



Destilador solar de tipo una vertiente y la purificación de la calidad del agua, Ica

ARTÍCULO ORIGINAL




Escanea en tu dispositivo móvil o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i21.232>

One-pour type solar distiller and water quality purification, Ica


Destilador solar tipo one-pour e purificação da qualidade da água, Ica

Pedro Córdova Mendoza 
pedro.cordovar@unica.edu.pe

Ramiro Zuzunaga Morales 
ramiro.zuzunaga@unica.edu.pe

Teresa Orielle Barrios Mendoza 
oriele.barrios@unica.edu.pe

Isis Cristel Córdova Barrios 
sis.cordova@unica.edu.pe

Emily Zuzunaga Concha 
emizzuzunaga@gmail.com

Summy Maily Diaz Huachaca 
summydiaz3@gmail.com

Universidad Nacional "San Luis Gonzaga". Ica, Perú

Artículo recibido 4 de agosto 2023 / Arbitrado 25 de agosto 2023 / Publicado 25 de septiembre 2023

RESUMEN

La carencia de agua potable en zonas costeras es un problema mundial que se ve agravado por el cambio climático y la contaminación del agua. El destilador solar de una vertiente puede contribuir a abordar estos problemas al utilizar la energía solar para evaporar el agua de mar, eliminando la sal y otros contaminantes. **Objetivo.** Evaluar la eficacia de un destilador solar de tipo una vertiente para purificar agua de mar, utilizando agua obtenida de la playa Punta Lomitas en el distrito de Ocucaje, Ica. El destilador solar utilizado en el estudio fue fabricado con materiales económicos y de fácil acceso. **Materiales y métodos.** La estrategia metodológica, se basa en la teoría de los sistemas complejos, el estudio tiene un enfoque cuantitativo y utiliza un diseño observacional-prospectivo-longitudinal, el método de muestreo utilizado fue un muestreo aleatorio simple, las variables que se midieron en el estudio fueron la salinidad, el pH, la turbidez y la presencia de bacterias. **Resultados.** El destilador solar, con dimensiones de 60 cm de largo, 40 cm de ancho y 20 cm de alto, inclinado a 17° con un área de 0.24 m² y un nivel de agua de mar de 10 cm, mostraron la obtención de 0.524 L de agua purificada. Se evaluaron dos fechas de operación, el 05/10/2022 (14°C a 29°C) y el 14/10/2023 (11°C a 28°C), durante un horario de 09:00 am a 17:00 pm. Los parámetros de calidad del agua cumplieron con la norma, con DBO5 0.0 mg/L, oxígeno disuelto 10 mg/L y coliformes termotolerantes (44.5°C) 0.0 NMP/100 ml. La discusión señaló que el sistema propuesto cumplió las condiciones para un funcionamiento efectivo y óptimas condiciones de salubridad. **Conclusiones.** El destilador solar es un método simple y eficaz, utilizando radiación solar para purificar agua de mar y generar agua potable.

Palabras clave: Destilador solar; Purificación del agua; Calidad de agua; Agua de mar

ABSTRACT

Lack of potable water in coastal areas is a global problem that is exacerbated by climate change and water pollution. The single-slope solar still can help address these problems by using solar energy to evaporate seawater, removing salt and other contaminants. **Objective.** To evaluate the efficacy of a one-slope solar still to purify seawater, using water obtained from Punta Lomitas beach in the district of Ocucaje, Ica. The solar still used in the study was manufactured with inexpensive and readily available materials. **Materials and methods.** The methodological strategy, is based on the theory of complex systems, the study has a quantitative approach and uses an observational-prospective-longitudinal design, the sampling method used was simple random sampling, the variables measured in the study were salinity, pH, turbidity and the presence of bacteria. **Results.** The solar distiller, with dimensions of 60 cm long, 40 cm wide and 20 cm high, inclined at 17° with an area of 0.24 m² and a seawater level of 10 cm, showed the obtaining of 0.524 L of purified water. Two operation dates were evaluated, 05/10/2022 (14°C to 29°C) and 14/10/2023 (11°C to 28°C), during a schedule of 09:00 am to 17:00 pm. Water quality parameters met the standard, with BOD5 0.0 mg/L, dissolved oxygen 10 mg/L and thermotolerant coliforms (44.5°C) 0.0 NMP/100 ml. The discussion indicated that the proposed system met the conditions for effective operation and optimal sanitation. **Conclusions.** The solar distiller is a simple and effective method using solar radiation to purify seawater and generate drinking water.

Key words: Solar distiller; Water purification; Water quality; Seawater

RESUMO

A falta de água potável em áreas costeiras é um problema global que é exacerbado pelas mudanças climáticas e pela poluição da água. O alambique solar de inclinação única pode ajudar a resolver esses problemas usando a energia solar para evaporar a água do mar, removendo o sal e outros contaminantes. **Objetivo.** Avaliar a eficácia de um alambique solar de fonte única para purificar a água do mar, usando água obtida da praia de Punta Lomitas, no distrito de Ocucaje, Ica. O destilador solar usado no estudo foi feito com materiais baratos e de fácil acesso. **Materiais e métodos.** A estratégia metodológica baseia-se na teoria de sistemas complexos, o estudo tem uma abordagem quantitativa e usa um projeto observacional-prospectivo-longitudinal, o método de amostragem usado foi amostragem aleatória simples, as variáveis medidas no estudo foram salinidade, pH, turbidez e presença de bactérias. **Resultados.** O alambique solar, com dimensões de 60 cm de comprimento, 40 cm de largura e 20 cm de altura, inclinado a 17°, com área de 0,24 m² e nível de água do mar de 10 cm, apresentou a obtenção de 0,524 L de água purificada. Foram avaliadas duas datas de operação, 05/10/2022 (14°C a 29°C) e 14/10/2023 (11°C a 28°C), durante o horário das 09:00 às 17:00 horas. Os parâmetros de qualidade da água atenderam ao padrão, com DBO5 0,0 mg/L, oxigênio dissolvido 10 mg/L e coliformes termotolerantes (44,5°C) 0,0 NMP/100 ml. A discussão indicou que o sistema proposto atendeu às condições para uma operação eficaz e um saneamento ideal. **Conclusões.** O destilador solar é um método simples e eficaz que utiliza a radiação solar para purificar a água do mar e gerar água potável.

Palavras-chave: Destilador solar; Purificação de água; Qualidade da água; Água do mar

INTRODUCCIÓN

La carencia de agua potable en zonas costeras es un problema mundial que se ve agravado por el cambio climático y la contaminación del agua. El destilador solar de una vertiente puede contribuir a abordar estos problemas al utilizar la energía solar para evaporar el agua de mar, eliminando la sal y otros contaminantes. Esta tecnología también puede ayudar a conservar las fuentes de agua potable subterráneas y superficiales, ya que no requiere el uso de agua dulce.

Por otra parte, es importante mencionar que la escasez de agua potable, el cambio climático y las actividades industriales presentan desafíos críticos e interrelacionados que amenazan la sostenibilidad ambiental y el bienestar humano. La falta de acceso a agua limpia compromete la salud y la producción de alimentos, mientras que el cambio climático intensifica la frecuencia de eventos climáticos extremos como sequías e inundaciones, exacerbando aún más la crisis hídrica. Las actividades industriales también contribuyen al cambio climático, lo que a su vez agrava la escasez de agua potable.

En la región de Ica, la escasez de agua potable ha provocado conflictos entre las comunidades y las empresas, ya que ambas compiten por los recursos hídricos limitados. Las actividades industriales, a su vez, contribuyen a la contaminación y a la degradación de los recursos hídricos, afectando la biodiversidad y la calidad del agua. La búsqueda de soluciones integradas y sostenibles se vuelve fundamental

para enfrentar estos desafíos y asegurar un futuro ambientalmente viable. Las regiones costeras afectadas por estos problemas se refieren a las zonas costeras de diversos océanos en todo el planeta, así como a regiones costeras específicas como la costa peruana y, en este caso particular, la región de Ica. Estas áreas comparten la exposición a la disminución de fuentes de agua dulce, los impactos del cambio climático y la influencia de las actividades industriales en la calidad del agua. En esta situación, la necesidad apremiante es encontrar soluciones eficaces y sostenibles para purificar el agua. Esto se deriva de los retos expuestos anteriormente, relacionados con la escasez de agua potable, el cambio climático y las actividades industriales en las regiones costeras.

Este estudio busca contribuir a encontrar soluciones sostenibles para purificar el agua de mar en la costa de la Región de Ica. También tiene como objetivo identificar información científica relevante y proporcionar datos para tomar decisiones informadas sobre el acceso al agua potable en la zona costera. Asimismo, busca promover la adopción de tecnologías y políticas que faciliten un acceso sostenible al agua potable, en línea con los objetivos de desarrollo sostenible (1).

La desalinización del agua de mar se ha convertido en una necesidad creciente en muchas regiones del mundo donde la escasez de agua dulce es un problema constante. La Región de Ica, al ser una zona costera marina con una amplia disponibilidad de agua de mar, se presenta como

un escenario propicio para evaluar la viabilidad y eficacia de esta tecnología (2).

Esta investigación busca abordar la problemática de la escasez de agua potable en áreas costeras, según, Sampathkumar et al. (3) el agua es un recurso invaluable provisto por la naturaleza que desempeña un papel fundamental en el progreso económico y el bienestar de una nación. Su presencia y disponibilidad adecuada son esenciales para el desarrollo económico sostenible y el florecimiento de una sociedad. Continua, de que la falta de acceso a agua potable es un desafío significativo que enfrentan tanto los países subdesarrollados como los países en desarrollo en todo el mundo. Una gran parte de los recursos hídricos se encuentran en los océanos, representando aproximadamente el 97% del agua del planeta. Solo alrededor del 2% del agua mundial se almacena como hielo en las regiones polares, mientras que únicamente el 1% está disponible como agua dulce para satisfacer las necesidades de la flora, la fauna y la vida humana.

Según, Elgendi et al. en el siglo XXI el uso de energía solar se ha posicionado como una solución y técnica viable en la producción de agua potable para el consumo humano, especialmente en regiones de alta insolación. Este enfoque se muestra especialmente prometedor en zonas rurales donde la disponibilidad de infraestructura y servicios de agua potable puede ser limitada. La energía solar se aprovecha a través de sistemas de captación y calentamiento, como los destiladores solares, que utilizan la radiación solar para purificar

y desalinizar el agua. Esta tecnología sostenible y de bajo costo ofrece una alternativa eficiente y ambientalmente amigable para abordar los desafíos de suministro de agua en estas regiones, contribuyendo así al bienestar y desarrollo de las comunidades rurales (4). Sin embargo, Ayoub y Malaeb (5) mencionan que, en las ciudades ubicadas cerca del mar u océanos, se recomienda aprovechar el potencial de las aguas marinas como fuente de agua. Esto implica replicar, a menor escala y de manera acelerada, el ciclo natural del agua. Los principios de la destilación solar pueden ser aplicados en diferentes dimensiones, desde destiladores pequeños de uso doméstico que pueden producir unos pocos litros de agua al día, hasta grandes instalaciones capaces de generar varios metros cúbicos de agua diariamente. Esta adaptación de la destilación solar ofrece una solución eficaz para satisfacer las necesidades de agua potable en estas áreas costeras, aprovechando los recursos naturales disponibles de manera sostenible y resiliente (5).

En la actualidad, existen en el mercado diversas tecnologías de desalinización que son utilizadas para obtener agua potable a partir del agua de mar. Es importante destacar que todas estas tecnologías requieren de energía para su funcionamiento (6,7). También las tecnologías de desalinización están en constante evolución con el objetivo de mejorar la eficiencia de producción, optimizar el consumo energético y reducir los costos asociados (8). Durante la década de 1960, el costo por unidad de agua dulce se situaba en

alrededor de 10 dólares EE.UU./m³, mientras que en la actualidad ha disminuido significativamente a menos de 0,6 dólares EE.UU./m³ (9). Sin embargo, las tecnologías de desalinización continúan requiriendo una cantidad considerable de energía, ya sea en forma de combustibles fósiles o electricidad, para su funcionamiento.

Además, es necesario destacar que el uso del destilador solar como una técnica para el dimensionamiento y aprovechamiento de la energía solar en el diseño y construcción de sistemas de obtención de agua para consumo humano. Evaluó la eficiencia del destilador solar y determinó que alcanza un nivel del 44%, continuo que, en el estudio, empleo dimensiones específicas para el destilador solar, con un área de 1.10 m² utilizando una plancha galvanizada. Como resultado, concluyó que el agua obtenida mediante este sistema cumple con los estándares requeridos para el consumo humano. Por lo tanto, el proceso de destilación solar permite un uso adecuado de la energía solar, la cual actúa como un desinfectante natural en el proceso de purificación (10).

Se estima que para el año 2025, Perú podría enfrentar diferentes escenarios en relación al estrés hídrico, dependiendo de la tasa de crecimiento demográfico proyectada. Si se considera una tasa de crecimiento demográfico baja, se calcula que el país experimentaría estrés hídrico, con una disponibilidad de agua de aproximadamente 1200 m³ por persona al año. Si se prevé una tasa de crecimiento demográfico

alta, se proyecta que Perú enfrentaría escasez hídrica, con una disponibilidad de agua dulce reducida a alrededor de 1000 m³ por persona al año. Estas estimaciones resaltan la importancia de tomar medidas adecuadas de gestión del agua y planificación para garantizar un uso sostenible y equitativo de este recurso vital en el país (11).

Bases teóricas

Un destilador solar se destaca como un método económico, eficiente y respetuoso con el medio ambiente en comparación con los métodos de destilación convencionales, que suelen ser intensivos en energía y costosos. Debido a que la disponibilidad de agua dulce de los recursos naturales, están disminuyendo debido a la contaminación del agua y el agotamiento de los niveles de agua subterránea en todo el mundo. Es bajo este contexto, donde la destilación solar que utiliza energía solar para obtener agua pura, y su rendimiento está influenciado por factores climáticos como la temperatura ambiente, la intensidad de la radiación solar y las condiciones meteorológicas, puede generar una ayuda a la población. Por otra parte, es necesario considerar las debilidades de este sistema de purificación como son los parámetros de diseño, el ángulo de inclinación, y los parámetros operativos, como la orientación del destilado solar y la profundidad del agua de salmuera, también afectan el rendimiento de los sistemas de destilación solar. Estos factores deben ser considerados cuidadosamente para maximizar la eficiencia y

la efectividad de los destiladores solares en la obtención de agua purificada (12).

Por otra parte, es necesario analizar las características físicas, químicas y biológicas del agua para determinar su calidad. Esto se debe hacer a través de una medida de la pureza y la aptitud del agua para satisfacer las necesidades humanas, proteger el medioambiente y mantener la salud de los ecosistemas acuáticos. La calidad del agua puede evaluarse en función de diversos parámetros, como la presencia de sustancias contaminantes, el equilibrio de nutrientes, el pH, la turbidez, la temperatura y la presencia de microorganismos patógenos. Estos parámetros pueden variar según los estándares y las regulaciones establecidas para diferentes usos del agua, como el consumo humano, la agricultura, la industria o la conservación de la vida acuática (13). Hamadous y Abdellatif, aproximadamente el 99% del agua disponible en la Tierra se encuentra en forma de agua salada, salobre o congelada, mientras que solo el 1% está disponible como agua dulce y lista para su consumo como agua potable. Esta escasez de agua dulce ha generado la necesidad de buscar soluciones alternativas para abordar el problema de la escasez de agua. La desalinización del agua de mar se presenta como una de las técnicas clave para obtener agua dulce a partir de fuentes saladas (14). Anand et al., (8) sin embargo,

es importante tener en cuenta que la separación de las sales del agua de mar en el proceso de desalinización requiere una cantidad considerable de energía. En este sentido, resulta beneficioso emplear fuentes de energía renovables para abastecer la desalación y reducir su impacto ambiental. La energía solar, en particular, es una opción prometedora, ya que abunda en las zonas secas donde la escasez de agua es más acuciante. Utilizar la energía solar en la desalación permite producir agua potable de manera más sostenible, con un menor costo energético y una menor huella de carbono. Esta combinación de desalación y energía solar ofrece una solución más eficiente y respetuosa con el medio ambiente para abordar el desafío de la escasez de agua en las regiones afectadas (8).

La transferencia de calor es un proceso físico en el cual la energía térmica se transfiere de un objeto o sustancia a otro debido a una diferencia de temperatura. Este proceso ocurre mediante tres mecanismos principales: conducción, convección y radiación. Para el caso de la radiación es la transferencia de calor a través de ondas electromagnéticas, como la radiación infrarroja. No requiere un medio material para propagarse y puede transferir calor a través del vacío. Es el mecanismo principal de transferencia de calor desde fuentes calientes, como el Sol (15).

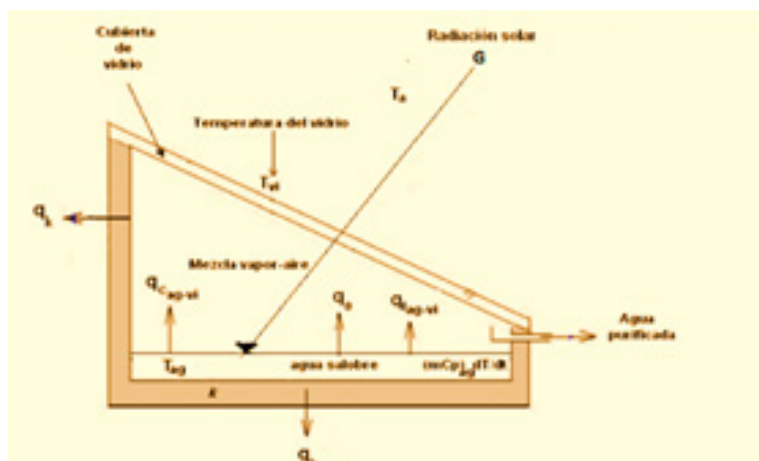


Figura 1. Mecanismos de transferencia de calor en un destilador solar de tipo una sola vertiente (11).

Tipo destilación solar de una sola vertiente, el modelo consiste en una caja con una cubierta de vidrio inclinada en un solo lado. La caja se divide en dos compartimentos: uno con un fondo de color negro donde se coloca el agua que se va a evaporar, y el otro compartimento es el receptáculo donde se recoge el vapor condensado tal como se muestra en la Figura 1. (11).

El destilador solar de tipo una sola vertiente,

conocido también como destilador asimétrico o simple, es una tecnología que posibilita la obtención de agua potable mediante la desalinización del agua de mar. Esta innovadora técnica permite garantizar la calidad del agua para el consumo humano, brindando una solución efectiva y sostenible para abordar la escasez de agua dulce en regiones costeras., [Figura 2 y Figura 3] (16).

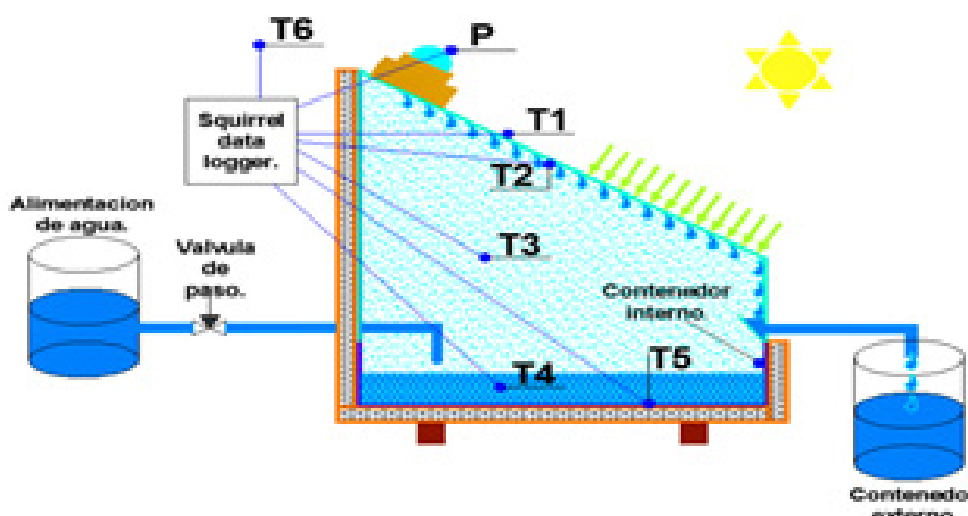


Figura 2. La temperatura en la destilación solar de una sola vertiente o simple puede variar según las condiciones ambientales y el diseño del sistema (16).

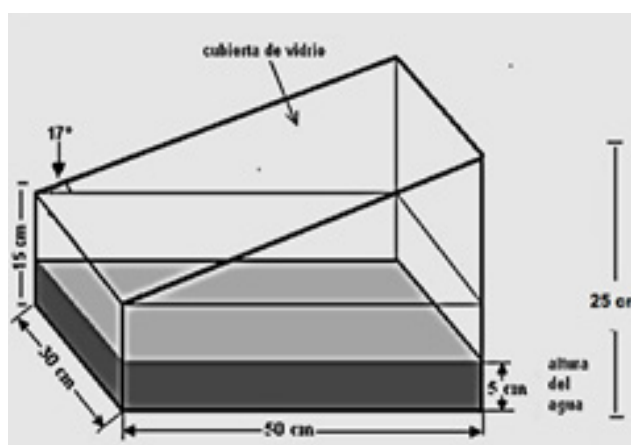


Figura 3. Esquema del prototipo destilación solar de una sola vertiente (10).

De acuerdo a la Figura 3, El destilador solar de una sola vertiente tiene un área de 0,24 m², con dimensiones de 40 cm de ancho, 60 cm de longitud y 20 cm de altura. Está compuesto por un evaporador de acero inoxidable y una cubierta de vidrio inclinada con un ángulo de inclinación de 17° (11).

En cuanto a la justificación del estudio hay urgencia creciente ante la escasez de agua potable, el cambio climático y la contaminación industrial están creando una crisis mundial del agua. En las zonas costeras, estas amenazas se agravan por la escasez de agua dulce y la alta salinidad del agua del mar. Los destiladores solares de una vertiente son una tecnología simple y de bajo costo que puede ayudar a abordar estos desafíos.

El objetivo principal de la investigación es evaluar la eficiencia y viabilidad de un destilador solar de tipo una vertiente para purificar agua de mar en la playa Punta Lomitas, Ocucaje, Ica. Se busca determinar la capacidad del sistema para producir agua potable cumpliendo con estándares

de calidad y operando en condiciones climáticas variables.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se procedió a recolectar muestras de agua marina en la playa Punta Lomitas, ubicada en el distrito de Ocucaje, provincia de Ica, región de Ica, en Perú. Para garantizar la integridad de las muestras, se siguió rigurosamente la cadena de custodia, siguiendo las pautas establecidas por la normativa, en concreto, el Decreto Supremo N°015-2015-MINAM (17). La investigación adoptó un enfoque observacional-prospectivo longitudinal, que involucró la observación y análisis de fenómenos en momentos específicos, con la intención de analizar y predecir resultados futuros. Además, se utilizó un diseño de estudio experimental en el cual se recopilieron datos del sistema de destilación solar de una sola vertiente. El nivel de investigación fue aplicado, centrándose en abordar el problema práctico de obtener agua de calidad a partir de la desalinización del agua

marina en la zona costera marina de la Región de Ica. Este enfoque permitió generar conocimiento aplicable para resolver problemas reales.

Método experimental y procedimiento

Se recolectaron muestra de agua marina siguiendo las normas establecidas para el muestreo en el área costera marina en la Región de Ica donde se consideraron los siguientes datos:

Fisicoquímicos. La turbidez, el color y la DBO5 fueron analizados siguiendo las técnicas recomendadas por la Asociación de Salud Pública de América (APHA) [Tabla 1].

Microbiología. Se utilizó el método de fermentación de tubos múltiples (APHA) para determinar la presencia de coliformes termotolerantes en las muestras de agua (Tabla 1).

Procedimiento para el tratamiento del afluente se considera las siguientes etapas:

La toma de la muestra de agua de mar se realizó en una de las playas de la zona costera

marina de la Región de Ica fue la playa Puna Lomitas, según la norma se debe tomar la muestra a una distancia de 12 metros de la orilla. La muestra se recolectó a una profundidad de aproximadamente 20 a 25 cm por debajo de la superficie del agua. Una vez recogidas, las muestras se preservaron adecuadamente en hileras para su posterior transporte al laboratorio.

Parámetros fisicoquímicos medidos in situ. pH, temperatura, OD, las mediciones se realizaron mediante un equipo medidor Multiparámetro, Marca: Hach Co., Modelo: HQ40d, Serie: 180300003690. Parámetros fisicoquímicos analizados en el laboratorio: turbiedad, DBO5. Parámetros bacteriológicos analizados en el laboratorio: coliformes termotolerantes, (Tabla 1).

Equipo. Se utilizó el Dataloger Multi log Pro, un dispositivo diseñado para medir las temperaturas tanto dentro como fuera del destilador solar tipo una sola vertiente. Este equipo permitió obtener los datos de temperatura del sistema.

Tabla 1. La recolección de muestras de agua de mar en la playa Punta Lomitas, situada en el distrito de Ocucaje (17).

Tipo de Análisis	Frecuencia	LMP	Agua marina ^a	Agua pura ^b
Fisicoquímicos				
DBO ₅ (mg/l)	1/día	0.0	x	x
pH	1/día	6.5 – 8.5	x	x

Tipo de Análisis	Frecuencia	LMP	Agua marina ^a	Agua pura ^b
Fisicoquímicos				
Oxígeno Disuelto (OD), (mg/l)	1/día	≥ 4	x	x
Nitratos (NO ₃), (mg/L)	1/día	13	x	x
Turbiedad (NTU)	1/día	5	x	x
Conductividad (uS/cm)	1/día	1500	x	x
Microbiológicos				
Coliformes termotolerantes (44.5°C) (NMP/100 ml)	1/día	2000	50.45	0.0

Nota: ^a Muestra agua de mar tomada de la playa Punta Lomitas agua residual.

^b Muestra agua de salida del destilador solar.

Parámetros medidos como la temperatura mediante el funcionamiento del destilador solar de tipo una sola vertiente, (Tabla 2), considerando el lugar donde se encuentra la playa Punta Lomitas, como es el caso de la Figura 4 que exhibe una representación de las playas de mayor relevancia en la región costera marina de Ica, brindando una visión panorámica de su ubicación

y distribución geográfica. Por otro lado, en la Figura 5 se enfoca en la detallada localización de la Playa Punta Lomitas, situada en el distrito de Ocucaje dentro de la Provincia de Ica. Ambas figuras proporcionan un contexto visual esencial para comprender la disposición geográfica de las áreas de estudio en el marco de la investigación.

Tabla 2. Temperatura del destilador solar de tipo una sola vertiente.

Hora	"T _a (°C)" Temperatura ambiente	"T _{ve} (°C)" Temperatura del vidrio en el área externa	"T _{vi} (°C)" Temperatura del vidrio en el área interna	"T _{ai} (°C)" Temperatura del aire en el interior del destilador	"T _{ag} (°C)" Temperatura del Agua en el destilador	"T _b (°C)" Temperatura en la parte externa de la base del destilador	"T _{pi} (°C)" Temperatura en la pared interna del destilador	"T _c (°C)" Temperatura en la parte externa del costado del destilador
Hora 1	x	X	x	x	x	x	x	x

Técnicas de procesamiento de datos

Destilador Solar de tipo una vertiente a escala de laboratorio: Para la construcción del destilador solar de tipo una sola vertiente, se tuvo en cuenta la contribución de Dev y Tiwari en la selección de materiales (12). El proceso involucró el uso de un destilador solar con dimensiones de 0.60 m de

largo, 0.40 m de ancho y 0.20 m de alto. El área del destilador solar fue de 0.24 m², y se consideró un ángulo de inclinación de la cubierta del destilador solar basado en la latitud de 14° 20' 50" Sur, concretamente un ángulo de inclinación de 17°. La cubierta del destilador solar consistió en un vidrio de 3 mm de espesor. En cuanto a la carga de

alimentación, se utilizó una altura de agua de mar de 0.10 m dentro del sistema, lo que resultó en un volumen de carga diaria de 12 L de agua de mar para el funcionamiento del destilador solar.

Descripción de la Playa Punta Lomitas. Es una playa encantadora en el distrito de Ocucaje, con un clima cálido y soleado, hermosos paisajes naturales y una serie de comodidades que hacen de ella un destino atractivo para disfrutar de la costa y las actividades relacionadas con el mar. Es un lugar que merece ser conocido y apreciado por personas de todo el mundo.

Pruebas experimentales realizadas en el sistema

Destilador Solar Tipo una sola vertiente. Se llevaron a cabo pruebas experimentales en la playa Punta Lomitas. Estas pruebas se realizaron

desde las 9:00 hasta las 17:00 horas, durante el período de mayor intensidad de radiación solar. Durante este lapso, se monitorearon diversos parámetros, como la temperatura ambiente (T_{amb}), la temperatura del vidrio en el exterior (T_{vae}), la temperatura del vidrio en el interior (T_{vai}), la temperatura del aire dentro del destilador (T_{aid}), la temperatura del agua en el destilador (T_{ad}), la temperatura en la parte externa de la base del destilador (T_{pebd}), la temperatura en la parte externa del costado del destilador (T_{pecd}), la temperatura en la pared interna del destilador (T_{pi}) y la cantidad de agua purificada producida.

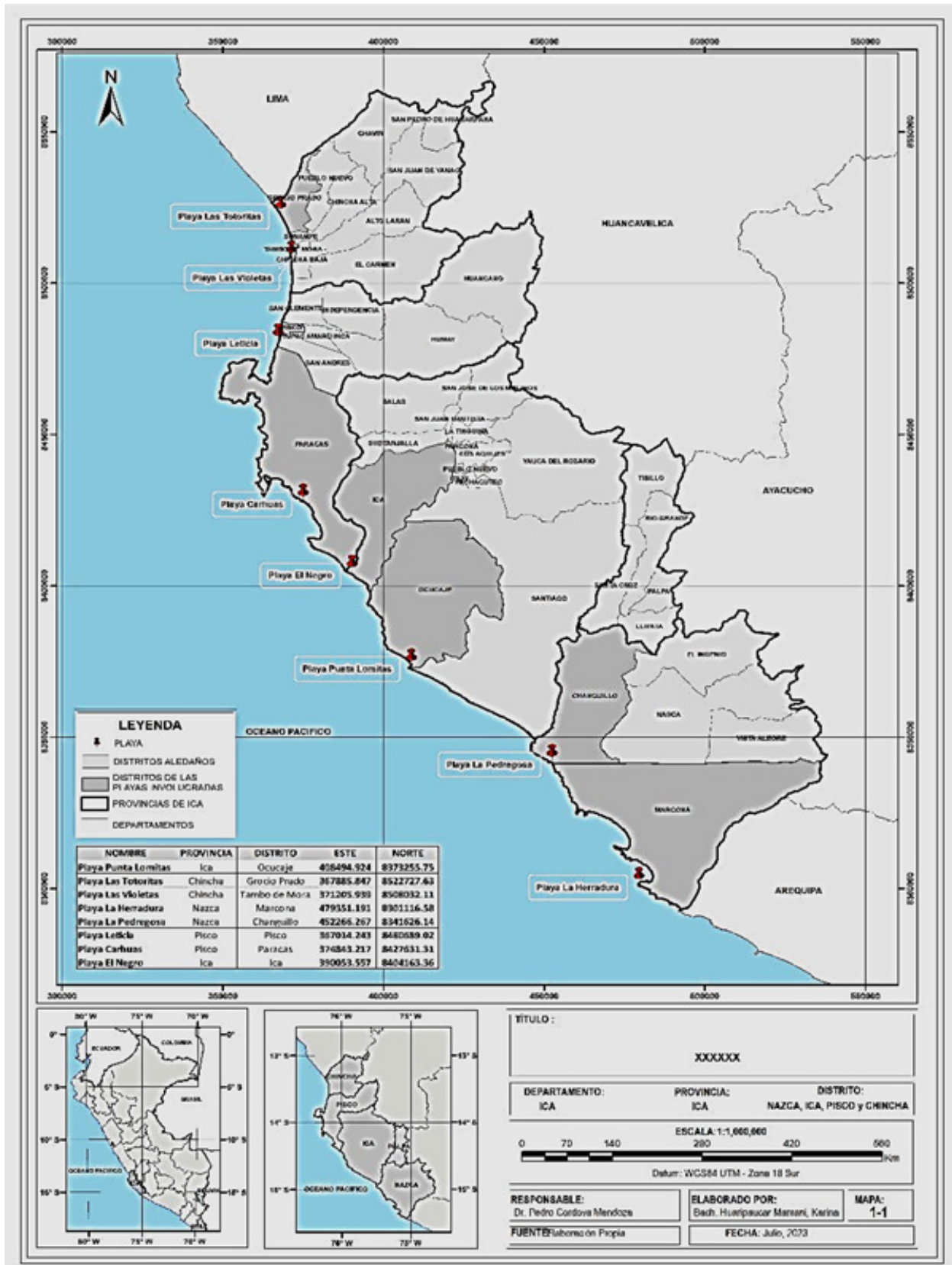


Figura 4. Playas más importantes ubicadas en la zona costera marina en la Región de Ica.



Figura 5. Playa Punta Lomitas en el distrito de Ocucaje, Provincia de Ica.

RESULTADOS

Mediante la implementación y evaluación del destilador solar, se analizaron sus dimensiones y condiciones operativas en relación con la calidad del agua obtenida. Los resultados obtenidos en el destilador solar, en términos de cantidad y calidad del agua purificada, proporcionaron información vital para comprender cómo este dispositivo influye en la mejora de la calidad del agua en la región costera de Ica. Los datos recopilados permitieron identificar la eficiencia del sistema en la purificación del agua de mar y su aplicabilidad en la zona. La investigación, al relacionar las variables del destilador solar y la calidad del agua en Ica, ofrece un enfoque práctico para abordar la escasez de agua potable en regiones costeras, contribuyendo así a soluciones sostenibles para mejorar la disponibilidad de agua limpia y segura en la región.

El valor del ángulo de inclinación de la cubierta de vidrio en el destilador solar fue determinado mediante una prueba experimental. Esta prueba se llevó a cabo con un ángulo de inclinación de 17° , utilizando un calefactor durante un período de 30 minutos. Como resultado de esta prueba, se logró purificar exitosamente un volumen de 800 ml de agua.

Se empleó un destilador solar de tipo una sola vertiente, con dimensiones de 40 cm de ancho, 60 cm de largo y 20 cm de alto, que ofrecía un área de 0.24 m². El ángulo de inclinación de la cubierta de vidrio fue de 17° . El volumen de carga utilizado en el destilador fue de 12 litros, manteniendo una altura del nivel del agua de 10 cm. Los materiales utilizados para la construcción del destilador consistieron en acero inoxidable, mientras que la cubierta que permitía la entrada de radiación solar tenía un espesor de 3 mm y estaba fabricada en vidrio.

El incremento de la temperatura en el interior del destilador solar indujo la evaporación de una porción del agua de mar. El vapor generado, al entrar en contacto con la superficie interna del vidrio de la cubierta, se condensó en forma de gotas de rocío destilado. Estas gotas se deslizaron a lo largo de la pendiente de la cubierta y fueron guiadas por un canal de recolección hacia el recipiente de almacenamiento del destilado. Para la captura de los datos de temperatura en el destilador solar de una sola vertiente, se empleó el dispositivo Multilog pro.

En la Tabla 3 se presentan los tipos de análisis realizados, la frecuencia de los mismos y los valores de LMP se detallan en la tabla. Se compararon los datos del agua marina inicial con los del agua purificada para evaluar la efectividad del proceso. Esta tabla proporciona información esencial sobre cómo los parámetros clave en el agua, relacionados con la

calidad y la pureza, se ajustan a los estándares establecidos. Las Tablas 4 y 5 presentan datos de temperatura obtenidos de un destilador solar de una sola vertiente durante dos días diferentes: el 05/10/2022 y el 14/10/2022. Los registros incluyen mediciones de temperatura ambiente, temperatura del vidrio en áreas externa e interna, temperatura del aire dentro del destilador, temperatura del agua en el destilador, temperatura en la parte externa de la base y costado del destilador, así como temperatura en la pared interna del destilador. Estas mediciones se realizaron en intervalos horarios desde las 9:00 AM hasta las 17:00 PM. Las tablas proporcionan un análisis detallado de las variaciones de temperatura en diferentes partes del destilador a lo largo del día, lo que contribuye a comprender mejor los patrones térmicos y su influencia en el proceso de purificación del agua.

Tabla 3. Muestreo de agua de mar playa Punta Lomitas.

Tipo de Análisis	Frecuencia	LMP	Agua marina ^a	Agua pura ^b
Fisicoquímicos				
DBO ₅ (mg/l)	1/día	0.0	5.25	0.0
pH	1/día	6.5 – 8.5	7.82	7.05
Oxígeno Disuelto (OD), (mg/l)	1/día	≤ 4	2.54	10
Nitratos (NO ₃), (mg/L)	1/día	13	0.70	0.30
Turbiedad (NTU)	1/día	5	8.52	1
Conductividad (uS/cm)	1/día	1500	80.25	120.45
Bacteriológicos				
Coliformes termotolerantes (44.5°C) (NMP/100 ml)	1/día	2000	50.45	0.0

Es relevante resaltar que las mediciones se llevaron a cabo en la ciudad de Ica, la cual se caracteriza por tener un clima definido por veranos cálidos, secos y con nubes dispersas, y por inviernos moderados, secos y mayormente despejados. A lo largo del año, las temperaturas suelen variar entre 15 °C y 28 °C, raramente

cayendo por debajo de los 12 °C o excediendo los 31 °C. Estas condiciones climáticas proporcionan el contexto en el cual se realizaron las mediciones de temperatura, y su comprensión es fundamental para interpretar adecuadamente los resultados obtenidos en el destilador solar de una sola vertiente (18).

Tabla 4. La temperatura del destilador solar de una sola vertiente, día 05/10/2022.

Hora	T _{amb} (°C) Temperatura ambiente	T _{vae} (°C) Temperatura del vidrio en el área externa	T _{vai} (°C) Temperatura del vidrio en el área interna	T _{aid} (°C) Temperatura del aire en el interior del destilador	T _{ad} (°C) Temperatura del Agua en el destilador	T _{pebd} (°C) Temperatura en la parte externa de la base del destilador	T _{pecd} (°C) Temperatura en la pared interna del destilador	T _{pid} (°C) Temperatura en la parte externa del costado del destilador
09:00	19	12	14	15	16	12	14	15
10:00	23	28	34	38	40	18	22	36
11:00	25	40	44	48	54	21	24	46
12:00	29	50	54	58	70	22	28	56
13:00	29	52	54	60	66	24	28	58
14:00	24	48	50	56	60	23	26	56
15:00	22	40	42	50	56	23	26	52
16:00	20	36	38	44	54	22	24	48
17:00	18	28	30	42	50	22	23	44

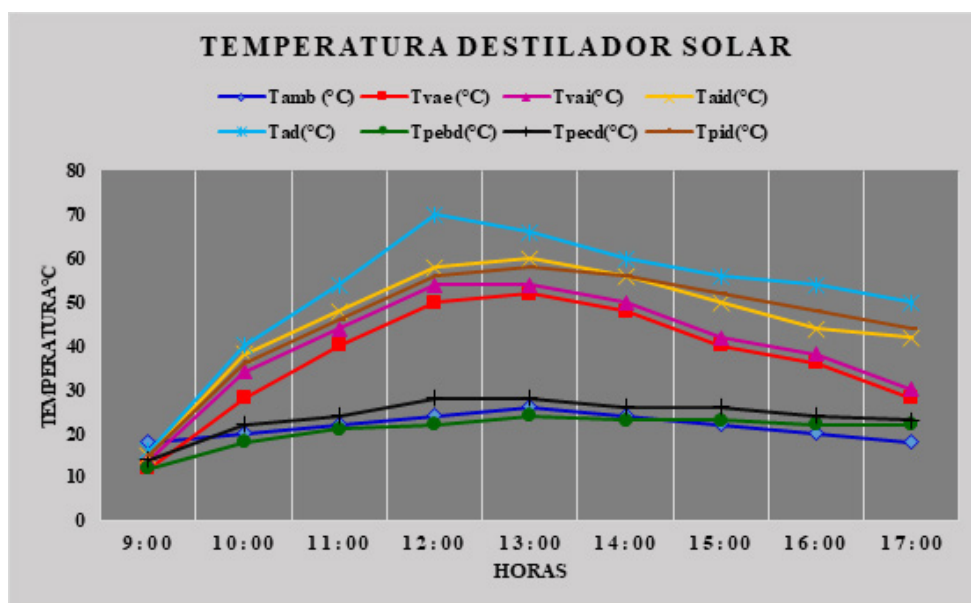


Figura 6. Temperatura del destilador solar de una sola vertiente, día 05/10/2022.

Adicionalmente, al examinar la Figura 6 correspondiente al 05 de octubre de 2022, se observa un notorio aumento de la temperatura en todos los componentes del destilador solar de una sola vertiente alrededor del mediodía. Este aumento térmico evidente respalda de manera concluyente la eficacia del diseño y operación del destilador solar, ya que demuestra su capacidad

para generar y acumular calor de manera efectiva. Este aspecto es esencial para lograr la desalinización del agua de mar y obtener agua purificada. Estos resultados validan la eficiencia del sistema y refuerzan la importancia del uso de la energía solar como fuente renovable y sostenible en el proceso de destilación.

Tabla 5. La temperatura del destilador solar de una sola vertiente día 14/10/2022.

Hora	T _{amb} (°C)	T _{vae} (°C)	T _{vai} (°C)	T _{aid} (°C)	T _{ad} (°C)	T _{pebd} (°C)	T _{pecd} (°C)	T _{pid} (°C)
	Temperatura ambiente	Temperatura del vidrio en el área externa	Temperatura del vidrio en el área interna	Temperatura del aire en el interior del destilador	Temperatura del Agua en el destilador	Temperatura en la parte externa de la base del destilador	Temperatura en la pared interna del destilador	Temperatura en la parte externa del costado del destilador
09:00	17	11	13	14	15	11	13	14
10:00	21	27	32	36	38	17	21	34
11:00	25	39	42	46	52	20	22	44
12:00	28	51	52	57	68	21	27	54
13:00	28	52	55	59	64	23	26	57
14:00	24	47	49	55	59	22	25	55
15:00	22	39	41	49	55	22	25	54
16:00	19	34	36	42	53	21	23	47
17:00	17	26	28	40	49	21	22	43

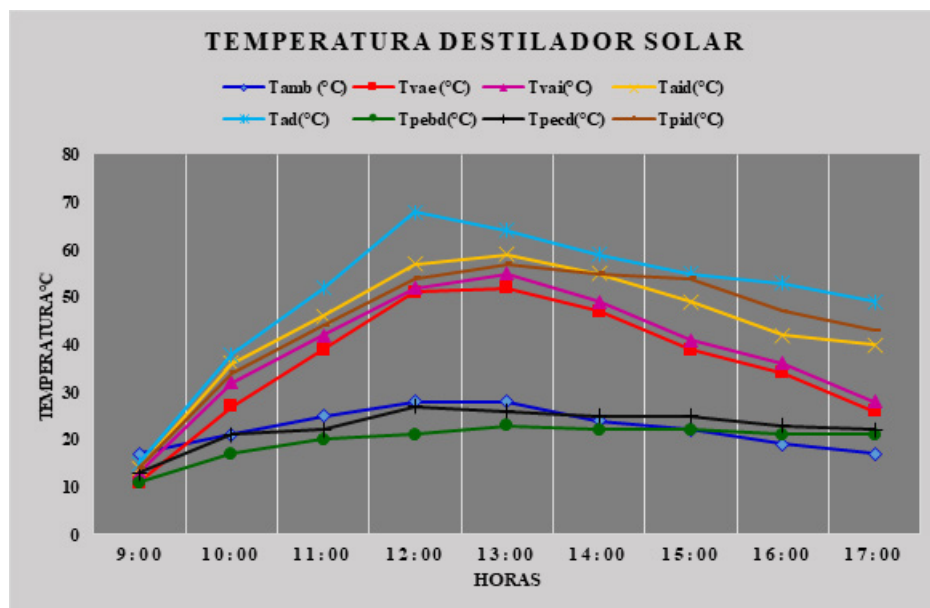


Figura 7. Temperatura obtenida del destilador solar de una sola vertiente, día 14/10/2022.

Asimismo, en concordancia con los resultados antecedentes, la Figura 7, correspondiente al 14 de octubre de 2022, exhibe de manera patente un aumento notable de temperatura en la totalidad del sistema del destilador solar de una única vertiente alrededor del horario de las 12:00. Esta tendencia al ascenso térmico refuerza la coherencia en el funcionamiento del destilador solar, ratificando una vez más su eficacia en la producción y acumulación de calor requeridos para ejecutar la desalinización del agua marina y obtener agua depurada. Estos resultados suplementarios refutan aún más la autenticidad y la eficacia del diseño e implementación de la tecnología del destilador solar de una sola vertiente, poniendo de manifiesto la utilización provechosa de la energía solar como una fuente renovable y sostenible en el proceso de destilación.

Volumen obtenido del destilador solar:
 El cálculo del volumen logrado mediante el destilador solar se llevó a cabo considerando el período desde las 9:00 am hasta las 5:00 pm, totalizando 8 horas de funcionamiento del dispositivo. Durante este lapso, se obtuvo un total de 0.524 ml de agua purificada. La Figura 8, al analizar la productividad a lo largo de estas 8 horas de operación del destilador solar, reveló un aumento progresivo en la producción. Se observa que a medida que avanzan las horas, la irradiación solar aumenta, alcanzando su punto máximo alrededor del mediodía y luego disminuyendo. Este patrón de irradiancia solar influyó en el incremento del volumen de agua purificada obtenido.



Figura 8. Volumen obtenido del destilador solar, día 05/10/2022.

El volumen obtenido del destilador solar se registró como 0.12 litros. Este resultado señala la cantidad de agua depurada generada mediante el método de destilación solar. La efectividad del destilador solar, en combinación con las circunstancias climáticas y operativas, ejercieron influencia sobre el volumen final conseguido. Es relevante resaltar que, aunque el volumen puede variar debido a distintos factores, este valor ilustra el potencial inherente de la tecnología de destilación solar para producir agua potable.

DISCUSIÓN

En esta investigación al evaluar el destilador solar de tipo una vertiente y la purificación de la calidad de agua se pudo encontrar que a recoger la muestra de agua de mar de la playa Punta Lomitas para ser desalinizadas u obtener agua de calidad como se muestra los resultados de las diferentes en las Tablas 4 y 5 respectivamente, en ella se puede observar las temperaturas mínimas y máximas registrados en el mes de octubre de este año y se consideró 2 fechas para el estudio, se tomó la fecha 05/10/2022 (14°C a 29°C), como se muestra en la Figura 6, a las distintas horas (09:00 am hasta las 17:00 pm) con sus respectivas temperaturas obtenidas del destilador solar, en este caso se consideró la hora solar meridiana 12:00 m, la de mayor intensidad solar, donde se registró las distintas temperaturas más eficientes del sistema como son: $T_{amb} = 29^{\circ}\text{C}$, $T_{vae} = 50^{\circ}\text{C}$, $T_{vai} = 54^{\circ}\text{C}$, $T_{aid} = 58^{\circ}\text{C}$, $T_{ad} = 70^{\circ}\text{C}$, $T_{pebd} = 22^{\circ}\text{C}$, $T_{pecd} = 28^{\circ}\text{C}$, $T_{pid} = 56^{\circ}\text{C}$ y la otra

fecha 14/10/2022 (11°C a 28°C), como se muestra en la figura 7, las distintas horas (09:00 am hasta las 17:00 pm) con sus respectivas temperaturas obtenidas del destilador solar, en este caso se consideró la hora solar meridiana 12:00 m, donde se registra las distintas temperaturas más eficientes del sistema como son: $T_{amb} = 28^{\circ}\text{C}$, $T_{vae} = 51^{\circ}\text{C}$, $T_{vai} = 52^{\circ}\text{C}$, $T_{aid} = 57^{\circ}\text{C}$, $T_{ad} = 68^{\circ}\text{C}$, $T_{pebd} = 21^{\circ}\text{C}$, $T_{pecd} = 27^{\circ}\text{C}$, $T_{pid} = 54^{\circ}\text{C}$. Además, Dev y Tiwari, en su investigación considero que la plancha galvanizada, permite obtener agua pura que está en condiciones para el consumo humano y que durante el proceso hace un buen adecuado uso de la energía solar, que contribuye en obtener agua pura (12), por lo que el sistema propuesto destilador solar con un área de 0.24 m², está en condiciones de obtener una buena calidad de agua en ausencia de patógenos u otros contaminantes químicos que puedan producir enfermedades. Para Sampathkumar et al., el rendimiento del destilador solar tipo una vertiente, también depende de parámetros climáticos, la temperatura ambiente, la intensidad de la radiación solar y las condiciones meteorológicas, el ángulo de inclinación, la orientación del destilador solar y la profundidad del agua de mar (3). Por lo que el sistema propuesto reúne toda la condición de los parámetros de operación para un buen funcionamiento en la obtención de una buena calidad de agua tomando como muestra agua de mar para ser desalinizada y estar en óptimas condiciones de salubridad.

CONCLUSIONES

Los resultados del análisis fisicoquímico y bacteriológico revelaron que el destilado obtenido del agua de mar de la playa Punta Lomitas, ubicada en el distrito de Ocucaje, cumple con los parámetros establecidos en el Decreto Supremo N°015-2015-MINAM. Se observó una reducción significativa en la concentración de DBO₅, pasando de 5.25 mg/L a 0.0 mg/L, así como en la concentración de coliformes termotolerantes, disminuyendo de 50.45 NMP/100 ml a 0.0 NMP/100 ml en el agua desalinizada. Estos parámetros cumplen con los estándares de calidad de agua para consumo humano.

La desalinización se está convirtiendo en una necesidad cada vez más apremiante a medida que las reservas de agua dulce disminuyen en todo el mundo. De acuerdo con un estudio de la ONU publicado en la revista *Science of the Total Environment*, la desalinización, combinada con un uso responsable de los recursos hídricos, podría desempeñar un papel clave en la solución de la escasez de agua en el futuro.

Es importante resaltar que la desalinización del agua de mar está en consonancia con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 6 de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. Este objetivo tiene como finalidad asegurar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el saneamiento para toda la población. La desalinización, conjuntamente con otras soluciones innovadoras, desempeña un papel clave en garantizar un acceso equitativo y seguro

al agua potable, especialmente en las regiones afectadas por la escasez de agua dulce.

La implementación de tecnologías de desalinización, como el destilador solar de una sola vertiente, puede jugar un papel crucial en el logro de los ODS relacionados con el agua y el saneamiento, promoviendo la utilización sostenible de los recursos hídricos y garantizando el derecho humano al agua potable. Estas soluciones son vitales para hacer frente a los desafíos actuales y futuros relacionados con la disponibilidad de agua dulce y el cambio climático, y contribuir a un desarrollo sostenible a nivel global.

Por tanto, el estudio realizado, respaldan la viabilidad y la importancia de la desalinización como una solución eficaz para la obtención de agua potable a partir del agua de mar. Estos hallazgos tienen implicaciones significativas en la gestión y conservación de los recursos hídricos, y podrían ser considerados para su aplicación en el ámbito de la política y la planificación a nivel mundial

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Brisson M, Garcia S, Di Pietro L. La Cumbre del Milenio y los Compromisos Internacionales. *Cons Nac Coord Políticas Soc Pres la Nación*. Published online 2014:1-26. <https://n9.cl/ttkpr3>

2. Córdova P, Barrios T, Córdova IC. *Modelación del sistema de destilación solar y la desalinización de agua de mar en la Bahía de Paracas*. 1ra Edicio. (Barp E, Bampi G, Bueno G, Zanardi I, Becker J, Miranda J, eds.). Universidad Do Contestado - UnC; 2021. <https://repositorio.unc.br:8443/xmlui/handle/123456789/219>
3. Sampathkumar K, Arjunan T V., Pitchandi P, Senthilkumar P. Active solar distillation-A detailed review. *Renew Sustain Energy Rev*. 2010;14(6):1503-1526. doi:10.1016/j.rser.2010.01.023
4. Elgendi M, Selim Y, Aldhaheri A, Alshehhi W, Almarshoodi H, Alhefeiti A. Design procedures for a passive pyramid solar still with an automatic feed water system. *Alexandria Eng J*. 2022;61(8):6419-6431. doi:10.1016/j.aej.2021.12.002
5. Ayoub G, Malaeb L. Developments in solar still desalination systems: A critical review. *Crit Rev Environ Sci Technol*. 2012;42(19):2078-2112. doi:10.1080/10643389.2011.574104
6. Esmailion F. Hybrid renewable energy systems for desalination. *Springer*. Published online 2020:1-47. doi:10.1007/s13201-020-1168-5
7. Jones E, Qadir M, van Vliet MTH, Smakhtin V, Kang S mu. The state of desalination and brine production: A global outlook. *Sci Total Environ*. 2019;657:1343-1356. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.12.076
8. Anand B, Shankar R, Murugavelh S, Rivera W, Midhun Prasad K, Nagarajan R. A review on solar photovoltaic thermal integrated desalination technologies. *Renew Sustain Energy Rev*. 2021;141(February):110787. doi:10.1016/j.rser.2021.110787
9. Al-Karaghoul A, Kazmerski LL. Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes. *Renew Sustain Energy Rev*. 2013;24:343-356. doi:10.1016/j.rser.2012.12.064
10. Felix C. Sistema de Destilacion Solar Para Purificacion de Aguas Salobres. *Tesis Prof*. Published online 2020. <https://acortar.link/o6BAHy>
11. Polo C, Pérez Cruz A. Construcción y caracterización de un destilador solar de una vertiente con superficie reflectora. *Ciencias*. 2020; 4(4): 03-13. doi:10.33326/27066320.2020.4.981
12. Dev R, Tiwari G. Characteristic equation of a passive solar still. *Desalination*. 2009;245(1-3):246-265. doi:10.1016/j.desal.2008.07.011
13. Ahmed H, Najib A, Zaidi AA, Naseer M, Kim B. Modeling, design optimization and field testing of a solar still with corrugated absorber plate and phase change material for Karachi weather conditions. *Energy Reports*. 2022;8:11530-11546. doi:10.1016/j.egy.2022.08.276
14. Li C, Goswami Y, Stefanakos E. Solar assisted sea water desalination: A review. *Renew Sustain Energy Rev*. 2013;19:136-163. doi:10.1016/j.rser.2012.04.059
15. Kern D. *Procesos de Transferencia de Calor*. TRIGÉSIMA. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V-Mexico; 1999. <https://acortar.link/T944OS>
16. Del Valle Poma F. Diseño y Construcción de un Destilador Solar de Múltiples Etapas Acoplado a un Colector Solar de Tudos de Calor Cconcentrado. *Tesis Maest*. Published online 2022. file:///C:/Users/Usuario/Downloads/del-valle-poma-fortunato.pdf
17. Decreto Supremo N°015-2015-MINAM. Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación. *Norma Leg*. Published online 2015:7 Pag. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/12/Decreto-Supremo-N-015-2015-MINAM.pdf>
18. Weatherspark. El clima y el tiempo promedio en todo el año en Ica. Pag. Web. Published 2020. <https://es.weatherspark.com/y/22218/Clima-promedio-en-Ica-Perú-durante-todo-el-año>