencia casos de diarrea en niños menores de cinco años debido a la presencia de patógenos en el agua (Ríos et al., 2017). El concentrador solar está compuesto por una placa de absorción de aluminio de 0,4 mm de espesor, pintada en negro mate para maximizar la captación de energía solar, y un sistema de conductos de cobre de 1,5 cm de diámetro, que asegura una transferencia eficiente del calor al agua. La cubierta, fabricada con vidrio transparente de 60 x 30 cm, permite el paso de radiación solar y minimiza las pérdidas térmicas al mantener un espacio de 2 cm entre el vidrio y la placa. El aislamiento térmico, realizado con espuma de poliuretano, garantiza la conservación del calor dentro del sistema, permitiendo alcanzar temperaturas de hasta 80 °C, suficientes para reducir significativamente la carga microbiana del agua tratada. Este diseño combina materiales de alta conductividad térmica y eficiencia energética, lo que asegura su funcionalidad en contextos de recursos limitados (Díaz et al., 2007).

Según el *Reporte de Salud Mundial* de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006), a finales del siglo XX la diarrea se situaba como la séptima causa de muerte a nivel mundial, después de enfermedades coronarias, accidentes cerebrovasculares, infecciones respiratorias agudas, VIH/SIDA, obstrucción pulmonar

crónica y condiciones perinatales adversas. Además, se estima que casi la mitad de la población en los países en desarrollo experimenta diarrea en algún momento de su vida.

Según Kalogirou (2009), esta propuesta presenta un enfoque innovador para la desinfección del agua, combinando eficacia y viabilidad económica. Los resultados muestran que, de las 15 muestras de agua evaluadas, las que fueron tratadas con el concentrador solar logro reducir los parámetros bacteriológicos a 0, lo que indica una desinfección completa. Este hallazgo es significativo, ya que demuestra la capacidad de los concentradores solares para eliminar contaminantes biológicos de manera efectiva. Además, se identificó que la temperatura ambiente es un factor crucial en el proceso de desinfección. La temperatura puede influir en la eficiencia del concentrador solar al afectar la capacidad del sistema para calentar el agua a los niveles necesarios para una desinfección adecuada. Este factor debe ser considerado en el diseño y operación de los sistemas de desinfección basados en energía solar, para asegurar que los resultados sean consistentes en diferentes condiciones climáticas. En conjunto, estos resultados no solo validan la efectividad de los concentradores solares en la desinfección del agua, sino que también subrayan la importancia de ajustar los sistemas a las condiciones ambientales específicas. La propuesta ofrece una solución viable para mejorar la calidad del agua, especialmente en regiones donde los recursos son limitados, y destaca la necesidad de considerar variables ambientales en el diseño de sistemas de desinfección solar (Cortez, 2000).

Por su parte, Infante et al. (2016) señalan que las altas temperaturas tienen un impacto significativo en todos los microorganismos. Además, las células vegetativas mueren debido a la desnaturalización de proteínas y la hidrólisis de otros componentes. En el agua, en general, la mayoría de las bacterias pueden morir entre los 40 °C y 100 °C, aunque algunas bacterias tienen la capacidad de formar esporas, lo que las hace especialmente resistentes al calor.

Igualmente, la desinfección del agua, según Valdés (2018), se puede realizar con cloro, aunque este tiene un efecto residual; mientras que la desinfección por ozono es un proceso avanzado que requiere equipos generadores de ozono, en comparación con otros métodos. Aunque esta última es altamente eficaz y no deja residuos químicos, su uso implica mayores demandas de energía y mantenimiento. En contraste, la desinfección con cloro es mucho más accesible y ampliamente utilizada, ya que es un método probado y de bajo costo, aunque puede generar subproductos no deseados si no se controla adecuadamente. Por otro lado, la desinfección con el concentrador solar aprovecha la luz solar para desinfectar el agua, lo que la convierte en una muy buena opción para regiones con buena radiación solar, aunque su efectividad depende de la claridad del agua y de la cantidad de sol disponible.

De igual manera, el diseño presentado tuvo como objetivo abordar los problemas de salud relacionados con el consumo de agua potable que no ha sido tratada adecuadamente. Muchas personas en áreas con recursos limitados enfrentan riesgos significativos debido al consumo de agua contaminada, que puede contener patógenos y bacterias dañinas. Los hallazgos confirman por tanto la importancia de proporcionar un método de desinfección accesible y efectivo que pueda eliminar estos patógenos, reduciendo así la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua. Este diseño tiene el potencial de ofrecer una solución práctica para comunidades que carecen de acceso a tratamientos avanzados de agua, lo que contribuye a la reducción de problemas de salud relacionados con el agua potable y mejora la calidad de vida de sus habitantes (Sanz, 1997).

Conclusiones

La evaluación de la efectividad del concentrador solar para la desinfección del agua en el C. P. de Casha, arrojó resultados contundentes que validan su eficacia como método de tratamiento del agua. En total, se analizaron 15 muestras de agua y, tras la intervención del concentrador solar, se obtuvo la eliminación completa de coliformes totales, coliformes termotolerantes y bacterias heterotróficas, logrando que todas las muestras cumplan con los estándares de calidad microbiológica para el consumo humano. Los análisis inferenciales, mediante la prueba t de Student, mostraron valores significativos en la reducción de microorganismos al indicar un cambio estadísticamente relevante tras la implementación del concentrador solar, lo que permitió confirmar que el uso de esta tecnología tiene un efecto positivo y significativo en la desinfección del agua.

Recomendación

Se recomienda evaluar factores como el ángulo de inclinación, el material del colector y el aislamiento, para aumentar la eficiencia térmica. Además, investigar cómo las variaciones en la temperatura ambiente y la radiación solar afectan el desempeño del sistema permitirá ajustar tanto el diseño como los procedimientos operativos, maximizando así su eficacia en diferentes condiciones climáticas.

Referencias

- Alarcón-Herrera, M., Martín-Dominguez, I., y Martín, A. (2004, 8-12 de noviembre). Energía solar, una alternativa para la desinfección de agua. *ISES Latin America Regional Conference*, Guanajuato, México. <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1151/1/Publicacion%20Congreso%20InterNaI%20ISES%20Guanajuato%202004%20Desinfeccion.pdf>
- American Public Health Association. (2012). *Apha Standard Metgods for the Examination of Water and Wastewater* (22ª ed.). Amer Public Health Assn
- Bofill-Mas, S., Clemente-Casares, P., Albiñana-Giménez, N., Maluquer de Motes Porta, C., Hundesa Gonfa, A., y Girones Llop, R. (2005). Efectos sobre la salud de la contaminación de agua y alimentos por virus emergentes humanos. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 253-269. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272005000200012
- Cortez, J. (2000). *Radiación solar para desinfectar agua en comunidades rurales* (Informe final, proyecto. IMTA/CNA). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Chaiña, J. O. (2019). *Factores socioeconómicos, ambientales y situación del abastecimiento de agua para consumo humano en el Centro Poblado de Accaso del distrito de Pilcuyo Puno* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional del Altiplano. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/9548>
- Díaz, M. F., Herrera, A. G., Palacios, L. M., Castillo, J. M. C., González, A. R., y Hoyos, S. E. G. (2007). Destilación solar tubular una opción para obtener agua potable a partir de aguas salobres para comunidades rurales. *Revista AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, 1(3), 1-7 <https://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/14434>
- Forristall, R. (2003). *Technical Report: Heat Transfer Analysis and Modeling of a Parabolic Trough Solar Receiver Implemented in Engineering Equation Solver*. U.S. Department of Energy, Office of Scientific and Technical Information. <https://doi.org/10.2172/15004820>
- González, D. (2017). *Tratamiento ultravioleta del agua a escala doméstica: Sistema de desinfección solar usando la óptica anidólica* [Tesis de maestría, Universitat Politècnica de Catalunya]. Repositorio UPC. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/108440>
- Hernández, R., y Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (2ª ed.). McGraw-Hill Education. <http://repositorio.uasb.edu.bo/handle/54000/1292>
- Infante, H. C., Chumacero, V. F., y Huaranga, M. C. (2016). Evaluación del método "SODIS" en la desinfección del agua para uso doméstico en la comunidad de Yanacoto, distrito de Lurigancho-Chosica. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 2(2), 2-7. <https://doi.org/10.17162/rictd.v2i2.622>
- Kalogirou, S. (2009). *Solar energy engineering: Processes and systems*. ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/book/9780123745019/solar-energy-engineering>
- Martínez, L. A. (2018). *Prototipo para la Desinfección del Agua por el Método de Desinfección Solar (SODIS)* [Tesis de bachiller, Universidad Santo Tomás]. Repositorio institucional Santo Tomas. <https://repositorio.usta.edu.co/handle/11634/10670>
- Ministerio de Salud (Dirección General de Salud Ambiental). (2010). Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano (D.S. N.º 031-2010-SA). <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/reglamento-calidad-agua-consumo-humano>
- Ñaupas, H. (2018). *Metodología de la Investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis* (5ª ed.). Ediciones de la U.
- Organización Mundial de la Salud. (2006). *Informe sobre la salud en el mundo: 2006. Ccolaboremos por la salud*. <https://iris.who.int/handle/10665/43434>
- Organización Panamericana de la Salud. (2024). *Cambio climático y salud*. OPS/OMS. <https://www.paho.org/es/temas/cambio-climatico-salud>
- Peña Ramírez, O. R., Román Enciso, R. E. (2018). Desarrollo de un aislante térmico en base a fibras naturales para mitigar el impacto de las heladas en las viviendas de la sierra sur del Perú. *Sistemas, cibernética e informática*, 15(1). <https://www.iiisci.org/journal/pdv/risci/pdfs/CA746UP17.pdf>
- Ríos, S., Agudelo, R. M., y Gutiérrez, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236-247. <https://doi.org/10.17533/udea.rf-nsp.v35n2a08>
- R.J. N.º 010-2016-ANA, Aprueban el «Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales». (2016). Autoridad Nacional del Agua (Ministerio del Ambiente). Diario Oficial El Peruano, 13/01/2016. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-protocolo-nacional-monitoreo-calidad-recursos-hidricos>
- Sacari, E. J. (2012). *Diseño, construcción y evaluación de un concentrador cilíndrico parabólico para generar vapor de agua a alta temperatura* [Trabajo de pregrado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Repositorio institucional UNJBG. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/3212>

- Santos, E. (2021). *Diseño de un Colector Solar Térmico para Calentamiento de Agua Sanitaria en la Institución Educativa Juan Velasco Alvarado, San Ignacio, Cajamarca—Perú* [Trabajo de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio UNJ. <http://repositorio.unj.edu.pe/jspui/handle/UNJ/219>
- Sanz, S. A. (1997). *Prácticas de microbiología* (2ª ed.). Universidad de La Rioja <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=100835>
- Solarte, Y., Salas, M. L., Sommer, B., Dierolf, C., y 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. <https://www.redalyc.org/pdf/283/28328304.pdf>
- Supo, J. (2014). *Seminarios de investigación científica* (2ª ed.). Bioestadístico.
- Torres, S. F., y Proaño, C. O. (2018). Componentes del Balance Hídrico en los Páramos de Jatunsacha, Ecuador. *Revista de Ciencias de la Vida*, 28(2), 52-66. <https://doi.org/10.17163/lgr.n28.2018.04>
- Valdés, N. J. (2018). *Revisión del uso de la luz ultravioleta como alternativa agroindustrial y ambiental al uso de agua clorada* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/64038>

Fuentes de financiamiento

La investigación fue realizada con recursos propios.

Conflictos de interés

El autor declara no tener conflictos de interés.

Correspondencia:

Milton Edwin Morales Aquino

E-mail: milton.morales@udh.edu.pe