

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

**Escuela de Posgrado**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL  
Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

**EFEECTO DE PARÁMETROS DE DISEÑO EN EL FACTOR  
DE PRODUCCIÓN DE UN DESTILADOR SOLAR  
DE UNA VERTIENTE EN LA DESTILACIÓN  
DE AGUA DE MAR EN TACNA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**DANITZA DEL ROSARIO PERCA MACHACA**

**Para optar el Grado Académico de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS (*MAGISTER SCIENTIAE*) CON MENCIÓN  
EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

**TACNA - PERÚ**

**2025**

# UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN


## Escuela de Posgrado

### MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE

### EFECTO DE PARÁMETROS DE DISEÑO EN EL FACTOR DE PRODUCCIÓN DE UN DESTILADOR SOLAR DE UNA VERTIENTE EN LA DESTILACIÓN DE AGUA DE MAR EN TACNA

Tesis sustentada y aprobada el 14 de marzo del 2025 siendo el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE:

  
.....  
Dr. Nataniel Mario Linares Gutiérrez

SECRETARIO:

  
.....  
Dr. Edgar Chaparro Aguilar

MIEMBRO:

  
.....  
Dr. Hugo Alfredo Torres Muro

ASESOR:

  
.....  
Dr. Hugo Alfredo Torres Muro

### CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dr. Hugo Alfredo Torres Muro , en mi condición de asesor acreditado con Resolución de Escuela de Posgrado N° 14657-2024-ESPG/UNJBG del 18 de octubre del 2024, del trabajo de tesis titulado: "*Efecto de parámetros de diseño en el factor de producción de un destilador solar de una vertiente en la destilación de agua de mar en Tacna*", presentado por la Srta. Danitza del Rosario Perca Machaca, para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias (*Magister Scientiae*) con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 5%

Por lo que CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis y está de acuerdo al nivel PERMITIDO, para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado a solicitud del interesado con fines de continuar con los trámites respectivos para la obtención del Grado Académico de Maestro en Ciencias (*Magister Scientiae*) con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible.

Tacna, 25 febrero del 2025

FIRMA ASESOR  
Nombres y apellidos

.....  
Dr. Hugo Alfredo Torres Muro  
DNI N° 17819311




FIRMA TESISTA  
Nombres y apellidos

.....  
Srta. Danitza del Rosario Perca Machaca  
DNI N° 76979739




## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi familia, quienes han sido el pilar fundamental en cada etapa de mi vida. A mis padres, por su esfuerzo incansable, enseñándome con su ejemplo que el sacrificio y la perseverancia son las claves para alcanzar los sueños. A mis hermanos, por su apoyo constante y palabras de aliento en los momentos más difíciles. Asimismo, dedico esta tesis a mis seres queridos, quienes, con su compañía y motivación, han sido una fuente de fortaleza durante este camino. Finalmente, dedico este logro a todas aquellas personas que, aunque no estén físicamente presentes, dejaron una huella imborrable en mi vida y en mi formación personal y profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de manera significativa a la realización de este trabajo. En primer lugar, a Dios, por darme salud, fortaleza y la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida. A mis docentes y, en especial, a mi asesor de tesis Dr. Hugo Torres Muro, por su orientación, paciencia y consejos durante todo el proceso. Su experiencia y apoyo fueron clave para superar los desafíos que surgieron en el desarrollo de esta investigación.

Agradezco también a mis compañeros y amigos de la carrera de Ingeniería Ambiental, quienes, con su solidaridad y colaboración, hicieron de esta experiencia algo inolvidable.

Finalmente, agradezco a todas las instituciones, profesionales y personas que, de alguna manera, apoyaron esta investigación brindándome herramientas, conocimientos y confianza para alcanzar mis objetivos.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág</b>
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	4
1.1 Descripción del problema.....	4
1.2 Formulación del problema.....	6
1.2.1 Problema general.....	6
1.2.2 Problemas específicos .....	6
1.3 Justificación en importancia de la investigación.....	6
1.3.1 Justificación social .....	6
1.3.2 Justificación económica .....	7
1.3.3 Justificación ambiental.....	7
1.4 Objetivos .....	7
1.4.1 Objetivo general.....	7
1.4.2 Objetivos específicos .....	8
1.5 Hipótesis.....	8
1.5.1 Hipótesis general.....	8
1.5.2 Hipótesis específicas .....	8
1.6 Variables.....	9
1.6.1 Identificación de las variables.....	9
1.6.2 Caracterización de las variables.....	9
1.6.3 Operacionalización de las variables.....	9

1.7	Limitaciones de la investigación .....	10
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....		11
2.1	Antecedentes del estudio .....	11
2.1.1	Antecedentes internacionales .....	11
2.1.2	Antecedentes nacionales .....	13
2.1.3	Antecedentes regionales.....	14
2.2	Bases teóricas .....	16
2.2.1	Destilador solar .....	16
2.2.2	Factores que influyen en los destiladores solares .....	21
2.2.3	Agua de mar .....	29
2.2.4	Calidad del agua.....	33
2.3	Definición de términos .....	37
2.3.1	Profundidad.....	37
2.3.2	Almacenador térmico.....	38
2.3.3	Reflector interno .....	38
2.3.4	Eficiencia .....	38
2.3.5	Factor de producción.....	38
2.3.6	Producción .....	38
2.3.7	Destilación .....	39
2.3.8	Destilador solar de una vertiente.....	39
2.3.9	Mar.....	39
2.3.10	Agua destilada .....	39
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....		40
3.1	Tipo y diseño de la investigación .....	40
3.1.1	Enfoque y tipo de investigación.....	40
3.1.2	Diseño experimental .....	40

3.2	Población y muestra de estudio .....	41
3.2.1	Población.....	41
3.2.2	Muestra .....	42
3.3	Acciones y actividades para la ejecución del proyecto .....	42
3.3.1	Comportamiento térmico del destilador solar .....	43
3.3.2	Producción de agua destilada de mar .....	48
3.3.3	Análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua obtenida de la destilación solar de agua de mar .....	48
3.4	Materiales e instrumentos.....	50
3.5	Técnicas para la recolección de datos .....	51
3.6	Tratamiento de datos .....	51
	<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....</b>	<b>53</b>
4.1	Comportamiento térmico del destilador solar .....	53
4.1.1	Monitoreo térmico del destilador solar .....	53
4.1.2	Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de rango múltiple de Tukey: Temperatura máxima y eficiencia .....	61
4.2	Producción de agua destilada de mar .....	64
4.2.1	Volumen acumulado de agua destilada de mar y su factor de producción..	64
4.2.2	Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de rango múltiple de Tukey: Volumen acumulado de agua destilada de mar y eficiencia de producción.....	66
4.3	Análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua obtenida de la destilación solar de agua de mar .....	70
4.3.1	Resultados fisicoquímicos y microbiológicos del agua inicial y destilada de mar .....	70
4.3.2	Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de contraste múltiple de Tukey: pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y salinidad .....	73

DISCUSIÓN .....	77
5.1 Comportamiento térmico del destilador solar .....	77
5.2 Producción de agua destilada de mar .....	80
5.3 Análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua obtenida de la destilación solar de agua de mar .....	83
CONCLUSIONES .....	87
RECOMENDACIONES .....	89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	90
ANEXOS .....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág</b>
Tabla 1. Tipos de destiladores solares .....	18
Tabla 2. Propiedades de materiales de almacenamiento de energía térmica .....	25
Tabla 3. Tecnologías convencionales y emergentes para desalación .....	32
Tabla 4. Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua, categoría 1, subcategoría A: aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable .....	34
Tabla 5. Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica .....	36
Tabla 6. Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos y parasitológicos.....	37
Tabla 7. Factores del diseño experimental.....	41
Tabla 8. Parámetros de diseño del destilador solar de una vertiente .....	46
Tabla 9. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a evaluar .....	49
Tabla 10. Análisis de varianza de la temperatura del agua en el destilador solar .....	61
Tabla 11. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la temperatura del agua en la cubeta ( $^{\circ}\text{C}$ ) del destilador solar: Reflector interno .....	62
Tabla 12. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la temperatura del agua en la cubeta ( $^{\circ}\text{C}$ ) del destilador solar: Almacenador térmico.....	62
Tabla 13. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la temperatura del agua en la cubeta ( $^{\circ}\text{C}$ ) del destilador solar: Profundidad de agua de mar .....	62
Tabla 14. Análisis de varianza de la eficiencia del destilador solar .....	63
Tabla 15. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la eficiencia (%): Reflector interno.....	63
Tabla 16. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la eficiencia (%): Almacenador térmico .....	64
Tabla 17. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la eficiencia (%): Profundidad de agua de mar .....	64
Tabla 18. Factor de producción ( $\text{L}/\text{m}^2\text{día}$ ) del destilador solar al aplicar los parámetros de diseño .....	66

Tabla 19. Análisis de varianza del volumen acumulado de agua destilada del destilador solar con diferentes parámetros de diseño .....	66
Tabla 20. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) del volumen acumulado de agua destilada (L): Reflector interno .....	67
Tabla 21. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) del volumen acumulado de agua destilada (L): Almacenador térmico .....	67
Tabla 22. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) del volumen acumulado de agua destilada (L): Profundidad de agua de mar .....	68
Tabla 23. Análisis de varianza de la eficiencia de producción de agua destilada del destilador solar con diferentes parámetros de diseño .....	68
Tabla 24. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la eficiencia de producción de agua destilada mediante destilación solar (%): Reflector interno.....	69
Tabla 25. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la eficiencia de producción de agua destilada mediante destilación solar (%): Almacenador térmico .....	69
Tabla 26. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la eficiencia de producción de agua destilada mediante destilación solar (%): Profundidad de agua de mar.....	70
Tabla 27. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la eficiencia de producción de agua destilada mediante destilación solar (%): Interacción del reflector con la profundidad .....	70
Tabla 28. Análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas de muestras de agua de mar antes y después de la destilación solar.....	72
Tabla 29. Análisis de varianza del pH de las muestras de agua de mar y agua destilada de mar destilada obtenida a partir de destilación solar .....	73
Tabla 30. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) del pH de las muestras de agua de mar y agua destilada de mar obtenida a partir de destilación solar...	73
Tabla 31. Análisis de varianza de la conductividad eléctrica de las muestras de agua de mar y agua destilada de mar obtenida a partir de destilación solar .....	74

Tabla 32. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de las muestras de agua de mar y agua destilada de mar obtenida a partir de destilación solar.....	74
Tabla 33. Análisis de varianza de los sólidos disueltos totales de las muestras de agua de mar y agua destilada de mar destilada obtenida a partir de destilación solar.....	75
Tabla 34. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de los sólidos disueltos totales ( $\text{mg}/\text{L}$ ) de las muestras de agua de mar y agua destilada de mar obtenida a partir de destilación solar.....	75
Tabla 35. Análisis de varianza de la salinidad de las muestras de agua de mar y agua destilada de mar destilada obtenida a partir de destilación solar.....	76
Tabla 36. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la salinidad (%) de las muestras de agua de mar y agua destilada de mar obtenida a partir de destilación solar.....	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág</b>
Figura 1. Elementos de un destilador solar y proceso de destilación .....	16
Figura 2. Cambio en la eficiencia de un destilador solar en función de la velocidad del viento.....	23
Figura 3. Efecto de la temperatura ambiente en un destilador solar.....	23
Figura 4. Diagrama de las etapas principales en el desarrollo del trabajo de investigación .....	43
Figura 5. Componentes y puntos de monitoreo en el destilador solar de una vertiente (D1) .....	44
Figura 6. Componentes y puntos de monitoreo en el destilador solar de una vertiente con reflector interno (D2) .....	45
Figura 7. Dimensiones del destilador solar de una vertiente (D1).....	47
Figura 8. Dimensiones del destilador solar de una vertiente con reflector interno (D2) .....	47
Figura 9. Variación de temperatura del D1 y D2 a destilación de 1 cm de profundidad de agua de mar en función a las horas del día e irradiancia solar ( $W/m^2$ ).....	54
Figura 10. Variación de temperatura del D1 y D2 a destilación de 3 cm de profundidad de agua de mar en función a las horas del día e irradiancia solar ( $W/m^2$ ).....	56
Figura 11. Variación de temperatura del D1 y D2 a destilación de 1 cm de profundidad de agua de mar con la adición del almacenador térmico en función a las horas del día e irradiancia solar ( $W/m^2$ ).....	58
Figura 12. Variación de temperatura del D1 y D2 a destilación de 3 cm de profundidad de agua de mar con la adición del almacenador térmico en función a las horas del día e irradiancia solar ( $W/m^2$ ).....	60
Figura 13. Volumen acumulado de agua destilada de mar (L) en función a la combinación de los factores A, B, C en horario diurno-tarde y nocturno- madrugada.....	65
Figura 14. Toma de muestra de agua de mar .....	101

Figura 15. Muestra para análisis de parámetros microbiológicos del agua de mar inicial.....	101
Figura 16. Multiparámetro y pHmetro empleado para el análisis fisicoquímico de las muestras .....	102
Figura 17. Medición de conductividad eléctrica, solidos disueltos totales y salinidad de muestra inicial de agua de mar .....	102
Figura 18. Medición de pH de muestra inicial de agua de mar .....	103
Figura 19. Destilador solar de una vertiente y destilador solar de una vertiente con reflector interno con estación meteorológica en funcionamiento .....	103
Figura 20. Instrumentos de medición empleados en el comportamiento térmico del destilador .....	104
Figura 21. Aplicación de grava en el destilador solar.....	104
Figura 22. Obtención de agua destilada de mar mediante destilación solar .....	105
Figura 23. Medición de volumen acumulado de agua destilada con probeta .....	105
Figura 24. Muestra para análisis de parámetros microbiológicos del agua destilada de mar.....	106
Figura 25. Medición de parámetros fisicoquímicos del agua destilada.....	106

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general evaluar el efecto de los parámetros de diseño en el factor de producción de un destilador solar de una vertiente en la destilación de agua de mar en Tacna. La metodología abarcó la extracción de muestra de 300 L de agua de mar en el balneario Boca del Río, el análisis del comportamiento térmico del destilador solar de una vertiente en el proceso de destilación de agua de mar, la producción de agua destilada y las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua destilada. Para ello, se aplicó un diseño factorial  $2 \times 2 \times 2$ , siendo los factores el reflector interno (D1: destilador solar de una vertiente; D2: destilador solar de una vertiente con reflector interno), almacenador térmico (ST: sin almacenador; AT: con almacenador) y profundidad de agua de mar (P1: 1 cm; P3: 3 cm). Los resultados del comportamiento térmico indican que el D2 con AT a P1 presentó mayor temperatura en el agua igual a 70 °C y una eficiencia de 22,47 %. En relación con la producción de agua destilada de mar, bajo las mismas condiciones, se registró un máximo de 3,09 L/día (factor de producción: 5,25 L/m<sup>2</sup>día) y una eficiencia de producción del 44,71 %. Respecto a las características fisicoquímicas y microbiológicas, se obtuvo el 99 % de eficiencia de remoción, cumpliendo el agua destilada obtenida con el reglamento de calidad de aguas para consumo humano y los estándares de calidad ambiental para agua, categoría 1-A1. En conclusión, los parámetros de diseño evaluados mostraron un impacto positivo en la producción de agua destilada mediante el destilador solar, cumpliendo con estándares de calidad de agua para consumo humano establecidos por la normativa peruana.

**Palabras clave:** Parámetros de diseño, factor de producción, destilador solar, mar, agua destilada.

## ABSTRACT

The general objective of this research was to evaluate the effect of the design parameters on the production factor of a single-slope solar still in the distillation of seawater in Tacna. The methodology included the extraction of a 300 L sample of seawater in the Boca del río resort, the analysis of the thermal behavior of the single-slope solar still in the seawater distillation process, the production of distilled water and the physicochemical and microbiological characteristics of the distilled water. For this purpose, a 2 x 2 x 2 factorial design was applied, the factors being: internal reflector (D1: single-sided solar still; D2: single-sided solar still with internal reflector), thermal storage (ST: without storage; AT: with storage) and seawater depth (P1: 1 cm; P3: 3 cm). The results of the thermal behavior indicate that the D2 with AT at P1 presented a higher water temperature equal to 70 °C and an efficiency of 22,47 %. In relation to the production of distilled sea water, under the same conditions a maximum of 3,09 L/day (production factor: 5,25 L/m<sup>2</sup>day) and a production efficiency of 44,71 % were recorded. Regarding the physicochemical and microbiological characteristics, 99 % removal efficiency was obtained, complying with the distilled water obtained with the regulations on the quality of water for human consumption and the environmental quality standards for water, category 1-A1. In conclusion, the design parameters evaluated showed a positive impact on the production of distilled water using the solar still, complying with the water quality standards for human consumption established by peruvian regulations.

**Keywords:** Design parameters, production factor, solar still, sea, distilled water.

## INTRODUCCIÓN

La demanda de agua dulce y energía son productos básicos que aumentan drásticamente en el siglo XXI en comparación con el siglo pasado, debido al crecimiento exponencial de la población mundial, el avance industrial y la necesidad agrícola. Aunque el planeta Tierra tiene un 71 % de superficie bajo el agua, solo el 1 % es accesible como agua potable, el resto pertenece a los océanos que tienen una salinidad que varía de 0,5 ppt a 50 ppt y más, lo que no es potable (Water, 2019). El informe sobre el desarrollo del agua publicado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) destaca la conjugación del cambio climático y la escasez de agua y también reveló que la tasa de consumo de agua a nivel mundial aumentó seis veces desde el siglo pasado y va más allá a un ritmo del 1 % cada año (UNESCO, 2020).

La humanidad ha recurrido a otras alternativas para satisfacer las necesidades de agua, como la desalinización (Ben et al., 2023). Este proceso implica el principio básico de evaporación y condensación, para obtener agua dulce del agua cruda (salada, salobre o residual). El prerequisite de este proceso es un alto consumo de energía. Por lo tanto, las naciones ricas (Arabia Saudita, Emiratos Árabes Unidos, Rusia, Irak) en combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) tienen la ventaja de operar sus plantas basadas en petróleo, como combustible fósil principal (Kumar et al., 2022).

La destilación mediante el aprovechamiento de la luz solar es una de las formas de energía térmica que se pueden utilizar para impulsar ese proceso. La luz solar tiene la ventaja de un costo de combustible cero. La construcción y el funcionamiento de un destilador solar de una sola vertiente utilizado para convertir el agua salada en agua potable es muy simple y casi no requiere costos de operación y mantenimiento. La irradiación solar incidente pasa a través de la cubierta transparente y es absorbida por la placa de la cubeta. En consecuencia, el agua contenida en la cubeta se calienta y se evapora en las condiciones saturadas dentro del destilador. Los vapores de agua se elevan hacia la superficie interior más fría de la cubierta. Allí, se condensan en agua pura que se desliza por la superficie inferior de la cubierta debido a la gravedad y se recogen en una bandeja colectora (Rajamanickam et al., 2021).

La desalinización solar demostró tener un gran potencial para hacer frente a la demanda a nivel doméstico. Aunque tiene muchas ventajas, durante la noche, presenta una disminución a cero en la tasa de producción de agua dulce, debido a la ausencia de energía solar (Kumar et al., 2022). Para superar estas deficiencias, los dispositivos de desalinización solar pasaron por varios tipos de modificaciones para hacerlos más eficientes y productivos a través de los parámetros de diseño, como la profundidad del agua, el uso de materiales de almacenamiento térmico y la incorporación de reflectores. Estos pueden optimizarse para maximizar la producción de agua destilada, minimizando pérdidas energéticas y mejorando la eficiencia del sistema (Jathar et al., 2022).

En el caso de Tacna, al ser una región con alta irradiancia solar y por su proximidad al océano, cuenta con características ideales para implementar soluciones sostenibles que aborden la crisis hídrica mediante energías renovables (Cossío, 2024). En este contexto, el uso de tecnologías sostenibles para la desalinización, como los destiladores solares, se presenta como una alternativa viable y económica, aprovechando la energía solar como fuente limpia y renovable para la desalinización del agua de mar.

Ante ello, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de parámetros de diseño en el factor de producción de un destilador solar de una vertiente en la destilación de agua de mar en la ciudad de Tacna, donde se analizó el comportamiento térmico, la producción del agua destilada y las características fisicoquímicas y microbiológicas antes y después del proceso de destilación solar de agua de mar.

Por consiguiente, la estructura de esta investigación se organiza en cinco capítulos, así como se detalla a continuación. En el capítulo I, se aborda la formulación del problema, descripción del problema, la justificación e importancia del estudio, los objetivos, hipótesis, variables y limitaciones de la investigación. En el capítulo II, se desarrolla el marco teórico, que sustenta conceptualmente la investigación mediante antecedentes de estudio, bases teóricas y definición de términos. En el capítulo III, se describe el marco metodológico, detallando el tipo y diseño de la investigación, población y muestra de estudio, acciones y actividad para la ejecución del proyecto, materiales e instrumentos y tratamiento de datos. En el capítulo IV, se presentan y se analizan los

resultados de la investigación. Por último, en el capítulo V, se realiza la discusión de los resultados.

Finalmente, se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos, que ofrecen una base para futuras investigaciones en el área.

## CAPÍTULO I

### FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.1 Descripción del problema

La escasez de agua potable es un problema crítico en muchas regiones del mundo especialmente en áreas áridas y semiáridas. El uso humano del recurso hídrico se centra principalmente en el agua dulce para el desarrollo de actividades domésticas, agrícolas, industriales, entre otros (Grueso, 2021). En el planeta, alrededor del 2,5 % del agua es dulce (el 69,7 % de esta corresponde a casquetes glaciares y polares, el 30 % se encuentra almacenada en acuíferos y el 0,3 % en los ríos y lagos). El 97,5 % restante es agua salada encontrándose contenida en mares y océanos (Nalco, 2018), la cual no es considerada apta para el uso doméstico, la agricultura o industria, sin antes someterse a tratamientos avanzados y costosos (Grueso-Dominguez et al., 2019).

Entre las tecnologías empleadas para la desalinización del agua, se encuentran los métodos de separación por membranas, como la osmosis inversa, la nanofiltración y la destilación por membrana; los métodos de destilación en múltiples etapas y compresión mecánica de vapor y otros métodos como la electrodiálisis y el intercambio catiónico. El sistema de desalinización del agua más usado por países desarrollados y de occidente es la osmosis inversa por su producción, mientras que países de oriente medio prefieren los sistemas de destilación en múltiples etapas por la elevada cantidad de petróleo que pueden disponer para la utilización de esa tecnología (Alkaisi et al., 2017). El limitante en el uso de estas tecnologías es el elevado costo económico asociado (costos de capital, operación y mantenimiento), especialmente debido al consumo intensivo de energía (Silva y Cunha, 2017). Además, el uso de combustibles fósiles como fuente de energía disminuye su atractivo de implementación por las emisiones de dióxido de carbono, sumado a las preocupaciones sobre el cambio climático y la necesidad en el uso de energía limpia y renovable (Cordova et al., 2021). Es relevante resaltar que las tecnologías aplicadas son más útiles si la comunidad se apropia de ellas y es capaz de mantenerlas, operarlas y sostenerlas a través del tiempo con un mínimo apoyo de instituciones externas.

En cuanto a sistemas de evaporación-condensación, se encuentran los destiladores solares, donde la producción de agua destilada a partir del agua de mar se presenta como una alternativa de solución, aprovechando la energía solar para desalinizar agua de mar. Un destilador solar puede producir entre 1 a 1,5 L/m<sup>2</sup>día de agua destilada. La producción de destilado puede ser menor debido a diferentes parámetros, como pérdidas generadas, parámetros de diseño y configuración, materiales utilizados; por lo tanto, se hace necesario incrementar su producción (Mevada et al., 2022). La eficiencia y producción de estos sistemas de destilación depende principalmente de tres factores: las condiciones ambientales, operativas y de diseño (Panchal, 2016). Las condiciones ambientales pueden verse afectadas por la variabilidad de la radiación solar, especialmente durante la noche, cuando la producción de agua destilada se ve limitada. Las condiciones de operación incluyen la coloración del agua, alimentación del agua, etc. En cuanto a las condiciones de diseño están comprendidas por la profundidad del agua, uso de materiales de almacenamiento térmico, reflectores, entre otros. La profundidad del agua en el sistema puede influir en la temperatura de evaporación y en la producción de destilación. La falta de un almacenador térmico y reflector puede llevar a la pérdida de energía recolectada durante el día, impidiendo el uso óptimo del sistema durante las horas donde la radiación solar no está disponible (Abujazar et al., 2016).

La ciudad de Tacna está ubicada en una región desértica con recursos hídricos limitados, donde, en los últimos años, la disponibilidad de agua en la región ha disminuido debido a la sobreexplotación de los acuíferos, la contaminación y la sedimentación de los ríos y lagunas; así como la demanda de agua para diferentes usos (agricultura, minería, consumo humano, etc.). Asimismo, la escasez de agua afecta la producción agrícola, lo que puede generar pérdidas económicas y afectar la seguridad alimentaria, a su vez la falta de acceso a agua potable y servicios sanitarios adecuados afecta la salud y el bienestar de la población, especialmente en zonas rurales y marginadas (Cossío, 2024). No obstante, la región presenta una alta irradiancia solar y la disponibilidad de agua de mar la convierten en un lugar propicio para implementar tecnologías de destilación solar; sin embargo, para optimizar la producción de agua destilada, es esencial entender cómo la profundidad del agua, los reflectores y los almacenadores térmicos influyen en el destilador solar.

## **1.2 Formulación del problema**

### ***1.2.1 Problema general***

¿Qué efecto tienen los parámetros de diseño en el factor de producción de un destilador solar de una vertiente en la destilación de agua de mar en Tacna?

### ***1.2.2 Problemas específicos***

¿Cómo es el comportamiento térmico del destilador solar de una vertiente al aplicar diferentes parámetros de diseño (profundidad, almacenador térmico, reflector interno)?

¿Cuál es la producción de agua destilada de mar del destilador solar de una vertiente al aplicar diferentes parámetros de diseño (profundidad, almacenador térmico, reflector interno)?

¿Cuáles serán las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua obtenida de la destilación solar de agua de mar?

## **1.3 Justificación en importancia de la investigación**

### ***1.3.1 Justificación social***

Desde el punto de vista social, puede contribuir como una alternativa de solución a la problemática hídrica regional, particularmente para uso doméstico y artesanal. La implementación de destiladores solares puede mejorar el acceso del recurso hídrico aprovechable para poblaciones vulnerables cercanas al mar, mejorando la calidad de vida y reduciendo enfermedades asociadas al consumo de agua no tratada; asimismo, esta investigación puede funcionar como herramientas educativas para comunidades locales sobre la importancia de la sostenibilidad, el uso de energías renovables y la optimización de la eficiencia de los destiladores solares para la producción de agua destilada de mar, fomentando una cultura de conservación y responsabilidad hacia el recurso hídrico.

### ***1.3.2 Justificación económica***

Desde el punto de vista económico, la producción de agua destilada de agua de mar mediante la destilación solar presenta un costo operativo menor comparado con métodos convencionales que utilizan energía fósil. La fuente energética de los destiladores solares es el sol. Al utilizar la energía solar, se minimizan los gastos en combustibles y se aprovecha un recurso natural abundante en la región, lo que puede generar un modelo de producción más sostenible y menos dependiente de fuentes externas de energía, coadyuvando de esta manera a generar nuevos puestos de trabajo.

### ***1.3.3 Justificación ambiental***

Desde el punto de vista ambiental, la obtención agua destilada de mar mediante destiladores solares es una alternativa amigable con el ambiente al aprovechar las condiciones de irradiancia solar global de la región; además, para su funcionamiento, no se emplean combustibles fósiles, por lo que no se generan emisiones contaminantes atmosféricos, reduciendo la huella de carbono y contribuyendo con la mitigación del cambio climático; asimismo, la destilación solar puede contribuir a la gestión y conservación de recursos hídricos al ofrecer una alternativa para obtener agua destilada a partir de agua de mar, reduciendo la presión sobre acuíferos locales u otras fuentes de obtención hídrica y aprovechable para actividades humanas (riego de cultivos, actividades recreativas, entre otros). Por otra parte, el uso de parámetros de diseño como: profundidad, reflectores y almacenadores térmicos puede incrementar la eficiencia y producción de los destiladores, conservando y liberando calor durante la noche. Con ello, el estudio contribuiría a la promoción de tecnologías sostenibles, resaltando el potencial de los destiladores solares como una alternativa viable para zonas áridas o con escasez de agua dulce.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo general***

Evaluar el efecto de los parámetros de diseño en el factor de producción de un destilador solar de una vertiente en la destilación de agua de mar en Tacna.

### **1.4.2 *Objetivos específicos***

- a) Evaluar el comportamiento térmico del destilador solar de una vertiente al aplicar diferentes parámetros de diseño (profundidad, almacenador térmico, reflector interno).
- b) Determinar la producción de agua destilada de mar en un destilador solar de una vertiente al aplicar diferentes parámetros de diseño (profundidad, almacenador térmico, reflector interno).
- c) Analizar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua obtenida de la destilación solar de agua de mar.

## **1.5 Hipótesis**

### **1.5.1 *Hipótesis general***

El factor de producción de un destilador solar de una vertiente para la destilación de agua de mar en Tacna mejora significativamente al aplicar diferentes parámetros de diseño.

### **1.5.2 *Hipótesis específicas***

- a) El destilador solar presenta un comportamiento térmico más elevado al incorporar diferentes parámetros de diseño (profundidad, almacenador térmico, reflector interno).
- b) Se obtiene mayor producción de agua destilada de mar en un destilador solar al aplicar diferentes parámetros de diseño (profundidad, almacenador térmico, reflector interno).
- c) Las características fisicoquímicas y microbiológicas evaluadas del agua destilada de mar obtenida de la destilación solar cumplen con el estándar de calidad ambiental para agua y el reglamento de calidad de aguas para consumo humano.

## 1.6 Variables

### 1.6.1 Identificación de las variables

#### a) Variable independiente

$X_1$ : Parámetros de diseño

#### b) Variable dependiente

$Y_1$ : Factor de producción

### 1.6.2 Caracterización de las variables

#### a) Variable independiente: Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño son las características estructurales y configuraciones del sistema establecidas desde su construcción. Son los parámetros más importantes que afectan la eficiencia de productividad de los destiladores solares y pueden controlarse, desarrollarse y diseñarse fácilmente para mejorar la productividad. Estos parámetros incluyen la profundidad del agua, el material de almacenamiento térmico, reflectores, entre otros (Abujazar et al., 2016).

#### b) Variable dependiente: Factor de producción

El factor de producción de un destilador solar se mide en términos de la cantidad de agua destilada obtenida por metro cuadrado ( $m^2$ ) de superficie del destilador solar. Este valor suele ser un indicador de la eficiencia del destilador solar y puede variar según la ubicación y el diseño del sistema (Polo y Pérez, 2020).

### 1.6.3 Operacionalización de las variables

A continuación, se presenta la operacionalización de variables, en la cual se detallan las variables independientes y dependientes consideradas en la investigación, junto con sus dimensiones e indicadores correspondientes.

*Operacionalización de variables*

<b>Variab</b> les	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>
<b>Independiente</b> X <sub>1</sub> = Parámetros de diseño	Profundidad	- Nivel (cm)
	Almacenador térmico	- Masa (kg)
	Reflector interno	- Dimensión (m <sup>2</sup> )
<b>Dependiente</b> Y <sub>1</sub> = Factor de producción	Comportamiento térmico	- Tiempo (h) - Temperatura (°C) - Eficiencia (%)
	Eficiencia de producción de agua destilada de mar	- Volumen acumulado (L) - Factor de productividad (L/m <sup>2</sup> día) - Eficiencia de producción (%)
	Análisis fisicoquímico	- pH - Conductividad eléctrica (µS/cm) - Salinidad (%) - Sólidos disueltos totales (mg/L)
	Análisis microbiológico	- Coliformes fecales (NMP/100 mL) - Coliformes totales (NMP/100 mL) - Eficiencia de remoción (%)

*Nota.* Elaboración propia.

### 1.7 Limitaciones de la investigación

Las limitantes más resaltantes de esta tecnología se deben a las condiciones climáticas (existencia de nubosidad) y meteorológicas en algunos días del año; asimismo, las evaluaciones se efectuaron en estado estacionario o en modo estático, es decir, el agua se suministró al destilador solar una vez al día para llenar el depósito.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes del estudio

##### 2.1.1 Antecedentes internacionales

En la investigación de Abdelgaleel et al. (2024) denominada *Mejora y evaluación del rendimiento de los destiladores solares mediante reflectores internos y malla de alambre tejida: un enfoque experimental*, de la Universidad del Canal de Suez, Egipto, se incluyeron dos destiladores solares: uno que representa el convencional y el segundo está modificado con reflectores internos y malla de alambre tejida. La eficiencia de los destiladores fue evaluada en condiciones climáticas idénticas, considerando profundidades de agua de 1, 2, 3 y 4 cm. Los resultados obtenidos por los investigadores indicaron que a las profundidades evaluadas e incorporando reflectores internos y malla de alambre tejido, se condujo a un notable aumento porcentual en la eficiencia térmica diaria y la productividad acumulada obteniendo valores de 5,92; 5,30; 5,00 y 4,70 L/m<sup>2</sup>día, habiendo una mayor producción a menor profundidad.

En el trabajo de investigación de Shah et al. (2023) titulado *Análisis del rendimiento de un destilador solar de grava negra*, del Instituto de Tecnología A. D. Patel, India, se estudió la eficiencia de un destilador solar con un medio de almacenamiento de energía de grava negra. Como resultado, la temperatura del agua salada se elevó a aproximadamente 64,4 °C en el destilador solar con grava negra; por lo tanto, reduce una cantidad apreciable de pérdidas de calor en comparación con el destilador solar convencional; asimismo, el uso de grava negra aumenta la tasa de destilación de agua. En conclusión, la energía térmica se acumula en la grava negra, que se utiliza para mantener la vaporización del agua salada durante la tarde y la noche.

En la investigación de Karthick et al. (2022) denominada *Mejora de la productividad de un destilador solar de una sola pendiente con medio de almacenamiento de energía*, se fabricaron dos destiladores solares: uno convencional y otro con el lecho de roca en el estanque (cubeta). Los resultados indican una mejora en la productividad de 18,6 % más que el destilador convencional. En conclusión, utilizar el lecho de roca de la

cuenca como medio de almacenamiento de energía incrementa la eficiencia del destilador solar, pudiendo implementarse en cualquier parte del mundo. El lecho de roca puede absorber energía solar durante la luz solar y liberar la energía para vaporizar el agua de mar después de la luz solar, lo que conduce a un aumento en la productividad del agua dulce.

En la investigación de Mevada et al. (2022) titulada *Investigación y análisis del rendimiento de destiladores solares con materiales de almacenamiento de energía: un análisis de eficiencia energética-exergética*, de la Universidad Tecnológica de Gujarat, Ahmedabad, India, los investigadores efectuaron la comparación entre un destilador solar convencional (CSS) y un destilador solar con materiales de almacenamiento de energía (SSWESM). Durante el trabajo experimental, utilizaron en cantidades iguales diferentes materiales de almacenamiento de energía (ESM), como bolas de vidrio de color negro, granito negro y piedra de mármol blanco. Como resultado, el CSS y SSWESM tuvieron una eficiencia diaria de destilado de 1,4 L/m<sup>2</sup> y 2,5 L/m<sup>2</sup>, respectivamente. Concluyendo que el material de almacenamiento de energía aumenta la evaporación del agua durante el día y libera calor durante la noche, lo que resulta en un mayor rendimiento de destilado que el CSS.

Chandrika et al. (2021) en el trabajo de investigación titulado *Mejoras en el rendimiento de los destiladores solares convencionales utilizando láminas de aluminio reflectantes y espejos de vidrio reflectantes: análisis energético y exergético*, fijaron espejos reflectantes y láminas de aluminio reflectantes en las superficies internas del destilador solar de una sola vertiente. La experimentación se llevó a cabo en tres destiladores: el primer destilador solar con paredes pintadas de negro (CSS-BPW); el segundo destilador solar con paredes de lámina de aluminio reflectante (CSS-RAFW) y el tercer destilador solar con paredes de espejo de vidrio reflectante (CSS-RGMW). Los resultados indican que la producción total de agua destilada del CSS, CSS-RAFW y CSS-RGMW son 3,41; 5,1 y 5,54 L/m<sup>2</sup>. En conclusión, la presencia de espejos reflectantes y láminas de aluminio reflectantes en las superficies internas del destilado solar permite la reflexión de la radiación solar que cae dentro de la cuenca, incrementando la productividad de los destiladores solares.

### 2.1.2 Antecedentes nacionales

La investigación realizada por Valle (2022) titulada *Diseño y construcción de un destilador solar de múltiples etapas acoplado a un colector solar de tubos de calor concentrado* tuvo como objetivo diseñar y construir un prototipo de destilador solar de múltiples etapas para la producción de agua dulce a partir de agua de mar. Los resultados obtenidos indicaron que el destilador presentó una productividad de 7,32 kg/m<sup>2</sup>día y una eficiencia térmica del 14,7 % cuando operaba con superficie extendida. En contraste, sin la superficie extendida, la productividad fue de 4,42 kg/m<sup>2</sup>día y la eficiencia térmica alcanzó 6,6 %. Además, se verificó que la calidad del agua obtenida mediante destilación solar cumplía con los estándares establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (D.S. N°031-2010-SA).

En el estudio desarrollado por Dueñas (2021) titulado *Rendimiento de un destilador solar mejorado para la desalinización de agua en el distrito de Jesús María (Lima-Perú)*, se diseñó un destilador solar mejorado (DSM) y se evaluaron su eficiencia, el volumen acumulado de agua desalada y sus características fisicoquímicas. Los resultados mostraron que el DSM alcanzó una producción máxima de 825 mL de agua desalada, equivalente a 2 291,7 mL/m<sup>2</sup>día, con una eficiencia del 29,4 %. Asimismo, se evidenció que los parámetros fisicoquímicos del agua destilada se encontraban dentro de los valores permitidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 1, subcategoría A. En particular, se observó una reducción del 99,65 % en sólidos disueltos totales, 99,74 % en conductividad eléctrica y una disminución del pH de 7,8 a 6,6. Además, evidenció que la irradiación solar es el factor más determinante en la producción de agua desalada. Finalmente, el estudio destacó que el DSM es una alternativa viable para mitigar la escasez de agua potable en zonas con alta radiación solar y acceso a fuentes de agua salina, debido a su bajo costo y facilidad de mantenimiento.

Barco y Pereda (2021) realizaron la investigación titulada *Potabilización del agua de mar mediante destilador solar en Ancón - Lima 2021*, en la que evaluaron un destilador solar de una vertiente conectado a un canal parabólico solar. El destilador tuvo un área de 125,38 cm<sup>2</sup> y masa de 82 kg; obteniendo como resultado una producción máxima de 4 000 mL; asimismo, la máxima irradiancia solar (800 W/m<sup>2</sup>) la obtuvo entre la 13 a 14 h.

En los parámetros fisicoquímicos analizados tuvo 6,9 de pH, una mínima conductividad eléctrica de 459 uS/cm, sólidos disueltos mínimos de 1 mg/L. En la prueba microbiológica obtuvieron una concentración mínima y en muchos casos 0 UFC/100mL. La investigación concluye señalando que, a mayor radiación, mayor producción de agua potable.

Felix (2020), en su investigación titulada *Sistema de destilación solar para purificación de aguas salobres*, construyó y evaluó un prototipo de destilador solar de una vertiente que permita purificar aguas salobres para consumo humano, cuya área estimada fue de 0,15 m<sup>2</sup>. Los resultados mostraron que existe una dependencia entre las condiciones climáticas (radiación solar) y la cantidad de agua purificada, obteniendo un volumen máximo de 452 mL/día. En cuanto a los análisis fitoquímicos, reportó una disminución en los parámetros evaluados, obteniendo un pH de 7 y conductividad eléctrica de 86,6 uS/cm. Finalmente, el prototipo del destilador solar cumple con las normas de calidad de agua para consumo humano.

En la investigación de Chiroque (2018) denominada *Comparación de destiladores solares para la obtención de agua dulce en pozos de agua salobre en la C.C. San Juan Bautista de Catacaos – Piura –2018*, se elaboró cuatro sistemas de destilación solar. Los resultados indican que el destilador a dos vertientes tuvo volúmenes que van en rangos de 1,509 a 1,763 L/día; el destilador solar modificado a dos vertientes de 1,294 a 1,549 L/día, el destilador en terrazas recolectó de 1,380 a 1,635 L/día y el módulo solar a un agua de 0,784 a 1,038 L/día de producción. Finalmente, el diseño de destilador solar más adecuado es de dos vertientes (dos gotas) al obtener mayor producción de agua destilada.

### **2.1.3 Antecedentes regionales**

En la investigación de Sanga (2023) denominada *Recuperación de agua de los residuos líquidos del proceso de macerado de la aceituna con un destilador solar de una vertiente en la ciudad de Tacna*, se realizó el diseño y construcción de un destilador solar de una vertiente, evaluando su comportamiento térmico y eficiencia; efectuando un diseño factorial 3 x 3, siendo sus factores: el volumen de residuo líquido a destilar (4, 6 y 8 L) y la nubosidad (despejado, seminublado y nublado). Como resultado, el destilador solar tuvo un área de 0,68 m<sup>2</sup>, obteniendo una eficiencia máxima de 11,16 %, su máxima

destilación diaria fue de 966 mL, alcanzando entre 1 069 a 1 239 W/m<sup>2</sup> de irradiancia solar al promediar las 11 a 14 h; asimismo, en la investigación, se señala que, a menor volumen (4 L) y a un estado de nubosidad despejado, se obtiene mayor producción de agua destilada con un promedio de 962,50 mL.

En la investigación de Perca (2023) titulada *Evaluación comparativa de destiladores solares tipo cubeta en la eficiencia de producción/purificación de aguas grises en la ciudad de Tacna*, se evaluó el comportamiento térmico, la eficiencia y producción de los destiladores solares: destilador solar de una vertiente con reflector interno (D1), destilador solar de dos vertientes (D2) y destilador solar piramidal (D3) a diferentes profundidades de agua gris en la cubeta (1, 2 y 3 cm). Como resultado se obtuvo una mayor producción de agua destilada a 1 cm de profundidad, destacando el D1 que alcanzó 73 °C de temperatura máxima; 24,86 % de eficiencia térmica; 3,34 L/día de volumen acumulado de agua destilada, equivalente a 5,66 L/m<sup>2</sup>día como factor de producción; 67,65 % de eficiencia de producción y eficiencia de remoción mayor al 99 % de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados. En conclusión, su D1 fue el más eficiente en la producción de agua purificada.

Méndez (2021), en su investigación titulada *Efecto de uso del agua destilada de mar con energía solar y compost de residuos orgánicos sobre el cultivo de espinaca (Spinacia oleracea L.) en condiciones de invernadero*, elaboró un destilador solar de una vertiente que obtuvo una producción promedio de 1 390 mL/11h con una conductividad eléctrica de 60,984 µS/cm y pH de 6,738. Concluyó que el uso de agua destilada de mar obtenida a partir de la destilación solar y compost de residuos orgánicos influyen sobre el cultivo de vegetales como la espinaca (*Spinacia oleracea L.*).

Polo y Pérez (2020), en su investigación denominada *Construcción y caracterización de un destilador solar de una vertiente con superficie reflectora*, reportó la construcción de un destilador con un área de 0,8 x 1,35 m (1,08 m<sup>2</sup>). Como resultado, bajo las condiciones meteorológicas de la ciudad de Tacna, su destilador alcanzó un desempeño promedio de 2,185 L/día a un volumen inicial de 25 L, alcanzando su producción máxima entre las 13 a 14 h del día cuando la irradiancia solar es de 900 W/m<sup>2</sup>, con una temperatura máxima de 68 °C en el fondo de la cubeta del destilador solar. En

conclusión, su destilador solar de una vertiente se presenta como una alternativa para disponer de agua para consumo humano ante emergencias por desastres naturales y áreas donde exista la presencia de aguas contaminadas; asimismo, el volumen de agua destilada de mar por día es dependiente a la irradiancia solar incidente y el volumen de agua de mar inicial; a menor volumen inicial de agua, mayor es el volumen de agua destilada.

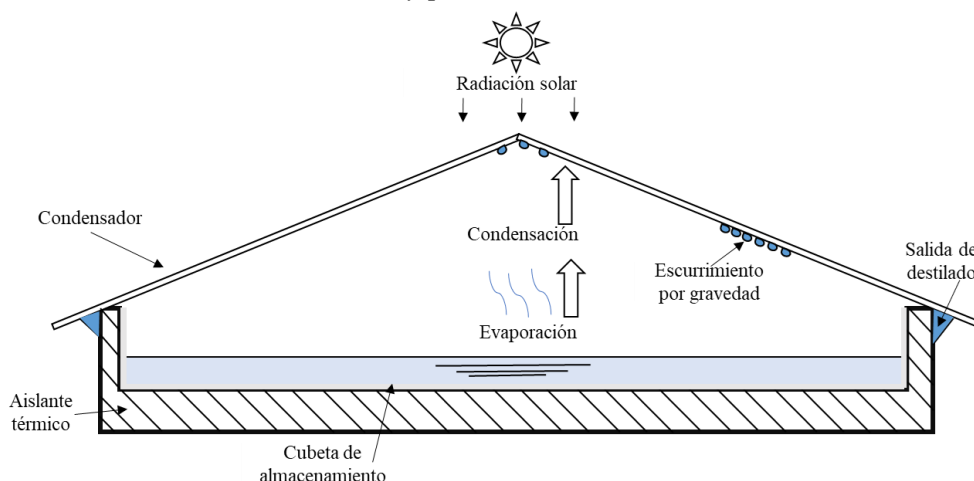
## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 Destilador solar

Los destiladores solares son equipos sencillos que aprovechan la radiación solar para producir agua destilada a partir de fuentes de agua contaminada o salobre. El principio de funcionamiento del sistema de destilación solar se basa en la naturaleza del ciclo hidrológico. La teoría de funcionamiento del destilador solar se basa en el proceso de evaporación y condensación del agua como se muestra en la Figura 1. El recipiente lleno de agua y la cubierta de vidrio inclinada permiten que los rayos del sol pasen a través de él. Tan pronto la radiación solar cae sobre el recipiente, es absorbida y el agua se calienta, lo que conduce a la formación de vapor dentro del destilador. El vapor se condensa en la superficie interior del vidrio, que está a una temperatura más baja que el recipiente y el agua se recoge a través del canal conectado (Shah et al., 2023).

### Figura 1

*Elementos de un destilador solar y proceso de destilación*



*Nota.* Elaboración propia.

Según Cordova et al. (2021), existen prototipos diferentes de destiladores solares, la diferencia radica en la geometría y en los materiales; no obstante, todos ellos involucran los principios similares de operación. Se reconocen las tres siguientes importantes áreas:

- Colector solar: Área diseñada para captar la energía solar incidente.
- Evaporador: Parte donde se realiza la evaporación del agua inicial.
- Condensador: Parte donde el agua evaporada se condensa.

#### a) **Clasificación de destiladores solares**

De acuerdo a Varun y Mathu (2017), los destiladores solares se clasifican en dos categorías principales: pasivos y activos, dependiendo de si utilizan o no fuentes externas de energía además de la radiación solar.

- Destiladores solares pasivos: Son aquellos que utilizan exclusivamente la energía solar para el proceso de destilación, sin emplear fuentes de energía adicionales. Presenta características simples y de bajo costo, ya que no requieren de componentes adicionales como bombas o ventiladores; mantenimiento mínimo, al no depender de sistemas mecánicos o eléctricos, su mantenimiento es sencillo; eficiencia limitada, dependen exclusivamente de la irradiación solar y del diseño del destilador. La producción de agua destilada puede ser más baja en comparación con los sistemas activos. Por ejemplo: Un destilador solar de una vertiente o de doble vertiente (Varun y Mathu, 2017).
- Destiladores solares activos: Estos destiladores utilizan energía adicional (como electricidad o energía mecánica) junto con la radiación solar para mejorar la eficiencia del sistema de destilación. Presenta características de mayor eficiencia, ya que pueden producir más agua destilada porque la energía adicional mejora la velocidad de evaporación y condensación; mayor complejidad, debido a que requieren sistemas eléctricos o mecánicos adicionales, lo que implica un mayor costo inicial y mantenimiento, y mejora en zonas de baja irradiación, funcionan mejor en regiones donde la irradiación solar no es suficiente para un destilador pasivo eficiente. Por ejemplo,

destiladores que utilizan bombas solares para hacer circular el agua y mejorar la tasa de evaporación o condensación (Varun y Mathu, 2017).

En la tabla 1, se observan los principales sistemas de destilación solar desarrollados hasta el presente.

**Tabla 1**

*Tipos de destiladores solares*

<b>Destilador solar</b>	<b>Descripción</b>
Destilador solar de una vertiente	Consiste en una caja inclinada con una superficie de vidrio en un solo ángulo. El agua se evapora por el calor del sol y el vapor se condensa en la parte interna del vidrio, escurriendo hacia un canal colector. Su diseño es simple y fácil de construir. Ideal para zonas con buena radiación solar.
Destilador solar de dos vertientes	Similar al de una vertiente, pero tiene una superficie de vidrio inclinada en ambos lados, permitiendo que el agua se condense en ambos lados del destilador. En este sistema, aumenta la producción de agua debido a que se utilizan ambos lados para la condensación.
Destilador solar piramidal	Tiene una estructura en forma de pirámide o tetraedro, con un contenedor de agua en la base. La superficie de vidrio recoge el vapor que se condensa y fluye hacia el centro o bordes. El diseño maximiza la captación de energía solar desde diferentes ángulos, lo que lo hace más eficiente en zonas donde la trayectoria solar varía.
Destilador solar de invernadero	Se asemeja a un invernadero y es de mayor tamaño, diseñado para producir grandes volúmenes de agua destilada. Utiliza el efecto invernadero para incrementar la evaporación del agua. Entre sus ventajas, posee mayor capacidad de producción de agua y eficiencia térmica debido al tamaño y la retención de calor.
Destilador solar de cascada	El agua se deja caer en una serie de bandejas o superficies inclinadas, donde se evapora parcialmente en cada nivel antes de ser condensada. La cascada aumenta la superficie de evaporación. En estos sistemas, se incrementa la eficiencia al aumentar la superficie de evaporación,

Destilador solar	Descripción
	pero el diseño es más complejo y tiene costos de construcción más altos.
Destilador solar esférico de barredera	<p>Tiene una forma esférica o semiesférica con superficies transparentes que concentran la radiación solar dentro del destilador; además, posee un motor, una barredera encargada de la limpieza de su cara interna. El agua se evapora y se condensa en las paredes internas de la esfera. En el destilador esférico, la captación de radiación solar desde cualquier dirección, lo que mejora la eficiencia. Su desventaja radica en la construcción complicada y más costosa debido a la estructura esférica.</p>
Destilador solar multietapa	<p>Utiliza múltiples etapas o cámaras para evaporar y condensar el agua. El vapor generado en una etapa se condensa en la siguiente, lo que aumenta la eficiencia y el rendimiento. Para su funcionamiento, utiliza sistemas de colectores solares (sistemas de placa plana, concentradores parabólicos, tubos de vacío, entre otros) para llegar a temperaturas altas y alcanzar el punto de ebullición del agua.</p>

*Nota.* Modificado de Sabando (2017), Sathyamurthy et al. (2016) y Saxena et al. (2022).

### b) Factor de producción de un destilador solar

De acuerdo a Tiwari y Tiwari (2008), el factor de producción de un destilador solar se refiere a la cantidad de agua destilada que se obtiene por metro cuadrado (m<sup>2</sup>) de superficie del destilador solar en un período de tiempo determinado. Este valor es fundamental para medir la eficiencia del sistema y se expresa generalmente en litros o mililitros por metro cuadrado por día (L/m<sup>2</sup>día o mL/m<sup>2</sup>día). La fórmula general para el cálculo del factor de producción en un destilador solar puede expresarse como se muestra en la ecuación 1.

$$Q = \frac{V}{A*T} \quad (1)$$

Donde Q es el factor de producción (L/m<sup>2</sup>día), V es el volumen total de agua destilada obtenida (L), A el área del destilador solar (m<sup>2</sup>) y T el tiempo (días).

### c) Eficiencia de destiladores solares

Según Valle (2022), la eficiencia de un destilador solar se define por la cantidad de energía necesaria para lograr la evaporación del destilado respecto de la energía solar incidente sobre el área de colección del sistema de destilación solar.

- Presión parcial a la temperatura del agua de la cubeta y la cubierta (Dunkle, 1961):

$$P_w = \exp \left( 25,317 - \frac{5144}{T_w + 273} \right) \quad (2)$$

Donde  $P_w$  es la presión parcial a la temperatura del agua de la cubeta (N/m<sup>2</sup>) y  $T_w$  la temperatura del agua de la cubeta (°C).

$$P_g = \exp \left( 25,317 - \frac{5144}{T_g + 273} \right) \quad (3)$$

Donde  $P_g$  es la presión parcial a temperatura de cubierta (N/m<sup>2</sup>) y  $T_g$  la temperatura de la cubierta (°C).

- Coeficiente de transferencia de calor por convección ( $h_{cw}$ ). Según estudios de Panchal y Shah (2011) y Panchal et al. (2011), el coeficiente de transferencia de calor por convección está influenciado por la fuerza de flotación, debido a las diferencias de densidad en el aire calentado, y su cálculo se puede efectuar mediante la ecuación 4.

$$h_{cw} = \frac{0,88 [(T_w - T_g) + (P_w - P_g)(T_w + 273)]}{(268,9 \times 10^3 - P_w)^{1/3}} \quad (4)$$

- Transferencia de calor por evaporación. Según Panchal y Shah (2011) y Panchal et al. (2011), la energía solar incidente dentro de un sistema solar aún evapora el agua en vapor. La transferencia de calor por evaporación se puede calcular mediante la ecuación 5 y 6.

$$q_{ew} = h_{ew} (T_w - T_g) \quad (5)$$

$$h_{ew} = 16,27 \times 10^3 \times h_{cw} \times \frac{(P_w - P_g)}{(T_w - T_g)} \quad (6)$$

Donde  $q_{ew}$  es la transferencia de calor por evaporación del agua a la cubierta ( $W/m^2$ ) y  $h_{ew}$  el coeficiente de transferencia de calor por evaporación del agua a la cubierta ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ).

De acuerdo con Panchal y Shah (2011) y Panchal et al. (2011), la ecuación para la determinación de la eficiencia ( $\eta_i$ ) es:

$$\eta_i = \frac{q_{ew}}{l(t)} \quad (7)$$

Donde  $q_{ew}$  es la transferencia de calor por evaporación del agua a la cubierta ( $W/m^2$ ) y  $l(t)$  la radiación solar sobre la superficie horizontal ( $W/m^2$ ).

#### **d) Eficiencia de producción de un destilador solar**

Según Mamani (2012), la eficiencia de producción está definida como la producción de destilado por unidad de tiempo y por unidad de área de colección, expresado en la ecuación 8 como:

$$\eta = \frac{m_p * L}{\Delta t * A * R_s} \quad (8)$$

Donde  $\eta$  es la eficiencia de producción,  $m_p$  la cantidad de agua destilada en un día (kg),  $L$  el calor latente de vaporización (J/kg),  $\Delta t$  las horas de evaluación (h),  $A$  el área útil del destilador ( $m^2$ ) y  $R_s$  la irradiancia solar diaria en promedio ( $W/m^2$ ).

### **2.2.2 Factores que influyen en los destiladores solares**

Los factores que afectan la eficiencia de un destilador solar se pueden clasificar en parámetros climáticos, de diseño y de operación o funcionamiento. Desafortunadamente, los factores climáticos no se pueden controlar. Afortunadamente, los factores de diseño y operativos pueden ser controlados para proporcionar una eficiencia superior de los destiladores solares (Abujazar et al., 2016).

## **a) Parámetros climáticos**

### **a.1) Efecto de la radiación solar**

La radiación recibida del sol es el parámetro más importante para la productividad de los destiladores. Cuando se reduce la intensidad de la radiación solar, la eficiencia de los destiladores solares también disminuye al mismo tiempo y este efecto se observa generalmente en las estaciones del año. La energía solar es un parámetro crítico para aumentar la producción de destilado. Se han realizado muchos experimentos para analizar el efecto de la radiación solar en el destilador solar y se ha descubierto que la productividad aumenta proporcionalmente con la radiación solar (Singh et al., 2021).

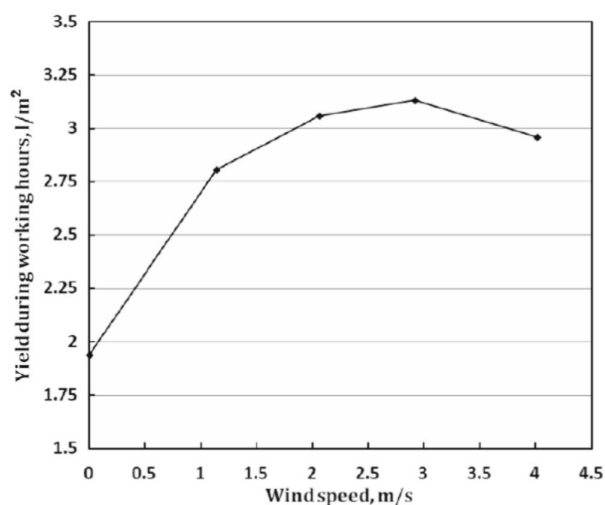
### **a.2) Efecto de la velocidad del viento**

La variación de la velocidad del viento afecta la producción del destilador solar. A medida que aumenta la velocidad del viento, aumenta el coeficiente de transferencia de calor por convección desde la cubierta de vidrio al entorno y la diferencia de temperatura entre el agua y la cubierta de vidrio del lado interior aumenta, finalmente, aumenta el rendimiento del destilador solar (Panchal y Patel, 2016).

La figura 2 muestra el cambio en el rendimiento del destilador solar frente a la velocidad del viento. Se descubrió que el rendimiento máximo se obtiene a una velocidad del viento de 2,92 m/s. La eficiencia del destilador solar aumenta con el aumento de la velocidad del viento y que una velocidad alta del viento produce un menor desarrollo del rendimiento que una velocidad razonable del viento. Por lo tanto, se concluye que una velocidad moderada del viento aumenta la producción del destilador solar (Jabbar et al., 2015).

**Figura 2**

*Cambio en la eficiencia de un destilador solar en función de la velocidad del viento*



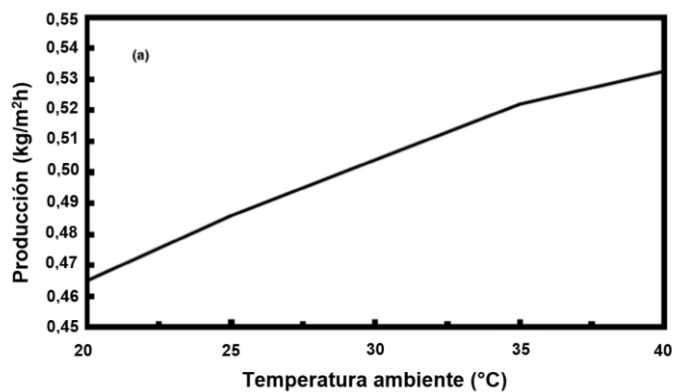
*Nota.* Obtenido de Jabbar et al. (2015).

### **a.3) Efecto de la temperatura ambiente**

La temperatura ambiente también afecta la productividad del destilador solar. El aumento de la temperatura ambiente aumenta la productividad del destilador. Varios investigadores han estudiado el efecto de la variación de la temperatura ambiente en la productividad de los destiladores solares. En la figura 3, se muestra que aumenta la temperatura ambiente de 23 a 33 °C y aumenta el rendimiento del destilador en un 8,2 % (Al-Hinai et al., 2002).

**Figura 3**

*Efecto de la temperatura ambiente en un destilador solar*



*Nota.* Obtenido de Al-Hinai et al. (2002).

## **b) Parámetros de diseño**

Los parámetros de diseño de los destiladores solares activos y pasivos desempeñan un papel importante en la mejora de la eficiencia del destilador (Hammoodi et al., 2023).

### **b.1) Profundidad del agua**

La profundidad del agua en la cuenca tiene un impacto significativo en la producción de destilado. La menor profundidad del agua tiene una menor capacidad calorífica volumétrica y es responsable de la liberación de calor durante el proceso y menor efecto de almacenamiento. Una mayor profundidad del agua tiene una mayor capacidad calorífica volumétrica y es responsable de una menor liberación de calor durante las horas de sol y un mayor efecto de almacenamiento (Panchal y Mohan, 2017).

### **b.2) Almacenamiento térmico**

Los materiales de almacenamiento de energía térmica se utilizan para almacenar el calor generado durante el día por la radiación solar, permitiendo que el proceso de destilación continúe de manera más eficiente incluso cuando la radiación solar disminuye, como al final del día o durante la noche. Entre los materiales que pueden almacenar cantidades de calor, son las piedras, grava, agua, entre otros (Abd y Hassan, 2019). En la tabla 2, se enumeran los atributos de materiales de almacenamiento de energía económicos fácilmente accesibles.

**Tabla 2***Propiedades de materiales de almacenamiento de energía térmica*

<b>Material</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Conductividad térmica, (W/m.k)</b>	<b>Calor específico, (J/kg K)</b>	<b>Coefficiente de emisividad (<math>\epsilon</math>)</b>
Guijarro	2 620	2,8	775	0,50 – 0,60
Metal azul (agregado grueso)	1 520 – 1 680	1,6	840	0,90 – 0,95
Ladrillo rojo	1 500 – 1 800	0,9 – 1,2	840	0,74 – 0,93
Mármol blanco	2 600 – 2 800	2,5	880	0,95
Grava negra	2 600 – 2 800	1,7 – 3,9	820	0,45

*Nota.* Obtenido de Khatod et al. (2022).**b.3) Reflectores**

A veces, se pueden añadir reflectores internos y externos al destilador solar para mejorar la absorción de la irradiancia solar, aumentando así la productividad del destilado (Hammoodi et al., 2023). De acuerdo a Omara et al. (2017), los reflectores se pueden dividir en tres tipos: reflectores internos, reflectores externos (superior e inferior) y combinación entre reflectores internos y externos. El uso de reflectores externos y/o internos puede expandir la irradiación solar incidente en el revestimiento del estanque para hacer que la productividad sea lo más alta posible. Los materiales reflectantes como espejos de vidrio y láminas metálicas (aluminio, acero inoxidable pulido, entre otros) son recomendados en destiladores solares porque poseen alta reflectividad.

Los reflectores internos dentro del destilador solar afectan significativamente la salida de agua destilada, lo que se atribuye a la centralización de la irradiancia solar reflejada incidente sobre el agua. Además, los reflectores disminuyen la energía térmica residual del destilador solar.

Los reflectores externos (ER) utilizados en el destilador solar están hechos de materiales altamente reflectantes, como placas de metal con acabado de espejo. Los rayos difusos y directos transmitidos a través de la cubierta de vidrio se mejoran mediante el uso de los ER.

#### **b.4) Inclinación de la cubierta de vidrio**

La eficiencia de los destiladores solares sigue dependiendo en gran medida del ángulo de inclinación de la cubierta de vidrio. Este ángulo está determinado por la inclinación y la orientación de la cubierta, así como por su latitud. Anualmente, se proyecta que las cubiertas con una inclinación alineada con el ángulo de la latitud recibirán la radiación solar típica. Esto es importante, porque la evaporación es directamente proporcional a la intensidad de la radiación solar. Como resultado, el ángulo de inclinación se ajusta en relación con el ángulo acimutal del sol y la intensidad solar (Kabeel y El-Agouz, 2011).

#### **b.5) Espesor de aislamiento**

Debido a la importante pérdida de calor causada por un espesor de aislamiento inadecuado o inexistente, el sistema solar debe estar bien aislado. Cuanto mayor sea el aislamiento, menos calor se pierde. El algodón, la ropa, el caucho, la lana de vidrio, las láminas de mica y la madera, entre otros materiales, pueden actuar como aislantes eficaces (Hammoodi et al., 2023).

### **c) Parámetros operacionales**

La productividad del destilador solar se ve afectada directamente por factores operativos. La eficiencia de un destilador solar se puede mejorar aún más mejorando el diseño y las características operativas que se controlan. Estos parámetros incluyen la coloración del agua, el flujo de agua, los aditivos surfactantes, la salinidad y los niveles de contaminantes, la alimentación de agua para el mantenimiento del sistema, la posición del destilador solar y otros efectos. Sin embargo, los factores más importantes son cómo se alimenta el agua y dónde se encuentra el destilador solar (Hammoodi et al., 2023).

#### **c.1) Coloración del agua**

El gran porcentaje de la radiación solar es captada por la superficie del fondo del estanque, no por el agua clara. Por lo tanto, al añadir un colorante al agua, esta capta la mayor parte de la radiación solar incidente. Cuando se utiliza un destilador convencional, la parte inferior es la parte más caliente porque recoge una gran cantidad de radiación solar. La convección traslada el calor desde la superficie del fondo hasta el agua, mientras

que la conducción traslada el calor del agua a la atmósfera. El colorante absorberá casi todos los rayos del sol y el agua transportará el calor hasta el fondo, donde se disipará a través del aislamiento (Hammoodi et al., 2023).

### **c.2) Alimentación de agua**

La alimentación de agua se clasifica en dos tipos: estática y dinámica. En el modo estático, el agua se suministra a un destilador solar una vez al día para llenar el depósito, mientras que en el modo dinámico el agua se suministra al destilador solar de forma constante o intermitente a través de un goteo del depósito (Hammoodi et al., 2023).

### **c.3) Posición del destilador**

También es importante tener en cuenta la orientación fija de un destilador solar de alta eficiencia con respecto a la radiación solar incidente. La tasa de producción de un destilador solar se maximiza cuando está ubicado adecuadamente en relación con la radiación solar incidente para absorber la máxima cantidad de energía. Los destiladores solares deben estar orientados con el extremo de entrada orientado hacia el sur en el hemisferio sur. El destilador solar debe estar orientado hacia el norte en el hemisferio norte. Al mediodía solar, cuando la sombra del destilador solar y el destilador solar están alineados, el destilador solar debe estar orientado de norte a sur (Hammoodi et al., 2023).

### **c.4) Salinidad y niveles de contaminantes**

La contaminación del agua causada por pesticidas y otros contaminantes químicos es un problema importante, ya que representa una amenaza para la salud humana y el medio ambiente. Además, la salinidad del agua puede tener un efecto cuantitativo en la productividad del destilador (Hammoodi et al., 2023). Kalbasi y Esfahani (2010) realizaron un experimento para determinar el impacto de la concentración de sal en el agua. Los resultados establecieron una relación inversa entre la producción diaria y los niveles de salinidad. Una disminución del 20 % en la producción se atribuye a un aumento de la salinidad del agua del 0 a 3,50 %. Como resultado, la salinidad del agua debe mantenerse lo más baja posible. Ante el incremento de la salinidad, la producción de agua destilada disminuye. Aunque es imposible controlar la salinidad del agua de mar, el

mantenimiento adecuado del destilador, como la limpieza semanal, puede reducir significativamente la salinidad.

### **c.5) Aditivos surfactantes**

Los surfactantes son ciertos tipos de aditivos que alteran las características de la superficie del agua al reducir la tensión superficial, aumentar la transferencia de calor de ebullición y disminuir la fricción de la piel en los tubos (Tyagi et al., 2020). Nafey et al. (2008) investigaron el efecto de las adiciones de surfactantes en el proceso de destilación solar. Descubrieron que aumentar la concentración de aditivo a 50, 100, 200 o 300 ppm mejora el rendimiento en un 0,7; 2,5; 4,7 y 7 %, respectivamente, mientras que aumentar la concentración de surfactante a 400 ppm reduce el rendimiento en un 6 %. Como resultado, está claro que agregar surfactante tiene un efecto insignificante que puede evitarse.

### **c.6) Mantenimiento del sistema**

Los destiladores solares suelen ser permanentes y no tienen partes móviles, lo que facilita el mantenimiento del sistema. El mantenimiento del destilador solar incluye la limpieza de la cubeta para evitar la deposición de partículas. Un destilador solar en modo dinámico fuerza los sólidos disueltos en el agua a través de la cubeta del destilador solar y hacia el canal de desbordamiento. La limpieza del destilador solar solo es necesaria periódicamente porque no se acumulan partículas disueltas en las bandejas. En otros aspectos, cuando un panel solar permanece en modo "estático", los sólidos y las impurezas se depositan en el fondo de cada bandeja y quedan expuestos a los rayos del sol. Esto permite que el calor del sol los alcance. Debido al aumento de temperatura y la cantidad de tiempo en el horno, se forma una capa dura, coloreada e indeseable que es difícil de eliminar (Hammoodi et al., 2023).

Para limpiar el destilador solar, normalmente se emplean tratamientos ácidos no tóxicos, como el ácido cítrico o el ácido oxálico. Las sombras que se proyectan sobre la cubierta de condensación debido a la acumulación de polvo impiden el funcionamiento adecuado del destilador solar al impedir que la luz solar llegue al estanque. Como resultado, las partes superiores de los destiladores solares deben limpiarse y mantenerse con regularidad para garantizar que no haya polvo ni otras impurezas que puedan reducir

la intensidad de la radiación solar. Además, es posible que se acumulen algas y sarro en la superficie del estanque, lo que no es deseable. Los estanques deben limpiarse a diario para eliminar los sarros acumulados y los residuos orgánicos en forma de partículas. El lavado también se puede utilizar para eliminar los precipitados de sal que se han formado en las superficies del estanque (Hammoodi et al., 2023).

### **2.2.3 Agua de mar**

El agua de mar es una solución compleja compuesta por todos los elementos necesarios para la vida diaria, entre ellos calcio, nitrógeno, carbono, silicio, nitrógeno, fósforo, oligoelementos y materia orgánica con un contenido entre 0,5 y 2 mg y disuelta de forma natural en los gases atmosféricos. El agua de mar es débilmente alcalina con un pH de 7,5 a 8,4. La característica más importante del agua de mar es el contenido total de sal cuyo promedio es de alrededor de 35 g/L (cloruros de sodio y magnesio, sulfatos y carbonatos) (Nasrdine et al., 2024).

Cerca del 71 % del área superficial del planeta tierra está compuesta por agua, el 97,5 % está presente en mares, en condiciones de salinidad que dificulta su consumo, siendo el 2,5 % restante es agua dulce, pudiendo ser aprovechada un aproximado del 0,8 % que está descongelada. Actualmente, la desalinización es una alternativa para resolver la problemática de escasez hídrica en regiones costeras. La desalinización hace referencia a los procesos encaminados a la remoción del exceso de sal y de otros minerales presentes en el agua de mar y el agua salobre con el objetivo de obtener agua dulce (Grueso-Dominguez et al., 2019).

#### **a) Tecnologías y procesos de desalinización de agua de mar**

Las tecnologías de desalinización utilizan cambios de fase o membranas semipermeables para separar el solvente o algunos solutos (Panchal y Patel, 2017). Las tecnologías de desalinización se clasifican como convencionales o emergentes, dependiendo del nivel de desarrollo científico y técnico, y su presencia en el mercado (Saavedra et al., 2021). Entre las tecnologías, se cuenta con las siguientes:

- **Tecnologías térmicas convencionales:** Estos procesos se basan en cambios de fase. En particular, los procesos basados en congelación son escasos en el

mercado debido a los altos costos de inversión y operación asociados a la demanda energética relevante, la retención de aromas desagradables eventualmente presentes en el agua de mar de alimentación y el uso intensivo de refrigerantes (Castillo et al., 2014). Los procesos basados en evaporación permiten obtener un agua destilada, purificada, con salinidad inferior a 10 ppm. Los equipos operan en fase estacionaria y están dispuestos en múltiples etapas con el fin de aumentar la eficiencia energética, la rentabilidad del proceso y evitar el ensuciamiento (causado por carbonatos, sulfatos, sílice y otros compuestos inorgánicos). Las principales tecnologías térmicas convencionales son la destilación flash multietapa (MSF), la destilación multiefecto (MED) y la compresión mecánica de vapor (MVC) (Alsadaie, 2017).

- **Tecnologías de membranas convencionales:** Los procesos industriales de membranas están diseñados para operar de forma continua. Sin embargo, existen fenómenos transitorios debido al ensuciamiento de las membranas que obligan a rutinas periódicas de limpieza y conducen al deterioro lento pero progresivo de los polímeros que componen las membranas. Este es un fenómeno irreversible, que termina con el reemplazo de la membrana dañada (Saavedra et al., 2021).
- **Innovaciones en desalación térmica:** La principal innovación en las tecnologías emergentes de desalinización se relaciona con el uso de fuentes de energía renovables acopladas a los procesos de desalinización. Las energías renovables más populares incluidas en estos procesos son la energía solar y la geotérmica. En el estudio de Prajapati et al. (2021), se investigó las fuentes de energía renovable que podrían usarse para operar sistemas de desalinización y las posibles coincidencias entre la desalinización y las fuentes de energía renovables, para estudiar la desalinización de agua mediante el uso de energía geotérmica y solar, para evaluar o identificar áreas que requieren mejoras en los sistemas de desalinización impulsados por energía geotérmica y solar.

- **Innovaciones en procesos de membrana:** Las innovaciones más relevantes se refieren a la síntesis o modificación de materiales poliméricos que permiten aumentar la productividad y selectividad de los procesos de desalación. De igual modo, se desarrollaron innovaciones en tecnologías convencionales, combinando mecanismos de transporte de masa, gradientes de separación y fuentes de energía renovables. En todos los casos, el objetivo es obtener una tecnología de producción de agua desalada confiable y al menor costo (Saavedra et al., 2021).

Las tecnologías convencionales y emergentes también se clasifican según el tipo de gradiente aplicado (presión, eléctrico, químico y térmico) y el proceso fisicoquímico involucrado (tabla 3).

**Tabla 3***Tecnologías convencionales y emergentes para desalación*

<b>Tipo</b>	<b>Tecnología</b>	<b>Gradiente externo</b>	<b>Proceso fisicoquímico</b>
Convencional	Destilación flash multietapa (MSF) Destilación multiefecto (MED) Compresión mecánica de vapor (MVC)	Térmico	Cambio de fase
	Congelación Ósmosis inversa (OI)	Presión total	Físico, sin cambio de fase
	Nanofiltración (NF) Electrodialísis (ED)	Eléctrico	Eléctrico, Sin cambio de fase
	Intercambio iónico (IE)	Químico	Químico, sin cambio de fase
Emergente	Destilación solar (SD) Energía solar térmica con ósmosis inversa Energía solar fotovoltaica con ósmosis inversa Desalinización geotérmica	Térmico	Cambio de fase
	Nanomembranas (NM)	Químico	Propiedades físicas de la membrana mejoradas.
	Destilación por membrana (MD)	Térmico	Cambio de fase
	Ósmosis directa (FO)	Presión osmótica	Químico, con cambio de fase
	Electrodialísis inversa (RED) Electrodialísis de choque (SED)	Eléctrico	Eléctrico Sin cambio de fase
	Biomiméticos (acuaporinas) Membrana de grafeno (GM)	Químico	Químico

*Nota.* Obtenido de Saavedra et al. (2021).

### **2.2.4 Calidad del agua**

La calidad del agua se refiere a las características químicas, físicas, biológicas del agua, generalmente con respecto a su adecuación para un uso particular, como el consumo humano, riego agrícola, procesos industriales o protección de ecosistemas acuáticos (Villena, 2018). La calidad del agua está determinada por la presencia de contaminantes y las concentraciones de ciertos compuestos que pueden afectar la salud humana y ambiental (Sierra, 2011).

#### **b) Normativa peruana aplicable al agua**

##### **a.1) Estándares de calidad ambiental para aguas**

De acuerdo al Decreto Supremo N° 04-2017-MINAM, donde aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias, los ECA son valores o parámetros que indican las concentraciones máximas permisibles de contaminantes en el agua para proteger la salud humana y los ecosistemas acuáticos. En Perú, se aplican de acuerdo a los diferentes usos del agua, como el consumo humano, riego agrícola, recreación, conservación ambiental, entre otros. En la Tabla 4 se muestran los ECA para agua, categoría 1, subcategoría A1.

El principal marco normativo sobre los ECA está el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM que aprueba los estándares de calidad ambiental para agua. Estos estándares varían según el uso del recurso hídrico:

- Categoría 1: Agua para consumo humano y conservación de ecosistemas acuáticos.
- Categoría 2: Agua para riego de vegetales y bebida para animales.
- Categoría 3: Agua para actividades recreativas.
- Categoría 4: Agua para uso industrial.

**Tabla 4**

*Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua, categoría 1, subcategoría A: aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>A1 (Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección)</b>	<b>A2 (Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional)</b>	<b>A3 (Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado)</b>
<b>Físicos- químicos</b>				
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	1 500	1 600	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Temperatura	°C	$\Delta$ 3	$\Delta$ 3	**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	$\geq$ 6	$\geq$ 5	$\geq$ 4
Aceites y grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	3	5	10
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Cloruros	mg/L	250	250	250
Dureza	mg/L	500	**	**
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	mg/L	50	50	50

Parámetros	Unidad	A1 (Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección)	A2 (Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional)	A3 (Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado)
Nitritos (NO <sub>2</sub> )	mg/L	3	3	**
<b>Microbiológicos y parasitológicos</b>				
Coliformes Totales	NMP/100 mL	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	0	**	**
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos)	N° Organismo/L	0	<5x10 <sup>6</sup>	<5x10 <sup>6</sup>

*Nota.* Se presentan los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. El símbolo \*\* significa que el parámetro no aplica para esta subcategoría y el símbolo Δ 3 significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada. Obtenido del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

## a.2) Reglamento de calidad de agua

El Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano (DS N° 031-2010-SA), en Perú establece los criterios y parámetros que debe cumplir el agua destinada al consumo humano para asegurar su potabilidad y garantizar la protección de la salud pública. Este reglamento define los límites permisibles de los contaminantes y establece las obligaciones para las entidades encargadas de la gestión y distribución del agua (tabla 5 y 6) (DIGESA, 2011).

**Tabla 5***Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
Sólidos totales disueltos	mgL <sup>-1</sup>	1 000
Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
Turbiedad	UNT	5
Sabor	---	Aceptable
Olor	---	Aceptable
Color	UCV escala Pt/Co	15
Zinc	mg Zn L <sup>-1</sup>	3,0
Dureza total	MgCaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	500
Hierro	mg Fe L <sup>-1</sup>	0,3
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> = L <sup>-1</sup>	250
Aluminio	mg Al L <sup>-1</sup>	0,2
Cloruros	mg Cl <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>	250
Amoniaco	mg N L <sup>-1</sup>	1,5
Manganeso	mg Mn L <sup>1</sup>	0,4
Cobre	mg Cu L <sup>-1</sup>	2,0
Sodio	mg Na L <sup>-1</sup>	200

*Nota.* UCV = Unidad de color verdadero y UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad. Obtenido de DIGESA (2011).

**Tabla 6***Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos y parasitológicos*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Bacterias Coliformes Totales.	UFC/100 mL a 35 °C	0 (*)
Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.	UFC/100 mL a 44,5 °C	0 (*)
Huevos y larvas de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.	Nº org/L	0
<i>E. Coli</i>	UFC/100 mL a 44,5 °C	0 (*)
Bacterias Heterotróficas	UFC/mL a 35 °C	500
Virus	UFC / mL	0
Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios evolutivos	Nº org/L	0

*Nota.* UFC = Unidad formadora de colonias y (\*) = En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = < 1,8 /100 mL. Obtenido de DIGESA (2011).

## **2.3 Definición de términos**

### **2.3.1 Profundidad**

La profundidad de agua en la cubeta de un destilador solar se refiere a la altura de la capa de agua que se encuentra en la base del destilador. Este parámetro influye directamente en la eficiencia del proceso de destilación, ya que una mayor profundidad puede disminuir la temperatura del agua y ralentizar la evaporación, mientras que una menor profundidad puede mejorar la evaporación y por lo tanto la eficiencia del destilador (Bandhu et al., 2019).

### **2.3.2 Almacenador térmico**

El almacenador térmico en un destilador solar es un material que tiene la capacidad de absorber y retener el calor durante el día y liberarlo durante la noche o en periodos de baja radiación solar. El uso de un almacenador térmico ayuda a mejorar la eficiencia de la destilación al mantener un proceso más continuo, incluso cuando la irradiancia solar disminuye (Sharshir et al., 2019).

### **2.3.3 Reflector interno**

El reflector interno en un destilador solar es una superficie reflectante que se coloca en el interior del destilador para redirigir la radiación solar hacia el agua en la cubeta. Su función es aumentar la cantidad de energía solar que llega al agua, optimizando así el proceso de evaporación (Hammoodi et al., 2023).

### **2.3.4 Eficiencia**

La eficiencia de un destilador solar se define como la relación entre la cantidad de energía utilizada para evaporar el agua y la energía solar total disponible. Este valor se expresa como un porcentaje y se calcula comparando el volumen de agua destilada con la cantidad de radiación solar recibida (Valle, 2022).

### **2.3.5 Factor de producción**

El factor de producción de un destilador solar se refiere a la cantidad de agua destilada obtenida por unidad de área del destilador en un periodo de tiempo determinado, generalmente expresado en litros por metro cuadrado ( $L/m^2$ ) por día (Polo y Pérez, 2020).

### **2.3.6 Producción**

La producción de un destilador solar se refiere al volumen de agua destilada generado por el sistema durante un periodo de tiempo específico. La producción depende de factores como la irradiancia solar, la temperatura ambiente, la humedad, la profundidad del agua y la eficiencia del destilador (Tiwari y Sahota, 2017).

### **2.3.7 Destilación**

La destilación es un proceso de separación en el cual se aprovecha la diferencia en los puntos de ebullición de los componentes de una mezcla líquida. En un destilador solar, el agua se evapora debido al calor solar, dejando atrás las impurezas y sales, y luego el vapor se condensa para obtener agua pura (Soheil et al., 2019).

### **2.3.8 Destilador solar de una vertiente**

El destilador solar de una vertiente es un tipo de destilador en el que el vapor de agua se condensa en una sola superficie inclinada, por lo general una lámina de vidrio o plástico, desde donde el agua condensada se recoge en un solo canal o vertiente (Tiwari y Sahota, 2017).

### **2.3.9 Mar**

El mar es una vasta extensión de agua salada que cubre el 71 % aproximadamente de la superficie terrestre. Los mares son fuentes importantes de agua salada, la cual puede ser procesada mediante destilación solar para obtener agua dulce o destilada (Soheil et al., 2019).

### **2.3.10 Agua destilada**

El agua destilada es el agua que ha sido purificada a través de un proceso de destilación. Este proceso consiste en calentar el agua para convertirla en vapor y luego condensar dicho vapor para eliminar impurezas, sales y contaminantes, obteniendo así agua pura (Chiroque, 2018).

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Tipo y diseño de la investigación**

##### ***3.1.1 Enfoque y tipo de investigación***

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, caracterizado por la recolección sistemática y análisis de datos numéricos para determinar relaciones entre variables. El estudio es de naturaleza experimental, ya que se manipularon deliberadamente los parámetros de diseño de destiladores solares para medir su influencia directa en la eficiencia del proceso de destilación, estableciendo así relaciones causales entre las variables independientes y la producción de agua destilada.

##### ***3.1.2 Diseño experimental***

Para evaluar rigurosamente la influencia de múltiples parámetros de diseño en el rendimiento de los destiladores solares, se implementó un diseño factorial completo  $2 \times 2 \times 2$ . Este diseño permitió examinar simultáneamente tres factores con dos niveles cada uno, así como todas sus posibles interacciones, maximizando la información obtenida con un número óptimo de configuraciones experimentales.

Los factores y niveles analizados fueron:

a. Factor A (Reflector interno):

- Nivel 1: Destilador de una vertiente (D1)
- Nivel 2: Destilador de una vertiente con reflector interno (D2)

b. Factor B (Almacenador térmico):

- Nivel 1: Sin almacenador térmico (ST)
- Nivel 2: Con almacenador térmico (AT)

c. Factor C (Profundidad de agua de mar):

- Nivel 1: Profundidad de 1 cm (P1)
- Nivel 2: Profundidad de 3 cm (P3)

Esta configuración factorial generó ocho tratamientos experimentales distintos (tabla 7), permitiendo evaluar tanto los efectos principales de cada factor como los efectos de interacción entre factores. La variable dependiente medida fue la producción de agua destilada, cuantificada en términos de volumen producido por unidad de tiempo y área del destilador.

**Tabla 7**

*Factores del diseño experimental*

<b>Tratamiento</b>	<b>Factor A</b>	<b>Factor B</b>	<b>Factor C</b>
1	D1	ST	P1
2	D1	ST	P3
3	D1	AT	P1
4	D1	AT	P3
5	D2	ST	P1
6	D2	ST	P3
7	D2	AT	P1
8	D2	AT	P3

*Nota.* Elaboración propia.

Asimismo, se aplicaron tres repeticiones, obteniendo un total de veinticuatro unidades experimentales. En cuanto las variables de respuesta, estos son la temperatura máxima del agua en la cubeta de los destiladores solares, la eficiencia, el volumen acumulado de agua destilada y la eficiencia de producción.

### **3.2 Población y muestra de estudio**

#### **3.2.1 Población**

La población estuvo compuesta por el agua de mar disponible en la costa del Océano Pacífico cercana a la región de Tacna, proveniente del balneario Boca del Río,

distrito de Sama, provincia de Tacna. No es posible cuantificar la cantidad exacta debido a que el agua de mar está en continuo movimiento por las corrientes oceánicas, mareas, olas y vientos; asimismo, la profundidad del mar varía considerablemente a lo largo de diferentes áreas costeras, lo que afecta directamente la cantidad de agua en un lugar específico y el mar no tiene fronteras fijas; por lo que es complicado delimitar una "zona" específica para medir con precisión el agua de mar en esa área. Esto hace que el volumen de agua en una zona específica esté en constante cambio, dificultando su medición precisa.

### **3.2.2 Muestra**

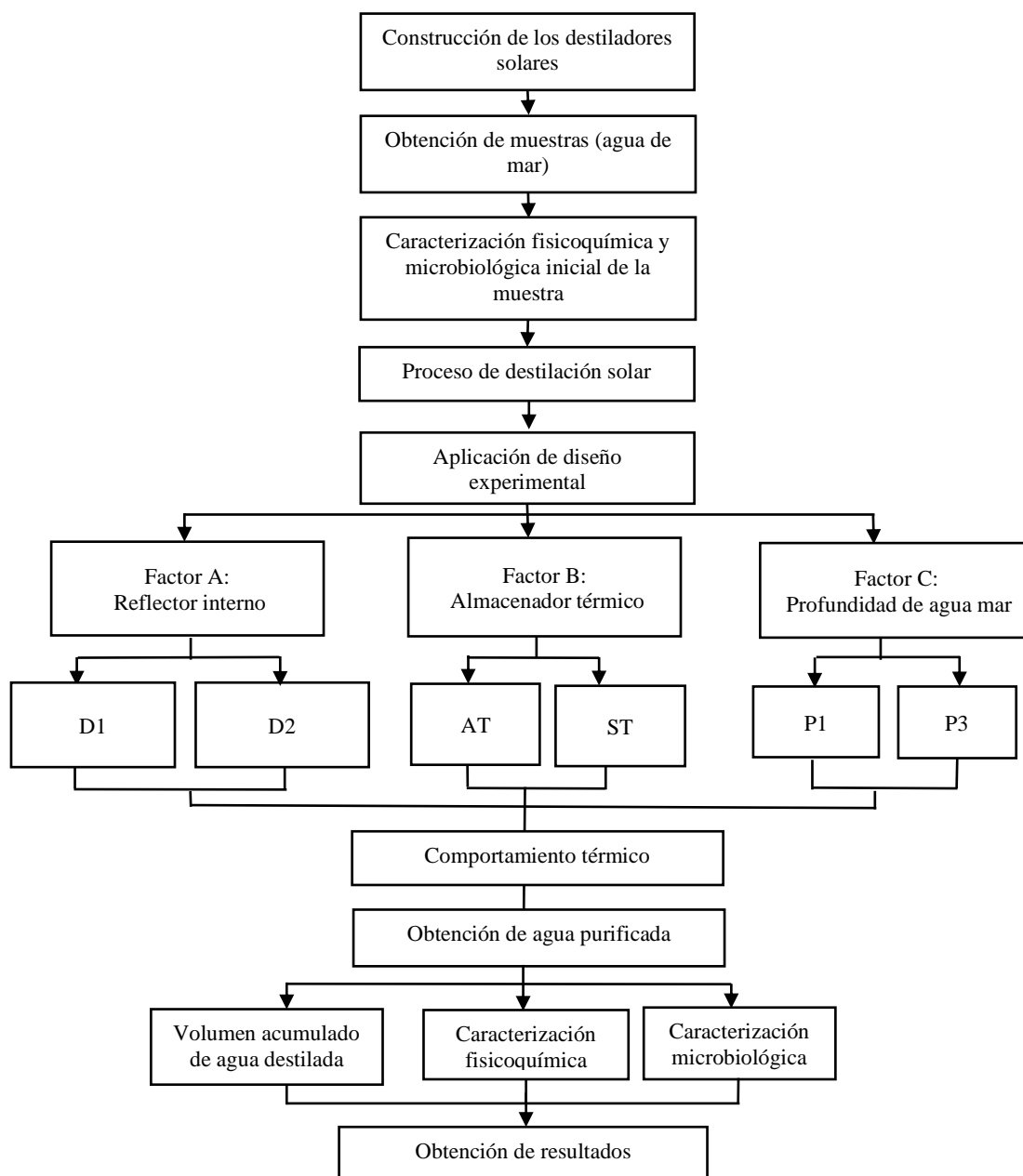
La muestra que se requirió de agua de mar fue de 300 L proveniente del balneario Boca del Río, distrito de Sama, provincia de Tacna, región Tacna. En este estudio, se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia, por lo que la selección de muestra no siguió criterios de aleatoriedad. En lugar de ello, se tomó el agua de mar de puntos accesibles y cercanos a la ubicación donde se desarrolló el experimento, pero siguiendo los lineamientos establecidos en la guía técnica de procedimiento de toma de muestras de agua de mar en playas de baño y recreación. Para ello, se ingresó hasta 1 m de profundidad, tomando la muestra a 0,30 m por debajo de la superficie, en dirección contracorriente (DIGESA, 2011). Este enfoque permitió una recolección eficiente y práctica, considerando los recursos disponibles y las condiciones de la investigación (presupuesto) por ser autofinanciado.

### **3.3 Acciones y actividades para la ejecución del proyecto**

Las acciones y actividades para el desarrollo del proyecto y la recolección de la información se basaron en los objetivos específicos. En la figura 4, se presentan las etapas principales en el desarrollo de la investigación.

**Figura 4**

*Diagrama de las etapas principales en el desarrollo del trabajo de investigación*



*Nota.* Elaboración propia.

### 3.3.1 Comportamiento térmico del destilador solar

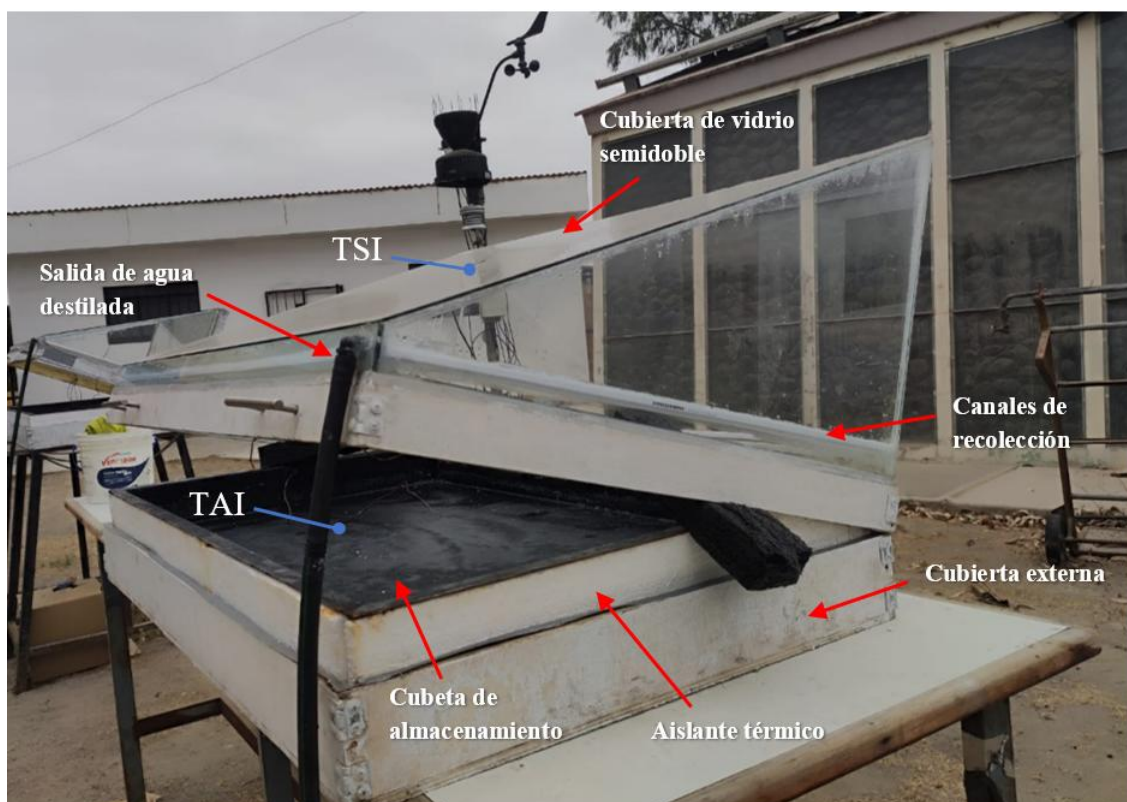
Para la evaluación del comportamiento térmico, se emplearon termocuplas en dos puntos de monitoreo dentro del destilador solar. En la figura 5 y 6, se presentan los componentes del destilador solar y los puntos de monitoreo, siendo estos:

- TAI: Temperatura del agua almacenada en el interior de la cubeta.
- TSI: Temperatura de la superficie interior de la cubierta de vidrio.

La temperatura se registró cada 10 minutos durante un periodo de 23 h, desde las 8 a 7 h, utilizando un multímetro UT55 marca UNI-T y dos sistemas de adquisición de datos HOBO 4-channel thermocouple logger Hobo marca Onset - modelo UX120-014M. La temperatura ambiente (TA) se midió con un sensor de temperatura ambiente y la irradiancia solar con un piranómetro cada 10 minutos.

### Figura 5

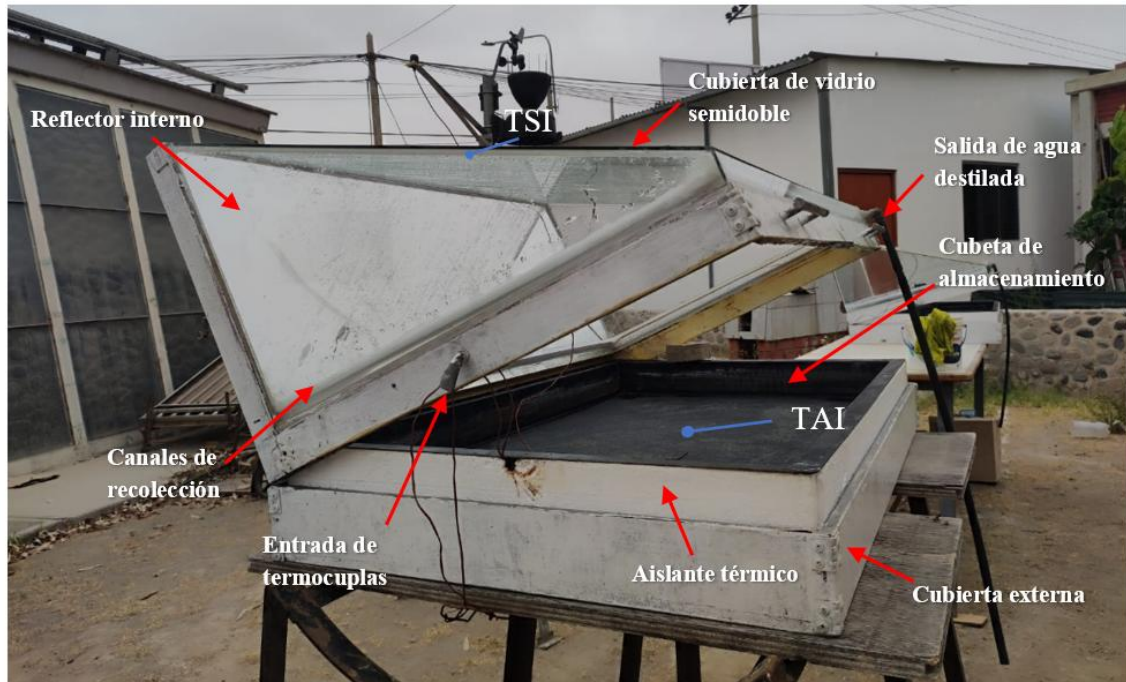
*Componentes y puntos de monitoreo en el destilador solar de una vertiente (DI)*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 6**

*Componentes y puntos de monitoreo en el destilador solar de una vertiente con reflector interno (D2)*



*Nota.* Elaboración propia.

En referencia al destilador solar empleado, en la tabla 8, se muestran las características del diseño del destilador solar de una vertiente. Se construyeron dos con las mismas características, materiales y dimensiones, diferenciándose en el reflector interno. En cuanto al almacenador térmico, se empleó grava sobre la superficie de la cubeta de almacenamiento, cubriendo 1 cm de la cubeta.

**Tabla 8***Parámetros de diseño del destilador solar de una vertiente*

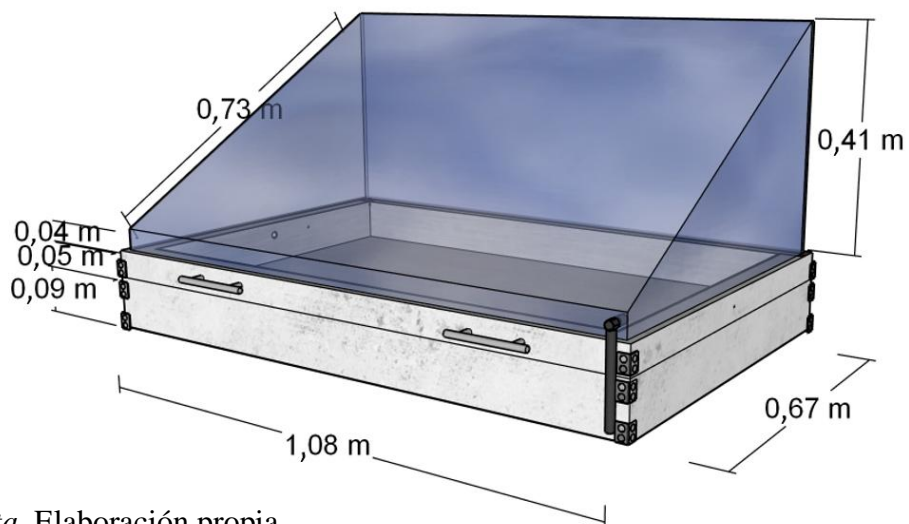
<b>Parámetro</b>	<b>Destilador de una vertiente (D1)</b>	<b>Destilador de una vertiente con reflector interno (D2)</b>
<b>Cubeta de almacenamiento</b>		
Espesor	2 mm	2 mm
Largo	1 m	1 m
Ancho	0,59 m	0,59 m
Altura	0,075 m	0,075 m
Bordes de largo	0,003 m	0,003 m
Bordes de ancho	0,0025 m	0,0025 m
Volumen	0,044 m <sup>3</sup>	0,044 m <sup>3</sup>
Volumen de almacenamiento	0,03 m <sup>3</sup>	0,03 m <sup>3</sup>
Área	0,59 x 1,0 m (0,59 m <sup>2</sup> )	0,59 x 1,0 m (0,59 m <sup>2</sup> )
<b>Cubierta de vidrio</b>		
Espesor	3 mm	3 mm
Angulo	30 °	30 °
<b>Aislante térmico</b>		
Grosor de tecnopor	¾ – 1 ”	¾ – 1 ”
Espesor	10 mm	10 mm
Largo	1,08 m	1,08 m
Ancho	0,68 m	0,68 m
Altura	0,14 m	0,14 m
Área	1,08 x 0,68 m (0,73 m <sup>2</sup> )	1,08 x 0,68 m (0,73 m <sup>2</sup> )
<b>Reflector interno</b>		
Área	-	0,41 x 1,075 m (0,44 m <sup>2</sup> )
<b>Almacenador térmico</b>		
Grava*	11 kg	11 kg

*Nota.* \*La adición del material de almacenamiento térmico (grava) dependerá del nivel del factor correspondiente, es decir, solo se incorporará en la condición "con almacenador térmico (AT)" y estará ausente en la condición "sin almacenador térmico (ST)".  
Elaboración propia.

En la figura 7 y 8, se observan las dimensiones del destilador solar de una vertiente con reflector con y sin vertiente. El D2 presenta una cubierta espaldar; encargada de sostener el reflector interno (espejo). El inicio de la inclinación de los destiladores es a partir de los 4 cm de la cubierta externa, en dicho rango se encuentran los canales de recolección. La altura total de ambos destiladores solares es de 0,55 m. En cuanto a la eficiencia del destilador solar, se determinó mediante la ecuación 7.

**Figura 7**

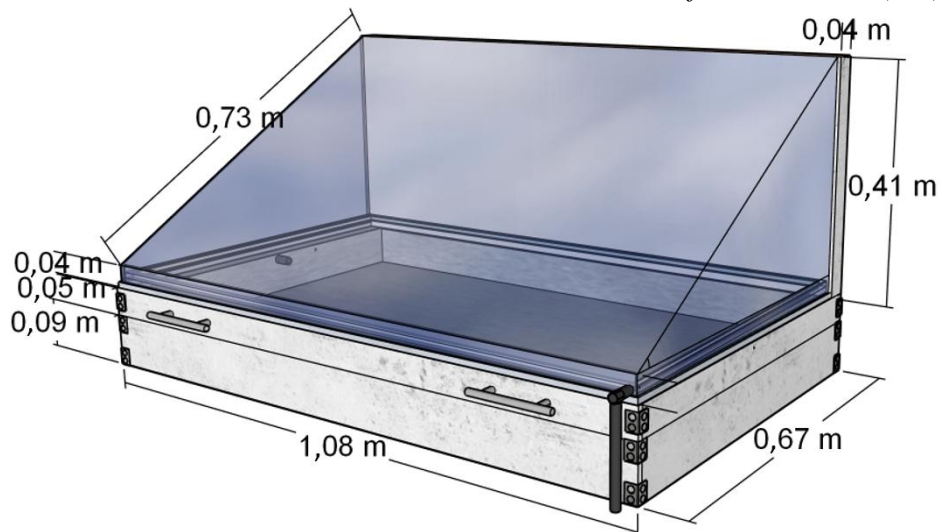
*Dimensiones del destilador solar de una vertiente (D1)*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 8**

*Dimensiones del destilador solar de una vertiente con reflector interno (D2)*



*Nota.* Elaboración propia.

### ***3.3.2 Producción de agua destilada de mar***

La producción de agua destilada de mar corresponde a ser el volumen de agua destilada que sale del sistema, esta se almacenó en botellas de 3 L y se midió con una probeta (Perca, 2023). El volumen acumulado total se tomó en un periodo de 23 h desde las 8 h hasta las 7 h. Además, el volumen acumulado se registró en intervalos horarios diferenciados a fin de determinar la influencia de los parámetros de diseño en la producción total y en la distribución de la destilación en las diferentes fases del día, considerando el horario diurno-tarde, comprendido entre las 6 h y 18 h, correspondiente al periodo de mayor irradiancia solar y temperaturas elevadas y el horario noche-madrugada, comprendido entre las 18 h y 6 h, periodo en el que la irradiancia solar es casi nula (Mevada et al., 2022; Shah et al., 2023; Karthick et al., 2022).

La eficiencia de producción de agua obtenida por unidad de área de los destiladores solares se determinó con el cálculo de la ecuación 8 y el factor de producción mediante la ecuación 1.

### ***3.3.3 Análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua obtenida de la destilación solar de agua de mar***

Se realizó un análisis fisicoquímico y microbiológico antes (agua de mar) y después de la destilación solar en el Laboratorio de Análisis de Aguas (ALA) de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann – Tacna y en el laboratorio acreditado Analytical Laboratory E.I.R.L (ALAB) en la región de Arequipa. Por consiguiente, se realizó la determinación de los parámetros visualizados en la tabla 9.

**Tabla 9***Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a evaluar*

<b>Característica</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método</b>
Fisicoquímicos	Potencial de hidrogeno	pH	Según método del multiparámetro a lectura directa.
	Conductividad eléctrica	μS/cm	Según método del multiparámetro a lectura directa, siendo el resultado expresado en microSiemens por centímetro.
	Salinidad	%	Según método del multiparámetro a lectura directa, siendo el resultado expresado en porcentaje.
	Solidos disueltos totales	mg/L	Según método del multiparámetro a lectura directa, con resultado expresado en miligramos por litro.
Microbiológicos	Coliformes fecales	NMP/100 mL	Según prueba de confirmación de coliformes fecales.
	Coliformes totales	NMP/100 mL	Según prueba de confirmación de coliformes totales.

*Nota.* Adaptado de Fundación Nacional de Salud (2013), Alban (2015) y Limache (2021).

La eficiencia de remoción se aplicó en el resultado de los análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas de las muestras, a fin de determinar la capacidad del sistema de destilación para eliminar sales y otras impurezas del agua de mar. Según Cruz y Fauster (2021) la eficiencia de remoción se representa mediante la ecuación (9).

$$E_R = \frac{VPi - VPf}{VPi} * 100 \quad (9)$$

Donde  $E_R$  es la eficiencia de remoción (%),  $VPi$  es la concentración inicial del agua de mar y  $VPf$  es el valor final del agua de mar tras la destilación.

### 3.4 Materiales e instrumentos

#### a) Materiales

- Plancha de vidrio semidoble de 3 mm de espesor
- Láminas de acero galvanizado de 2 mm de espesor
- Planchas de triplay de 10 mm de grosor
- Barniz para madera y thinner
- Poliestireno expandido (Tecnopor) de  $\frac{3}{4}$  y 1 ”
- Mangueras de riego color negro
- Canales para cable y fijación de vidrio
- Botellas de 3 L
- Probetas graduadas
- Cinta métrica
- Herramientas de carpintería
- Baldes y bidones
- Termocuplas de Cromel-Alumel

#### b) Equipos

- Multiparámetro HACH, modelo HQd
- Turbidímetro TURBIQUANT, modelo 1100 T
- Piranómetro de silicio HOBO modelo S-LIB-M003
- Sensor inteligente de temperatura/HR HOBO modelo (S-THC-M00x)
- Registrador de datos HOBO USB Micro Station, marca ONSET, modelo H21-USB
- Multímetro UT55, marca UNI-T

- Laptop ACER
- Sistema de adquisición de datos HOBO 4-channel thermocouple logger HOBO, marca ONSET, modelo UX120-014M
- Balanza digital
- Prototipos de destiladores solares

### **3.5 Técnicas para la recolección de datos**

Para la recolección de datos, se emplearon diversas técnicas que permitieron monitorear el comportamiento térmico, registrar la evolución del proceso de destilación y documentar los cambios en el sistema y en el agua destilada obtenida. Entre las técnicas aplicadas, se encuentra la observación experimental, utilizada para el seguimiento directo del comportamiento térmico y el monitoreo de la producción de agua destilada bajo distintas condiciones operativas (con y sin reflector interno, con y sin almacenador térmico y a diferentes profundidades de agua). Asimismo, se emplearon fichas de registro para documentar la evolución del comportamiento térmico y el proceso de destilación, asegurando un control detallado de las mediciones.

Se llevó a cabo la medición instrumental en laboratorio, en la que se registraron datos cuantitativos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de mar y del agua destilada mediante instrumentos especializados. La información obtenida fue sistematizada en fichas de datos para facilitar su análisis y comparación.

Por último, para complementar el análisis, se realizó la toma de evidencias fotográficas, capturando imágenes en distintos momentos del día con el propósito de visualizar la evolución del sistema. Estas imágenes sirvieron como respaldo de los datos obtenidos, proporcionando evidencia visual del comportamiento térmico del destilador y su capacidad de producción de agua destilada.

### **3.6 Tratamiento de datos**

Referente al tratamiento de datos, se efectuaron análisis estadísticos. Se empleó el programa Excel para la obtención de tablas y gráficos del comportamiento térmico y

producción de agua. En cuanto la evaluación de la eficiencia y producción de agua destilada, se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de contraste múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) mediante el programa estadístico InfoStat versión libre (InfoStat/L) 2020 (Perca, 2023).

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1 Comportamiento térmico del destilador solar

##### 4.1.1 *Monitoreo térmico del destilador solar*

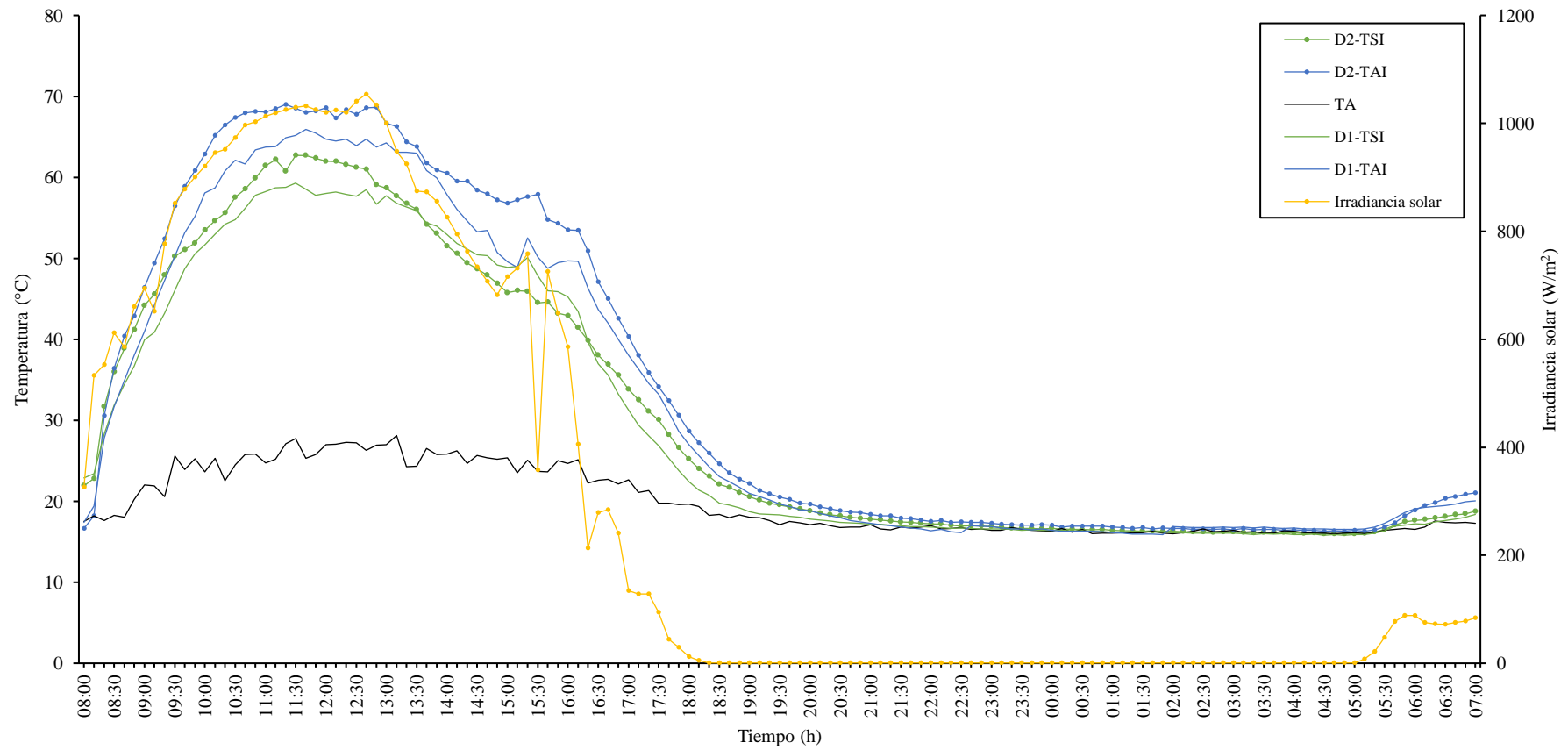
En la figura 9, se presenta la variación de temperatura en el destilador solar de una vertiente (D1) y el destilador solar de una vertiente con reflector interno (D2) a 1 cm de profundidad de agua de mar (5,9 L) en la cubeta, midiendo la temperatura en dos puntos en el interior de los destiladores solares (TAI: temperatura del agua almacenada en el interior de la cubeta y TSI: temperatura de la superficie interna del vidrio), temperatura ambiente (TA) y la irradiancia solar. El periodo de evaluación fue de 23 horas, dando inicio a las 8 h y culminando a las 7 h. La irradiancia solar aumenta progresivamente desde las 8 h, alcanzando su punto máximo entre las 11 a 13 h con una irradiancia de 1 054 W/m<sup>2</sup>. La temperatura ambiente durante el día-tarde mantiene valores entre 20 a 25 °C.

En horario diurno-tarde, el D1 caracterizado por la ausencia del reflector interno, durante el periodo de evaluación alcanzó en la temperatura del agua un valor máximo de 66 °C y la temperatura de superficie interna llegó a los 59 °C. En cuanto al D2, obtuvo un máximo en la temperatura del agua de 69 °C y en la temperatura de superficie interna 63 °C, superando al D1. Ambos destiladores muestran valores más elevados de temperatura en los puntos medidos en horario de 11 a 13 h, estando vinculado al comportamiento de la irradiancia solar.

A una profundidad de 1 cm, el agua alcanza temperaturas más altas rápidamente durante el día-tarde; sin embargo, este mismo efecto implica que el sistema pierde calor más rápidamente durante la noche, ya que el agua almacena menos energía térmica, como se observa en la caída de las temperaturas internas de los destiladores a partir de las 18 h, donde existen una ausencia de irradiancia solar, manteniéndose constante con la temperatura ambiente a partir de las 22 h.

**Figura 9**

Variación de temperatura del D1 y D2 a destilación de 1 cm de profundidad de agua de mar en función a las horas del día e irradiancia solar ( $W/m^2$ )



Nota. Elaboración propia.

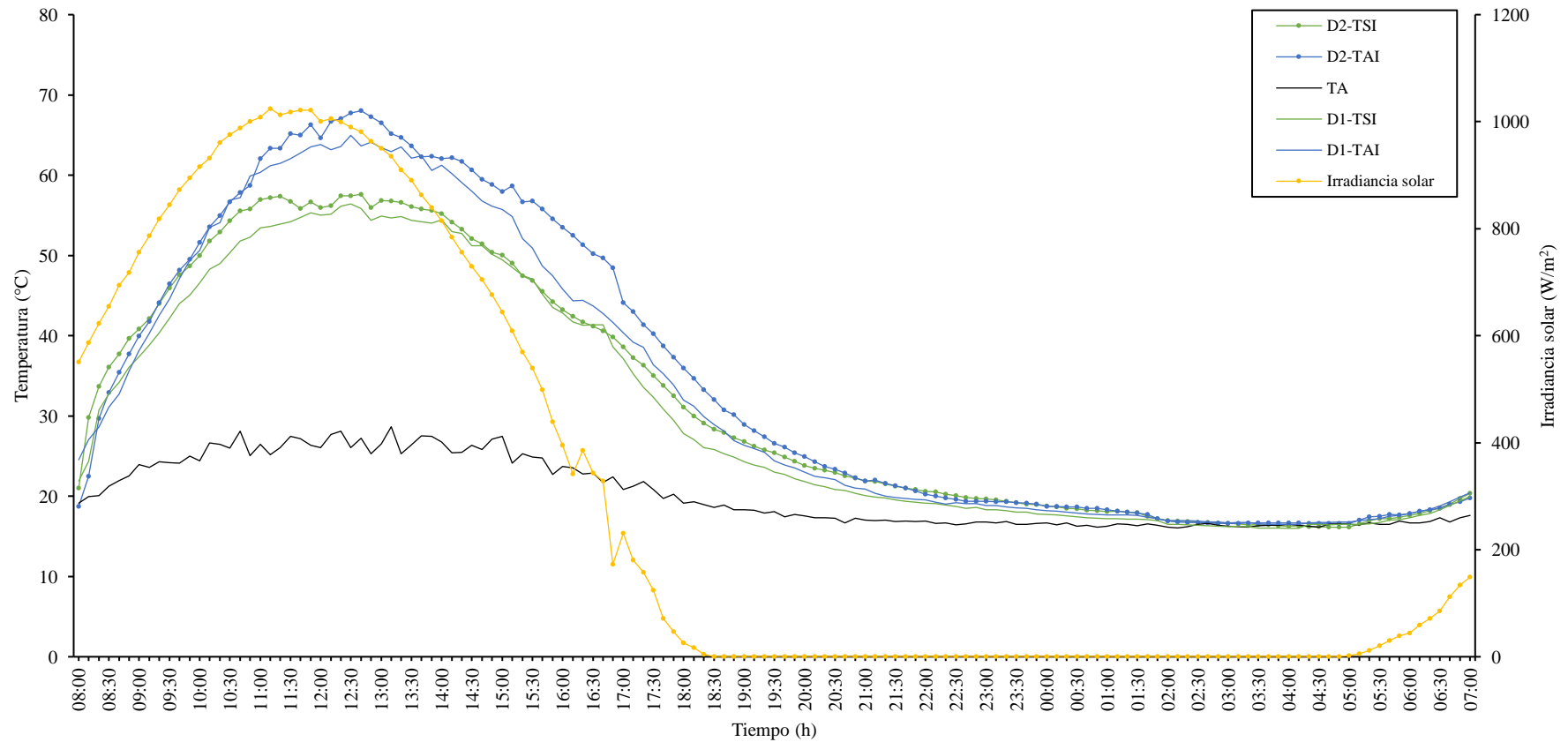
En la figura 10, se muestra la variación de temperatura del D1 y D2, considerando una profundidad de 3 cm de agua de mar (17,7 L) en la cubeta de almacenamiento. La irradiancia solar incrementa desde las 8 h, alcanzando valores altos entre las 11 a 13 h con una irradiancia solar máxima  $1\,024\text{ W/m}^2$ , disminuyendo progresivamente a partir de las 18 h, alcanzando valores cercanos a nulo. Durante las horas del diurno-tarde, la temperatura ambiente permanece parcialmente constante en valores de 20 a 25 °C.

En el caso del D1, durante el horario diurno-tarde, la temperatura máxima registrada en la temperatura en el agua fue de 65 °C y la temperatura de la superficie interna llegó a 56 °C. Por otro lado, el D2 evidenció un comportamiento más elevado presentando una temperatura máxima en el agua de 68 °C y la temperatura de la superficie interna alcanzó los 58 °C.

A una profundidad de 3 cm de agua de mar en la cubeta, los destiladores solares requieren más tiempo para calentarse internamente durante las primeras horas del día, debido al periodo de precalentamiento. A pesar de que la irradiancia solar comienza a incrementarse desde las 8 h y alcanza su pico máximo alrededor de las 12 h, la temperatura interna en ambos destiladores tarda más en reflejar este aumento (entre las 12 a 13 h). En cuanto al horario nocturno, ante la ausencia de irradiancia solar después de las 18 h, se presenta un descenso de la temperatura ambiente a valores entre 20 a 15 °C; asimismo, la temperatura interna en ambos destiladores se mantiene por encima de la temperatura ambiente durante un periodo prolongado de horas, hasta las 2 h que se vuelve constante con la temperatura ambiente. Desde las 5 h, con el incremento de la irradiancia solar, los destiladores muestran un incremento en su temperatura interna.

**Figura 10**

Variación de temperatura del D1 y D2 a destilación de 3 cm de profundidad de agua de mar en función a las horas del día e irradiancia solar ( $W/m^2$ )



Nota. Elaboración propia.

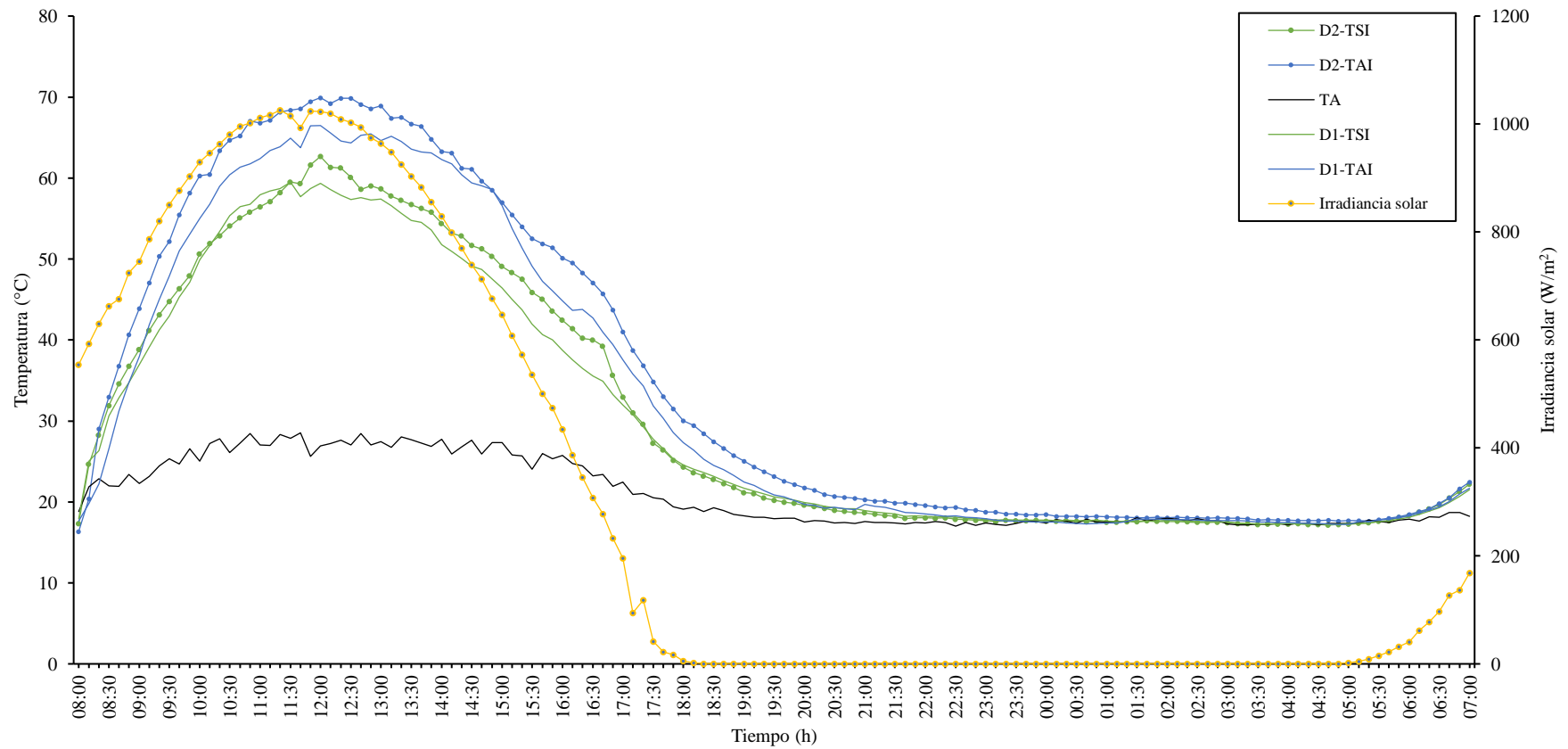
En la figura 11 se muestra la variación de temperatura de dos destiladores solares (D1 y D2) con agua de mar a una profundidad de 1 cm en la cubeta, considerando la adición de un almacenador térmico (grava) en el sistema. La irradiancia solar alcanza valores más altos entre las 11 y 13 h, con un pico máximo de  $1\,026\text{ W/m}^2$ . Por otro lado, la temperatura ambiente se mantiene relativamente constante entre  $20$  y  $25\text{ }^\circ\text{C}$  durante el horario diurno-tarde, mientras que en horario nocturno-madrugada desciende a valores entre  $17$  a  $18\text{ }^\circ\text{C}$ .

En cuanto a la variación térmica, en el horario diurno-tarde de los destiladores solares, el D2 demostró valores más elevados, alcanzando una temperatura máxima del agua de  $70\text{ }^\circ\text{C}$  y la temperatura de la superficie interna registró un máximo de  $63\text{ }^\circ\text{C}$ . En el D1, la temperatura máxima del agua alcanzó  $66\text{ }^\circ\text{C}$  y la superficie interna del vidrio registró  $59\text{ }^\circ\text{C}$ . En ambos destiladores solares, la temperatura interna incrementa conforme incrementa la irradiancia solar, alcanzando temperaturas más elevadas entre las 11 a 13 h.

Durante el horario nocturno, la temperatura interna de ambos destiladores solares se mantiene por encima de la temperatura ambiente hasta la medianoche, momento en el que se estabilizan. Este comportamiento contrasta con la figura 9, donde a una profundidad de 1 cm de agua de mar, no se utilizó almacenador térmico y las temperaturas internas se igualaron a la temperatura ambiente a partir de las 22 h. En el caso del D2, las temperaturas nocturnas son consistentemente más altas que en el D1, debido a la presencia del reflector interno que amplifica la captación de energía solar durante el día, permitiendo llegar a temperaturas más elevadas.

**Figura 11**

*Variación de temperatura del D1 y D2 a destilación de 1 cm de profundidad de agua de mar con la adición del almacenador térmico en función a las horas del día e irradiancia solar ( $W/m^2$ )*



*Nota.* Elaboración propia.

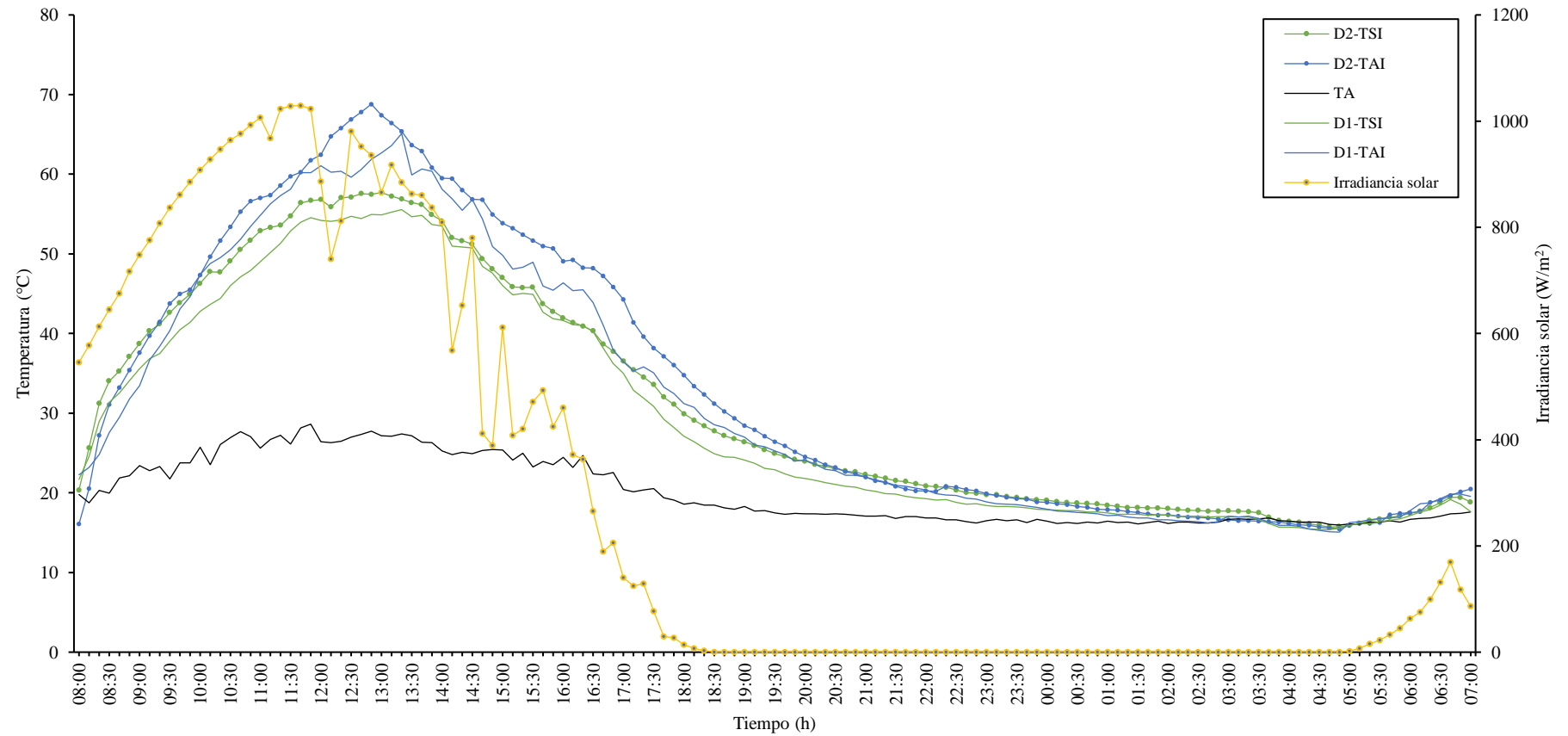
La figura 12 muestra la variación de temperatura de los destiladores solares con una profundidad de agua de mar de 3 cm en la cubeta, considerando la adición de un almacenador térmico (grava). En el horario diurno, la irradiancia solar alcanza su punto máximo de  $1\,039\text{ W/m}^2$  a las 12 h. En cuanto a la temperatura ambiente, esta se mantiene parcialmente constante en valores de 20 a 25 °C durante las horas del día y tarde; mientras que, en el horario nocturno-madrugada, desciende a valores de 16 a 17 °C.

El D2 registró valores más elevados, llegando en la temperatura del agua un máximo de 69 °C y en la temperatura de la superficie interna 58 °C. El D1, durante el periodo de medición, alcanzó en la temperatura del agua 65 °C y la temperatura de la superficie interna 56 °C. En ambos destiladores, las temperaturas del agua y de la superficie interna aumentan conforme incrementa la irradiancia solar, alcanzando un máximo posterior al medio día (12 – 14 h). Este desfase entre el pico de irradiancia solar y las temperaturas internas se explica por el periodo de precalentamiento del sistema.

Durante el horario nocturno, se evidencia el mantenimiento de las temperaturas internas del D1 y D2 al adicionar el almacenador térmico, donde las temperaturas del agua y de la superficie interna disminuyen lentamente durante la noche. En el destilador D2, las temperaturas nocturnas son más altas en comparación con el D1, debido a la presencia del reflector interno que amplifica la captación de energía durante el día; asimismo, la temperatura interna en ambos destiladores permanece por encima de la temperatura ambiente hasta pasado la medianoche (3 h 30 min), volviéndose constante hasta las 6 h, donde se observa un aumento en la temperatura interna del destilador solar, lo que coincide con el incremento en la irradiancia solar, marcando el inicio del nuevo ciclo de calentamiento.

**Figura 12**

*Variación de temperatura del D1 y D2 a destilación de 3 cm de profundidad de agua de mar con la adición del almacenador térmico en función a las horas del día e irradiancia solar ( $W/m^2$ )*



*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.1.2 Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de rango múltiple de Tukey: Temperatura máxima y eficiencia

##### a) Temperatura máxima del agua en el destilador solar

En la tabla 10, se muestra el análisis de varianza de la temperatura del agua en el destilador solar, considerando como factores el reflector interno (factor A) almacenador térmico (factor B), profundidad de agua de mar (factor C) y sus interacciones. El análisis señala que los factores principales A, B y C; muestran diferencia significativa sobre la temperatura del agua, a excepción de las interacciones que no presentaron diferencia significativa en los resultados. Los resultados se obtuvieron a un nivel de confianza del 95 % y un coeficiente de variabilidad del 0,34 %.

**Tabla 10**

*Análisis de varianza de la temperatura del agua en el destilador solar*

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Factor A: Reflector interno	69,73	1	69,73	1 298,39	<0,0001
Factor B: Almacenador térmico	0,29	1	0,29	5,45	0,0330
Factor C: Profundidad de agua de mar	6,65	1	6,65	123,75	<0,0001
Factor A*Factor B	$3,8^{-5}$	1	$3,8^{-5}$	$7^{-4}$	0,9792
Factor B*Factor C	0,01	1	0,01	0,12	0,7357
Factor A*Factor C	$2,6^{-3}$	1	$2,6^{-3}$	0,05	0,8285
Factor A*Factor B*Factor C	0,02	1	0,02	0,31	0,5866
Error	0,86	16	0,05		
Total	77,56	23			

*Nota.* C.V = 0,34 %. Reporte de software InfoStat/L.

Al hallarse diferencia significativa en los resultados para los factores A, B y C, se efectuó la prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) a fin de comparar la temperatura de agua en la cubeta del sistema de destilación solar. En la tabla 11, los resultados señalan que el D2 reportó valores más altos con un promedio de 68,95 °C; diferenciándose significativamente del D1 con 65,54 °C.

**Tabla 11**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la temperatura del agua en la cubeta ( $^{\circ}\text{C}$ ) del destilador solar: Reflector interno*

<b>Factor A: Reflector</b>	<b>Promedio (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Significancia</b>
D2	68,95	a
D1	65,54	b

*Nota.* Reporte de software InfoStat/L.

En la tabla 12, se observa la prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la temperatura de agua en la cubeta de destilador solar en función al factor almacenador térmico, donde el tratamiento AT (con almacenador térmico) con un promedio de  $67,35^{\circ}\text{C}$  se diferenció significativamente del tratamiento ST (sin almacenador térmico) que obtuvo  $67,13^{\circ}\text{C}$ .

**Tabla 12**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la temperatura del agua en la cubeta ( $^{\circ}\text{C}$ ) del destilador solar: Almacenador térmico*

<b>Factor B: Almacenador térmico</b>	<b>Promedio (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Significancia</b>
AT	67,35	a
ST	67,13	b

*Nota.* Reporte de software InfoStat/L.

En la tabla 13, se presenta la prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la temperatura del agua en la cubeta del destilador solar según el factor profundidad de agua de mar en la cubeta. Los resultados indican que el nivel de profundidad P1 (1 cm) obtuvo un promedio de  $67,77^{\circ}\text{C}$ , el cual se diferencia significativamente de P3 (3 cm) que alcanzó un promedio de  $66,72^{\circ}\text{C}$ .

**Tabla 13**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la temperatura del agua en la cubeta ( $^{\circ}\text{C}$ ) del destilador solar: Profundidad de agua de mar*

<b>Factor C: Profundidad</b>	<b>Promedio (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Significancia</b>
P1	67,77	a
P3	66,72	b

*Nota.* Reporte de software InfoStat/L.

### b) Eficiencia del destilador solar

Se presenta en la tabla 14 el análisis de varianza de la eficiencia del destilador solar, considerando los factores A, B y C y sus interacciones. El análisis indica que los factores principales A, B y C muestran diferencia significativa en los resultados, mientras que las interacciones no presentan diferencia significativa, esto a un nivel de confianza del 95 % y un coeficiente de variabilidad del 3,71 %.

**Tabla 14**

*Análisis de varianza de la eficiencia del destilador solar*

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Factor A: Reflector interno	16,58	1	16,58	29,90	0,0001
Factor B: Almacenador térmico	8,39	1	8,39	15,13	0,0013
Factor C: Profundidad de agua de mar	16,06	2	16,06	28,95	0,0001
Factor A*Factor B	1,29	1	1,29	2,33	0,1464
Factor B*Factor C	0,02	1	0,02	0,03	0,8566
Factor A*Factor C	1,09	1	1,09	1,96	0,1804
Factor A*Factor B*Factor C	0,35	1	0,35	0,64	0,4368
Error	8,87	16	0,55		
Total	52,66	23			

*Nota.* C.V = 3,71 %. Reporte de software InfoStat/L.

Al existir diferencia significativa en los resultados para el factor A, B y C, se procedió a realizar la prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) para la eficiencia del destilador solar. En la tabla 15, los resultados señalan que el D2 reportó valores más altos con un promedio de 20,93 %; diferenciándose significativamente del D1 que obtuvo 19,27 %.

**Tabla 15**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la eficiencia (%): Reflector interno*

<b>Factor A: Reflector</b>	<b>Promedio (%)</b>	<b>Significancia</b>
D2	20,93	a
D1	19,27	b

*Nota.* Reporte de software InfoStat/L.

En la tabla 16, se presenta la prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) aplicada a la eficiencia del destilador solar en función al almacenador térmico. Los resultados indican que el tratamiento AT registró valores más elevados de eficiencia con 20,69 %, diferenciándose significativamente de ST que obtuvo el menor valor (19,51 %).

**Tabla 16**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la eficiencia (%): Almacenador térmico*

<b>Factor B: Almacenador térmico</b>	<b>Promedio (%)</b>	<b>Significancia</b>
AT	20,69	a
ST	19,51	b

*Nota.* Reporte de software InfoStat/L.

Se muestra en la tabla 17 la prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) aplicada a la eficiencia térmica instantánea del destilador solar a diferentes profundidades. Los resultados indican que el tratamiento P1 alcanzó el mayor valor de eficiencia térmica con 20,91 %, diferenciándose significativamente de P3 que obtuvo el menor valor de 19,28 %.

**Tabla 17**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la eficiencia (%): Profundidad de agua de mar*

<b>Factor C: Profundidad</b>	<b>Promedio (%)</b>	<b>Significancia</b>
P1	20,91	a
P3	19,28	b

*Nota.* Reporte de software InfoStat/L.

## 4.2 Producción de agua destilada de mar

### 4.2.1 Volumen acumulado de agua destilada de mar y su factor de producción

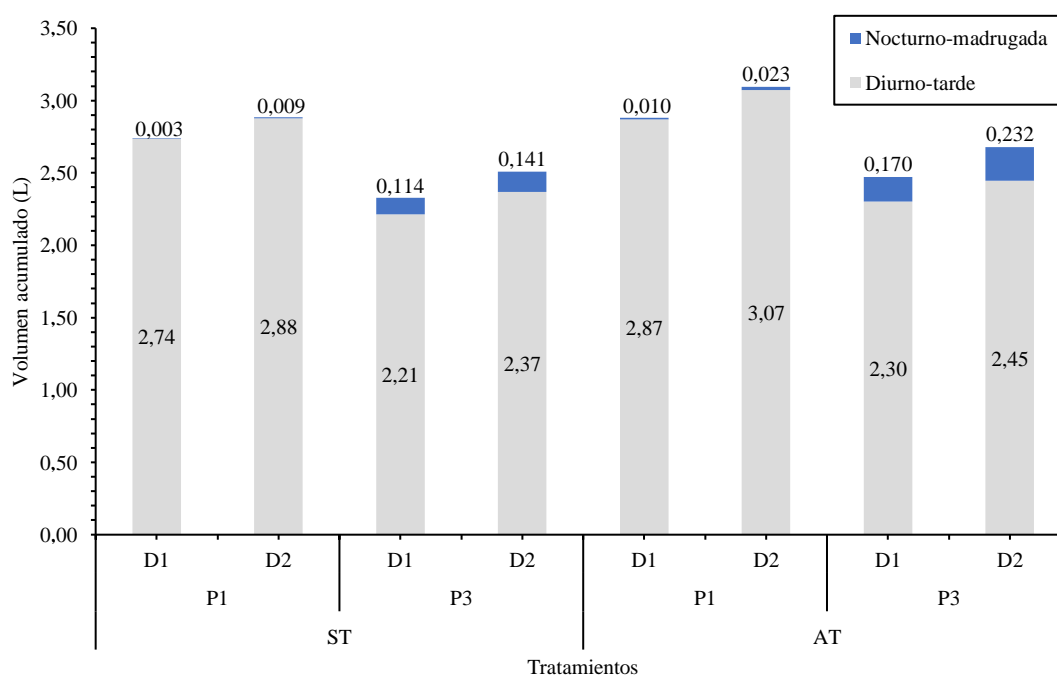
La figura 13 muestra el volumen acumulado de agua destilada de mar en función de los factores evaluados en horario diurno-tarde y nocturno-madrugada. Se observa que el D2 supera al D1 en términos de volumen acumulado de agua destilada de mar en todas las condiciones evaluadas, tanto en horario diurno-tarde como nocturno/madrugada; asimismo, el uso del almacenador térmico mejora el volumen acumulado de agua

destilada en comparación con la condición sin almacenador térmico. Esto se observa tanto en una profundidad de 1 cm como a profundidad de 3 cm y para ambos destiladores.

En el D1 y D2 a P1 en horario diurno-tarde, se genera un volumen acumulado mayor de agua destilada en comparación a P3. Esto es consistente tanto en condiciones de ST como con AT. Ello se evidencia cuando el D2 a P1 y con la adición del almacenador reportó el mayor volumen acumulado en horario diurno-tarde de 3,07 L y menor cantidad en horario nocturno-madrugada de 0,023 L, haciendo un total de 3,09 L equivalente a un factor de producción de 5,25 L/m<sup>2</sup>día (tabla 18); seguido del D1 que, bajo las mismas condiciones obtuvo en horario diurno-tarde de 2,87 y 0,01 L en horario nocturno-madrugada, alcanzado un total de 2,88 L, siendo su factor de producción 4,88 L/m<sup>2</sup>día (Tabla 18). No obstante, en el horario nocturno-madrugada, en condiciones de P3, se produce mayor volumen de agua destilada que a P1, especialmente al usar almacenador térmico, llegando a obtener 0,170 y 0,232 L, en dicho horario para el D1 y D2, respectivamente.

### Figura 13

*Volumen acumulado de agua destilada de mar (L) en función a la combinación de los factores A, B, C en horario diurno-tarde y nocturno-madrugada*



*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 18**

*Factor de producción (L/m<sup>2</sup>día) del destilador solar al aplicar los parámetros de diseño*

Factor de producción (L/m <sup>2</sup> día)	Parámetros de diseño		Tratamientos			
	Almacenador térmico		ST		AT	
	Profundidad		P1	P3	P1	P3
Reflector interno	D1	4,69	3,95	4,88	4,19	
	D2	5,03	4,25	5,25	4,54	

*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.2.2 *Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de rango múltiple de Tukey: Volumen acumulado de agua destilada de mar y eficiencia de producción*

##### a) **Volumen acumulado de agua destilada de mar**

La tabla 19 presenta el análisis de varianza del volumen acumulado del destilador solar. Los resultados muestran que los factores principales A, B, y C presentaron diferencias significativas a un nivel de confianza del 95 %, con un coeficiente de variabilidad del 2,69 %, lo que indica una adecuada precisión en los datos obtenidos. En cuanto a las interacciones entre los factores, estas no mostraron diferencias significativas.

**Tabla 19**

*Análisis de varianza del volumen acumulado de agua destilada del destilador solar con diferentes parámetros de diseño*

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Factor A: Reflector interno	0,24	1	0,24	36,97	<0,0001
Factor B: Almacenador térmico	0,11	3	0,11	17,26	0,0007
Factor C: Profundidad de agua de mar	1,11	1	1,11	170,90	<0,0001
Factor A*Factor B	6,0 <sup>-4</sup>	1	6,0 <sup>-4</sup>	0,09	0,7650
Factor B*Factor C	1,7 <sup>-3</sup>	1	1,7 <sup>-3</sup>	0,26	0,6193
Factor A*Factor C	2,7 <sup>-4</sup>	1	2,7 <sup>-4</sup>	0,04	0,8419
Factor A*Factor B*Factor C	6,7 <sup>-5</sup>	1	6,7 <sup>-5</sup>	0,01	0,9205
Error	0,10	16	0,01		
Total	1,57	23			

*Nota.* C.V = 2,69 %. Reporte de software InfoStat/L.

Al existir diferencia significativa en los resultados, se procedió a realizar la prueba de rango múltiple de Tukey. Se muestra en la tabla 20 la prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) aplicada al volumen acumulado de agua destilada del destilador solar en función al factor reflector. Se observa que el tratamiento D2 obtuvo el mayor volumen acumulado con 2,81 L, diferenciándose significativamente de D1 que alcanzó un promedio menor de 2,61 L.

**Tabla 20**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) del volumen acumulado de agua destilada (L): Reflector interno*

<b>Factor A: Reflector</b>	<b>Promedio (L)</b>	<b>Promedio (L/m<sup>2</sup>día)</b>	<b>Significancia</b>
D2	2,81	4,76	a
D1	2,61	4,42	b

*Nota.* Reporte de software InfoStat/L.

La tabla 21 se registra la prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) del volumen acumulado de agua destilada en función al factor almacenador térmico. Los resultados indican que el tratamiento AT obtuvo el mayor valor de 2,78 L, diferenciándose significativamente del tratamiento ST que tuvo un menor valor de 2,64 L.

**Tabla 21**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) del volumen acumulado de agua destilada (L): Almacenador térmico*

<b>Factor B: Almacenador térmico</b>	<b>Promedio (L)</b>	<b>Promedio (L/m<sup>2</sup>día)</b>	<b>Significancia</b>
AT	2,78	4,71	a
ST	2,64	4,47	b

*Nota.* Reporte de software InfoStat/L.

En la tabla 22, se muestra la prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) aplicada al volumen acumulado de agua destilada a diferentes profundidades. Los resultados destacan que el tratamiento P1 presentó el mayor valor con 2,93 L, diferenciándose significativamente de P3 que obtuvo 2,50 L.

**Tabla 22**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) del volumen acumulado de agua destilada (L): Profundidad de agua de mar*

<b>Factor C: Profundidad</b>	<b>Promedio (L)</b>	<b>Promedio (L/m<sup>2</sup>día)</b>	<b>Significancia</b>
P1	2,93	4,97	a
P3	2,50	4,24	b

*Nota.* Reporte de software InfoStat/L.

### b) Eficiencia de producción

En la tabla 23, se muestra el análisis de varianza de la eficiencia de producción de agua destilada en el sistema de destilación solar. Los resultados muestran que los factores principales A, B, y C presentaron diferencias significativas a un nivel de confianza del 95 %, con un coeficiente de variabilidad del 3,04 %. En cuanto a las interacciones entre los factores, estas no mostraron diferencias significativas.

**Tabla 23**

*Análisis de varianza de la eficiencia de producción de agua destilada del destilador solar con diferentes parámetros de diseño*

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Factor A: Reflector interno	58,81	1	58,81	39,90	<0,0001
Factor B: Almacenador térmico	70,62	1	70,62	47,91	<0,0001
Factor C: Profundidad de agua de mar	140,31	1	140,31	95,18	<0,0001
Factor A*Factor B	0,02	1	0,02	0,02	0,9039
Factor B*Factor C	0,03	1	0,03	0,02	0,882
Factor A*Factor C	7,99	1	7,99	5,42	0,0333
Factor A*Factor B*Factor C	0,03	1	0,03	0,02	0,8960
Error	23,59	16	1,47		
Total	301,41	23			

*Nota.* C.V = 3,04 %. Reporte de software InfoStat/L.

Al existir diferencia significativa en los resultados, se procedió a realizar la prueba de rango múltiple de Tukey. Se muestra en la tabla 24 la prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) aplicada a la eficiencia de producción de agua destilada del destilador solar en función al factor reflector. Se observa que el tratamiento D2 obtuvo la mayor eficiencia con 41,13 %, diferenciándose significativamente de D1 que alcanzó un promedio menor de 38 %.

**Tabla 24**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la eficiencia de producción de agua destilada mediante destilación solar (%): Reflector interno*

<b>Factor A: Reflector</b>	<b>Promedio (%)</b>	<b>Significancia</b>
D2	41,13	a
D1	38,00	b

*Nota.* Reporte de software InfoStat/L.

La tabla 25 registra la prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la eficiencia de producción (%) de agua destilada en función al factor almacenador térmico. Los resultados indican que el tratamiento AT obtuvo el mayor valor de 41,28 %, diferenciándose significativamente del tratamiento ST que tuvo un menor valor de 37,85 %.

**Tabla 25**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la eficiencia de producción de agua destilada mediante destilación solar (%): Almacenador térmico*

<b>Factor B: Almacenador térmico</b>	<b>Promedio (%)</b>	<b>Significancia</b>
AT	41,28	a
ST	37,85	b

*Nota.* Reporte de software InfoStat/L.

En la tabla 26, se muestra la prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) aplicada a la eficiencia de producción de agua destilada a diferentes profundidades. Los resultados destacan que el tratamiento P1 presentó el mayor valor con 41,98 %, diferenciándose significativamente de P3 que obtuvo 37,14 %.

**Tabla 26**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la eficiencia de producción de agua destilada mediante destilación solar (%): Profundidad de agua de mar*

<b>Factor C: Profundidad</b>	<b>Promedio (%)</b>	<b>Significancia</b>
P1	41,98	a
P3	37,14	b

*Nota.* Reporte de software InfoStat/L.

En la tabla 27, se visualiza la prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la interacción entre el factor reflector con la profundidad, donde la interacción D2 con P1 presentó mayor promedio con 43,51 %, diferenciándose significativamente de las demás interacciones, siendo la interacción D1 con P3 la cual reportó el menor promedio con 35,54 %.

**Tabla 27**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la eficiencia de producción de agua destilada mediante destilación solar (%): Interacción del reflector con la profundidad*

<b>Factor A: Reflector</b>	<b>Factor C: Profundidad</b>	<b>Promedio (%)</b>	<b>Significancia</b>
D2	P1	43,51	a
D1	P1	40,45	b
D2	P3	38,74	c
D1	P3	35,54	d

*Nota.* Reporte de software InfoStat/L.

#### **4.3 Análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua obtenida de la destilación solar de agua de mar**

##### **4.3.1 Resultados fisicoquímicos y microbiológicos del agua inicial y destilada de mar**

Se presentan en la tabla 28 el análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua de mar antes y después de la destilación solar al adicionar los parámetros de diseño: reflector y almacenador térmico, donde se tuvieron como muestras: muestra inicial de agua mar (Mi), destilador solar de una vertiente sin almacenador térmico (D1ST), destilador solar de una vertiente con reflector interno sin almacenador térmico (D2ST), destilador solar de una vertiente con almacenador térmico (D1AT),

destilador solar de una vertiente con reflector interno y almacenador térmico (D2AT); las cuales fueron comparadas con los estándares de calidad ambiental (ECA) para aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección (categoría 1-A1) y los límites máximos permisibles (LMP) para consumo humano del reglamento de calidad de agua para consumo humano - D,S, N° 031-2010-SA. Además, se determinó la eficiencia de remoción del sistema de destilación solar.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos, en el pH de todas las muestras analizadas presentan valores dentro del rango permitido por el LMP para consumo humano y ECA categoría 1-A1 (6,5 - 8,5). La conductividad eléctrica en Mi excede ampliamente los LMP y ECA con 51 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , posterior a la destilación se reduce el valor obteniendo eficiencias de remoción que oscilan entre el 99,97 y 99,98 %, logrando valores que cumplen los estándares. En sólidos disueltos totales de 32700 mg/L en Mi, la concentración disminuyó tras la destilación, cumpliendo con el límite de 1,000 mg/L para ambos estándares. La eficiencia de remoción es alta, alcanzando 99,99 % en D2AT. En el parámetro salinidad en Mi obtuvo el 34 %, disminuyendo posterior a la destilación a niveles poco perceptibles (0,01 - 0,02 %) con una eficiencia de remoción del 99,99 %.

En los análisis microbiológicos, los coliformes fecales se mantienen constantes en 1,8 NMP/100 mL tras el tratamiento, cumpliendo con los LMP ( $<1,8$  NMP/100 mL) y los ECA ( $\leq 20$  NMP/100 mL). En el caso de los coliformes totales, la reducción es notable, pasando de 220 NMP/100 mL a 1,8 NMP/100 mL, alcanzando una eficiencia de remoción del 99,18 %, cumpliendo con los estándares establecidos.

**Tabla 28**

*Análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas de muestras de agua de mar antes y después de la destilación solar*

Parámetro	Unidad	Muestra					LMP para consumo humano	ECA categoría 1-A1	Cumplimiento de los estándares en la destilación	Eficiencia de remoción (%)			
		Mi	D1ST	D2ST	D1AT	D2AT				D1ST	D2ST	D1AT	D2AT
<b>Fisicoquímico</b>													
pH	pH	7,86	6,5	6,52	6,58	6,54	6,5-8,5	6,5-8,5	Cumple	-	-	-	-
Conductividad eléctrica	µS/cm	51 000	17,2	15,45	10,91	14,7	1 500	1 500	Cumple	99,97	99,97	99,98	99,97
Sólidos disueltos totales	mg/L	32 700	8,16	7,53	6,15	7,39	1 000	1 000	Cumple	99,97	99,98	99,98	99,99
Salinidad	%	34	0,01	0,01	0,01	0,02	-	-	-	99,99	99,99	99,99	99,99
<b>Microbiológico</b>													
Coliformes fecales	NMP/100 mL	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	20	Cumple	-	-	-	-
Coliformes totales	NMP/100 mL	220	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	50	Cumple	99,18	99,18	99,18	99,18

*Nota.* En la tabla, se presenta la comparación de los resultados con el LMP para consumo humano, ECA categoría 1-A1 y la eficiencia de remoción de los destiladores solares. Mi: muestra inicial de agua mar, D1ST: destilador solar de una vertiente sin almacenador térmico, D2ST: destilador solar de una vertiente con reflector interno sin almacenador térmico, D1AT: destilador solar de una vertiente con almacenador térmico, D2AT: destilador solar de una vertiente con reflector interno y almacenador térmico. Elaboración propia.

#### 4.3.2 *Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de contraste múltiple de Tukey: pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y salinidad*

En la tabla 29, se observan los resultados del análisis de varianza del pH de las muestras de agua de mar y agua destilada recolectada a partir de los destiladores solares, donde existe diferencia significativa entre los tratamientos a un nivel de confianza del 95 % y un coeficiente de variabilidad del 2,47 %.

**Tabla 29**

*Análisis de varianza del pH de las muestras de agua de mar y agua destilada de mar destilada obtenida a partir de destilación solar*

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	4,21	4	1,05	37,39	<0,0001
Error	0,28	10	0,03		
Total	4,49	14			

*Nota.* C.V = 2,47 %. Reporte de software InfoStat/L.

Existiendo diferencia significativa en los resultados se procedió a realizar la prueba de rango múltiple de Tukey para el pH. Se visualiza en la Tabla 30 el Mi tuvo el valor más elevado con un promedio de 7,86, diferenciándose de los tratamientos D1AT, D2AT, D2ST, D1ST; que obtuvieron valores promedio de pH de 6,58; 6,54; 6,52 y 6,50; respectivamente. Cabe señalar que estos cuatro últimos tratamientos no presentaron diferencia significativa entre sí.

**Tabla 30**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) del pH de las muestras de agua de mar y agua destilada de mar obtenida a partir de destilación solar*

Tratamiento	Promedio	Significancia
Mi	7,86	a
D1AT	6,58	b
D2AT	6,54	b
D2ST	6,52	b
D1ST	6,50	b

*Nota.* Reporte de software InfoStat/L.

Se presenta en la tabla 31 los resultados del análisis de varianza de la conductividad eléctrica de las muestras de agua de mar y agua destilada recolectada a partir de los destiladores solares, donde existe diferencia significativa entre los tratamientos a un nivel de confianza del 95 % y un coeficiente de variabilidad del 0,19 %

**Tabla 31**

*Análisis de varianza de la conductividad eléctrica de las muestras de agua de mar y agua destilada de mar obtenida a partir de destilación solar*

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Tratamiento	6 238 835 060,52	4	1 559 708 765,13	4 102 603,80	<0,0001
Error	3 801,75	10	380,18		
Total	6 238 838 862,27	14			

*Nota.* C.V = 0,19 %. Reporte de software InfoStat/L.

Al presentar diferencia significativa entre los tratamientos, se procedió a realizar la prueba de rango múltiple de Tukey para la conductividad eléctrica. En la tabla 32, se muestra que el Mi tuvo el valor más elevado con un promedio de 51 000  $\mu\text{S/cm}$ , diferenciándose de los tratamientos D1ST, D2ST, D2AT y D1AT; que obtuvieron valores promedios de 17,20, 15,45, 14,70 y 10,91  $\mu\text{S/cm}$ , respectivamente, y no presentaron diferencia significativa entre sí.

**Tabla 32**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S/cm}$ ) de las muestras de agua de mar y agua destilada de mar obtenida a partir de destilación solar*

<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio (<math>\mu\text{S/cm}</math>)</b>	<b>Significancia</b>
Mi	51 000,00	a
D1ST	17,20	b
D2ST	15,45	b
D2AT	14,70	b
D1AT	10,91	b

*Nota.* Reporte de software InfoStat/L.

En la tabla 33, se presentan los resultados del análisis de varianza para los sólidos disueltos totales de las muestras de agua de mar y agua destilada obtenidas de los

destiladores solares. Los resultados indican que existe una diferencia significativa entre los tratamientos, con un nivel de confianza del 95 % y un coeficiente de variación del 0,20 %.

**Tabla 33**

*Análisis de varianza de los sólidos disueltos totales de las muestras de agua de mar y agua destilada de mar destilada obtenida a partir de destilación solar*

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Tratamiento	2 565 148 887,77	4	641 287 221,94	4 297 817,61	<0,0001
Error	1 492,12	10	149,21		
Total	2 565 150 379,89	14			

*Nota.* C.V = 0,20 %. Reporte de software InfoStat/L.

Dada la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos, se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey para evaluar los sólidos disueltos totales. Según la tabla 34, la muestra inicial (Mi) presentó el promedio más alto con 32 700 mg/L, diferenciándose significativamente de los tratamientos D1ST, D2ST, D2AT y D1AT, cuyos valores promedios fueron 8,16, 7,53, 7,39 y 6,15 mg/L, respectivamente. Estos cuatro últimos no mostraron diferencias significativas entre sí.

**Tabla 34**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de los sólidos disueltos totales (mg/L) de las muestras de agua de mar y agua destilada de mar obtenida a partir de destilación solar*

<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio (mg/L)</b>	<b>Significancia</b>
Mi	32 700,00	a
D1ST	8,16	b
D2ST	7,53	b
D2AT	7,39	b
D1AT	6,15	b

*Nota.* Reporte de software InfoStat/L.

En la tabla 35, se muestran los resultados del análisis de varianza para la salinidad de las muestras de agua de mar y agua destilada recolectadas de los destiladores solares. Los datos reflejan una diferencia significativa entre los tratamientos, con un nivel de confianza del 95 % y un coeficiente de variación del 17,37 %.

**Tabla 35**

*Análisis de varianza de la salinidad de las muestras de agua de mar y agua destilada de mar destilada obtenida a partir de destilación solar*

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Tratamiento	2 772,09	4	693,02	495,01	<0,0001
Error	14,00	10	1,40		
Total	2 786,09	14			

*Nota.* C.V = 17,37 %. Reporte de software InfoStat/L.

Ante las diferencias significativas detectadas entre los tratamientos, se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey para la salinidad. Como se observa en la tabla 36, la muestra inicial (Mi) tuvo el promedio más alto con un 34 %, diferenciándose significativamente de los tratamientos D2AT, D2ST, D1ST y D1AT, que presentaron promedios de 0,02, 0,01, 0,01 y 0,01 %; respectivamente. Estos últimos no evidenciaron diferencias significativas entre sí.

**Tabla 36**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ) de la salinidad (%) de las muestras de agua de mar y agua destilada de mar obtenida a partir de destilación solar*

<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio (%)</b>	<b>Significancia</b>
Mi	34,00	a
D2AT	0,02	b
D2ST	0,01	b
D1ST	0,01	b
D1AT	0,01	b

*Nota.* Reporte de software InfoStat/L.

## DISCUSIÓN

### 5.1 Comportamiento térmico del destilador solar

Se evaluó el comportamiento térmico del destilador solar de una vertiente considerando los parámetros de diseño: reflector interno (D1: destilador de una vertiente; D2: destilador de una vertiente con reflector interno), almacenador térmico (ST: sin almacenador térmico; AT: con almacenador térmico) y profundidad de agua de mar (P1: 1 cm; P3: 3 cm). El periodo de evaluación fue de 23 horas, dando inicio a las 8 h y culminando a las 7 h. La irradiancia solar aumentó progresivamente desde las 8 h, alcanzando su punto máximo entre las 11 a 13 h con una irradiancia que llegó a un máximo de 1 054 W/m<sup>2</sup>. La temperatura ambiente durante el día-tarde mantiene en valores de 20 a 25 °C, mientras que en horario nocturno-madrugada desciende a valores de 17 a 18 °C. Al respecto, Chandrika et al. (2021) menciona que irradiancia solar y temperatura ambiente incrementan en función a las horas del amanecer, alcanzando su valor máximo a las 12 h del día.

A lo largo del periodo de evaluación, se observó que el comportamiento térmico de los destiladores solares estuvo influenciado por los parámetros de diseño y las condiciones ambientales. En ambos destiladores (D1 y D2), las temperaturas internas (agua y superficie interna) siguieron una tendencia de incremento durante el periodo diurno-tarde, correlacionándose con el aumento de la irradiancia solar. Sin embargo, las configuraciones con presencia de reflector interno (D2) y almacenador térmico (AT) mostraron temperaturas superiores en comparación con las configuraciones sin estos componentes (D1 y ST). El D2 presentó mayores temperaturas en los puntos monitoreados, alcanzando temperaturas máximas de 70 °C en el agua y 63 °C en la superficie interna del destilador solar, llegando una eficiencia de 22,47 % a 1 cm de profundidad de agua de mar en la cubeta con la adición del almacenador térmico, valores mayores a los registrados por el D1 sujeto a las mismas condiciones, obteniendo una temperatura máxima de 66 °C en el agua y 59 °C en la superficie interna con eficiencia del destilador solar del 20,60 %; mientras que, a una profundidad de 3 cm, se evidenciaron disminuciones en las temperaturas máximas, el D2 registró de 69 ° en el agua y 58 °C en la superficie interna, alcanzando una eficiencia de 20,11 % y el D1 65 ° en el agua y 56

°C en la superficie interna con una eficiencia del 19,58 %. Al respecto, se obtuvieron valores más elevados que lo reportado en la investigación de Abdelgaleel et al. (2024), quienes registraron en su destilador solar de una vertiente con reflector interno un máximo de 50 °C en comparación con los 38 °C que obtuvo su destilador convencional, evidenciando la capacidad del uso de reflectores internos para redirigir y concentrar la irradiancia solar hacia el interior del sistema, dicho efecto se tradujo en un calentamiento más elevado en el interior del sistema de destilación; así también, se obtuvieron valores más elevados que Polo y Pérez (2020), cuyo destilador solar de una vertiente con superficie reflectora alcanzó un valor máximo de 68 °C a un volumen inicial de 25 L de agua de mar, representando a un nivel aproximado de 2,5 cm de profundidad de agua en la cubeta de almacenamiento; asimismo, se registraron valores más elevados a lo reportado por Valle (2022) con su destilador solar operado con superficie extendida que registró 14,7 % de eficiencia térmica; mientras que su destilador operando sin superficie extendida obtuvo 6,6 %. La investigación se asemejó a lo obtenido por Perca (2023), cuyo destilador solar de una vertiente con reflector interno evaluado a finales de otoño registró 24,86 % de eficiencia térmica a 1 cm de profundidad. De acuerdo a Sanga (2023), la eficiencia del destilador solar varía en función a la cantidad del volumen inicial de agua depositada en el destilador solar.

Respecto a la profundidad de agua en la cubeta de almacenamiento del destilador solar, a una profundidad de 1 cm se reduce el volumen inicial del agua de mar (5,9 L) en el destilador solar, favoreciendo una mayor área de contacto entre el agua y la superficie de absorción del destilador, lo que mejora la transferencia de calor durante el día. Esto permite que el agua alcance temperaturas más altas rápidamente durante el día; sin embargo, este mismo efecto implica que el sistema pierde calor más rápidamente durante la noche, ya que el agua almacena menos energía térmica (Abdelgaleel et al., 2024). Dicho comportamiento se presencié en la caída de las temperaturas internas de los destiladores a partir de las 18 h en la figura 9, donde existe la ausencia de irradiancia solar. Por lo que, a una profundidad de 1 cm, el sistema no conserva suficiente energía térmica para mantener la evaporación durante la noche. Al incrementar la profundidad a 3 cm (figura 10 y 12), el volumen de agua de mar inicial también se eleva (17,7 L); con ello, se prolonga el tiempo necesario para alcanzar temperaturas elevadas, llegando a su

temperatura más alta entre las 12 a 13 h, lo que resulta en un desfase entre el pico de irradiancia solar y las temperaturas máximas internas. De acuerdo con Al-harshseh et al. (2018), esta mayor cantidad de agua actúa como un amortiguador térmico, permitiendo una liberación de calor más gradual durante la noche.

Referente a la inclusión del almacenador térmico, se evidenció la mejora en la retención de calor durante el horario nocturno-madrugada (figura 11 y 12). En configuraciones con AT, las temperaturas internas descendieron más lentamente tras la puesta del sol, permitiendo que el sistema mantuviera temperaturas operativas durante más tiempo. Esto es especialmente notable en profundidades mayores, donde la mayor masa de agua, combinada con el calor almacenado, prolongó la estabilidad térmica del destilador. Los resultados obtenidos en temperatura al adicionar el almacenador térmico son similares a lo reportado por Shah et al. (2023), quienes emplearon grava negra, elevándose la temperatura del agua salada a aproximadamente 64,4 °C, debiéndose a la capacidad térmica de la grava negra que es menor que la del aire y el agua, calentándose rápidamente. La energía solar, al ser alta durante el mediodía, esta energía térmica adicional se acumula en la grava negra, que se utiliza para mantener la vaporización del agua salada durante la tarde y la noche, lo que contribuye a prolongar el funcionamiento de los destiladores incluso en ausencia de irradiancia solar. De forma similar, Mevada et al. (2022) experimentaron un ascenso de temperatura en el agua de 70,24 °C con su destilador solar al adicionar almacenadores térmicos (bolas de vidrio de color negro, grava negra y piedra de mármol blanco), mientras que sin la adición de estos registraron 63,75 °C; así también, indican que los materiales de almacenamiento de energía almacenan el calor durante el día y lo libera durante la noche; por lo tanto, se podría aumentar la productividad diurna y nocturna; de igual manera, Karthick et al. (2022) menciona que el uso de almacenadores térmico, como el lecho de piedra puede absorber energía solar y liberar la energía durante las últimas horas de la tarde, manteniendo la temperatura interna del destilador solar para vaporizar el agua de mar hasta en horario nocturno.

En relación con la primera hipótesis específica: El destilador solar presenta un comportamiento térmico más elevado al incorporar diferentes parámetros de diseño (profundidad, almacenador térmico, reflector interno), los datos procesados y

referenciados, en la tabla 10, mediante el análisis de varianza (ANOVA), muestran que, al aplicar un nivel de significancia del 5 % (0,05), el factor A (reflector interno) presenta un p-valor de  $<0,0001$ , lo que indica una influencia significativa en la temperatura del agua, el factor B (almacenador térmico) tiene un p-valor de 0,033, lo que también señala una diferencia significativa, el factor C (profundidad de agua de mar) muestra un p-valor de  $<0,0001$ , evidenciando que tiene un impacto importante en la variable analizada, en cuanto a las interacciones entre factores (AB, BC, AC, AB\*C) no presentaron diferencias significativas, ya que sus p-valor fueron mayores a 0,05. Dado que los p-valor de los factores principales son menores al nivel de significancia ( $p < 0,05$ ), se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ), por lo tanto, los parámetros de diseño sí influyen significativamente en el comportamiento térmico del destilador solar.

## 5.2 Producción de agua destilada de mar

La producción de agua destilada de mar se determinó desde las 8 h hasta las 7 h y se realizó considerando los parámetros de diseño: reflector interno, almacenador térmico y profundidad de agua de mar en el destilador solar de  $0,59 \text{ m}^2$  de área. Estos factores determinaron tanto el volumen acumulado de agua destilada durante el día como la continuidad de la producción en horarios nocturnos. Los resultados obtenidos indican que la producción de agua destilada estuvo directamente relacionada con los parámetros de diseño, donde a 1 cm de profundidad se obtuvo mayor volumen de destilado por día, complementado con el uso del reflector y almacenador térmico incrementó la productividad diaria.

El D2 con AT a 1 cm de profundidad produjo mayor producción de agua destilada de mar con 3,09 L/día (factor de producción:  $5,25 \text{ L/m}^2\text{día}$ ) con una eficiencia de producción del destilador solar de 44,71 % y D1 registró 2,88 L/día (factor de producción:  $4,88 \text{ L/m}^2\text{día}$ ) con una eficiencia de producción de 41,52 %; mientras que a 3 cm de profundidad registró una disminución, donde el D2 registró 2,68 L/día (factor de producción:  $4,54 \text{ L/m}^2\text{día}$ ) con una eficiencia de producción de 41,03 % y D1 obtuvo 2,47 L/día (factor de producción:  $4,19 \text{ L/m}^2\text{día}$ ) con una eficiencia de producción de 37,84 %. Los resultados registrados son superiores a lo reportado por Méndez (2021), quien empleó un destilador solar de una vertiente, registrando un volumen de 1 390 mL/11h; así como

Chiroque (2018), quien destiló agua salobre mediante destiladores a dos aguas, destilador en terrazas, destilador solar modificado a dos aguas, módulo solar a un agua, reportando valores de 1,509 a 1,763 L/día, 1,380 a 1,635 L/día, 1,294 a 1,549 L/día y 0,784 a 1,038 L/día, respectivamente, y Dueñas (2021), quien obtuvo con su destilador solar mejorado 825 mL de agua desalada, equivalente a 2 291,7 mL/m<sup>2</sup>día. Cabe recalcar que el volumen producido por un destilador solar es proporcional al área de superficie del destilador, influyendo el tamaño con la producción del sistema de destilación. Ello se evidencia en la investigación de Felix (2020), cuyo destilador solar de una vertiente tuvo un área estimada de 0,15 m<sup>2</sup>, produciendo 452 mL/día; por otra parte, el destilador solar de una vertiente de Barco y Pereda (2021) registró un área de 125,38 cm<sup>2</sup> y masa de 82 kg, reportando 4 000 mL con una irradiancia solar que alcanzó los 800 W/m<sup>2</sup>. Es importante señalar que la irradiancia solar es una variable influyente en la producción de agua destilada (Dueñas, 2021).

La adición de complementos en un destilador solar incrementa su producción, como lo señala Valle (2022), cuyo destilador solar operando con superficie extendida reportó una producción de 7,32 kg/m<sup>2</sup>día y destilador operando sin superficie extendida 4,42 kg/m<sup>2</sup>día. Ello coincide con la investigación de Polo y Pérez (2020), cuyo destilador solar de una vertiente con superficie reflectora obtuvo un volumen de 2,185 L/día, y de Chandrika et al. (2021), quienes obtuvieron un mayor volumen acumulado con la adición de reflectores internos, donde su destilador solar convencional con paredes de espejo de vidrio reflectante (CSS-RGMW) obtuvo 5,54 L/m<sup>2</sup>, seguido del destilador solar convencional con paredes de lámina de aluminio reflectante (CSS-RAFW) 5,1 L/m<sup>2</sup> y destilador convencional 3,41 L/m<sup>2</sup>; afirmando que la presencia del reflectante en las superficies internas del destilado solar maximiza la irradiancia solar disponible al redirigir los rayos hacia el interior del destilador, lo que resulta en una mayor tasa de evaporación y una mayor producción acumulada de agua destilada.

El efecto del reflector fue más notable en la configuración de menor profundidad (P1), donde la energía solar adicional captada por el reflector permitió compensar la menor capacidad térmica del sistema. Lo cual es afirmado por la investigación de Abdelgaleel et al. (2024), cuyos resultados coinciden con la investigación, señalando que, a profundidades de 1, 2, 3 y 4 cm e incorporando reflectores internos y malla de alambre

tejido, se condujo a un incremento en la productividad acumulada conforme a las profundidades evaluadas, obteniendo valores de 5,92; 5,30; 5,00 y 4,70 L/m<sup>2</sup>día, respectivamente, habiendo una mayor producción a menor profundidad (1 cm), lo que permite una producción más rápida y eficiente durante las horas de mayor irradiancia solar. La menor cantidad de agua facilita un calentamiento más rápido, lo que incrementa la tasa de evaporación en menos tiempo. Lo cual es afirmado por Sanga (2023), cuyo destilador solar de una vertiente a menor volumen (4 L) y a un estado de nubosidad despejado obtuvo mayor producción de agua destilada promedio de 962,50 mL con una eficiencia de producción de 11,16 %, y de Perca (2023), quien a 1 cm de profundidad en su destilador solar de una vertiente con reflector interno, registró 3,34 L/día de volumen acumulado de agua destilada, equivalente a 5,66 L/m<sup>2</sup>día como factor de producción y 67,65 % de eficiencia de producción. El volumen de agua destilada por día, depende en parte del volumen inicial de agua de mar depositado en la cubeta; a menor volumen inicial de agua en la cubeta, mayor es el volumen de agua destilada por día (Polo y Pérez, 2020).

Sin embargo, el menor volumen de agua se tradujo en una reducción de la capacidad térmica del sistema, lo que limitó la producción de agua destilada en horarios nocturnos y de madrugada debido a la rápida pérdida de calor; no obstante, a profundidad de 3 cm, la mayor masa de agua permitió mantener temperaturas elevadas durante un periodo más prolongado, lo que resultó en una producción durante la noche. Esto fue especialmente evidente cuando se combinó con el almacenador térmico, donde el efecto fue más pronunciado, ya que la combinación de una mayor masa de agua y el calor almacenado proporcionó una producción nocturna adicional. En configuraciones sin almacenador térmico, la producción de agua destilada se redujo después de la puesta del sol debido a la rápida disipación de calor. Dicha afirmación la podemos evidenciar en la investigación de Mevada et al. (2022), cuyo destilador solar convencional (CSS) y el destilador solar con materiales de almacenamiento de energía (bolas de vidrio de color negro, grava negra y piedra de mármol blanco) tuvieron una eficiencia diaria de destilado de 1,4 L/m<sup>2</sup> y 2,5 L/m<sup>2</sup>, respectivamente, señalando que el material de almacenamiento de energía aumenta la evaporación del agua durante el día y libera calor durante la noche, lo que resulta en un mayor rendimiento de destilado que el CSS. De forma similar, en la investigación de Karthick et al. (2022), el destilador solar de una vertiente con lecho de

roca produce más agua dulce durante el día y también durante la noche, siendo que la eficiencia del destilador solar con la adición del lecho de piedra es de 47,92 % y la eficiencia del destilador solar tradicional, de 29,34 %; por lo que la eficiencia general del destilador solar tradicional se mejora en un 18,6 % al utilizar las piedras de roca, debido al medio de almacenamiento de datos de energía dentro del depósito del destilador solar. Dicha energía almacenada dentro del almacenador térmico proporciona la energía absorbida al agua del estanque cuando la luz solar es reducida (estado nublado) o no hay (por la noche); por lo que la vaporización continúa hasta que el medio de almacenamiento de energía y el agua del estanque alcanzan una condición de equilibrio, lo que aumenta el rendimiento del destilador.

Con respecto a la segunda hipótesis específica: Se obtiene mayor producción de agua destilada de mar en un destilador solar al aplicar diferentes parámetros de diseño (profundidad, almacenador térmico, reflector interno), los datos analizados y presentados en la tabla 19 mediante el análisis de varianza (ANOVA) evidencian que, con un nivel de significancia del 5 % (0,05), el factor A (reflector interno) presenta un p-valor de  $<0,0001$ , lo que indica una influencia significativa en el volumen acumulado de agua destilada. De manera similar, el factor B (almacenador térmico) exhibe un p-valor de 0,0007, lo que confirma su impacto relevante en la variable de estudio, mientras que el factor C (profundidad de agua de mar) obtiene un p-valor de  $<0,0001$ , demostrando su efecto determinante. En contraste, las interacciones entre los factores (AB, BC, AC, AB\*C) no presentaron diferencias significativas, dado que sus respectivos p-valor fueron mayores a 0,05. Como los p-valor de los factores principales son inferiores al nivel de significancia ( $p < 0,05$ ), se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ), por lo que los parámetros de diseño influyen significativamente en la producción de agua destilada en el destilador solar.

### **5.3 Análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua obtenida de la destilación solar de agua de mar**

El análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua destilada generada por los destiladores solares, considerando los parámetros de diseño:

almacenador térmico y reflector interno, demostró mejoras en la calidad del agua en comparación con la muestra inicial de agua de mar. El agua destilada de mar presentó valores de pH entre 6,5 a 6,58 menor a la muestra inicial de agua de mar (pH de 7,86), existiendo una disminución en el parámetro analizado, pero manteniéndose dentro del rango permitido por los LMP y ECA (6,5 - 8,5). Los resultados coinciden con Dueñas (2021), quien experimentó una disminución 7,8 a 6,6 de pH; así como Barco y Pereda (2021), cuyo destilador solar reportó un pH de 6,9 en el agua destilada de mar; al igual que Felix (2020), quien registró un pH de 7 en el agua destilada mediante destilación solar; tal como Méndez (2021), cuya agua destilada a partir de destilación solar reportó un pH de 6,738, y Valle (2022), quien experimentó la disminución que varió entre 6,11 a 7,4 de pH.

La conductividad eléctrica del agua destilada se redujo considerablemente en comparación con la muestra inicial de agua de mar (51 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). El D1ST, D2ST, D1AT y D2AT lograron valores de 17,2; 15,45; 10,91 y 14,7  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respectivamente; obteniendo una remoción de 99,7 y 99,8 %; cumpliendo con el límite de 1,500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  establecido por los ECA y LMP. Los resultados en la eficiencia de remoción son superiores a lo reportado por Barco y Pereda (2021), quienes registraron una mínima conductividad eléctrica de 459  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; así como por Felix (2020), quien obtuvo 86,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de conductividad eléctrica; también Méndez (2021), quien recibió una conductividad eléctrica de agua destilada de 60,984  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; y Valle (2022), cuyo destilador solar registró una conductividad eléctrica que varió entre 41 a 379  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Referente a la eficiencia de remoción, se obtuvieron resultados similares a Dueñas (2021), quien registró 99,74 % de eficiencia en el parámetro conductividad eléctrica.

La cantidad inicial de sólidos disueltos totales (32 700 mg/L) disminuyó drásticamente después de la destilación solar. El D1ST, D2ST, D1AT y D2AT registraron valores de 8,16; 7,53; 6,15 y 7,39 mg/L, respectivamente; logrando eficiencias de remoción entre el 99,97 a 99,99 %. Similarmente, Barco y Pereda (2021) reportó una disminución en los sólidos totales entre 7,34 a 7,56; así como Valle (2022) que obtuvo entre 20 a 187 mg/L de sólidos disueltos totales y Dueñas (2021) reportó un 99,65 % en la eficiencia de remoción de sólidos disueltos totales.

La salinidad inicial de 34 % se redujo a niveles mínimos en el D1ST, D2ST, D1AT y D2AT, registraron valores de 0,01; 0,01; 0,01 y 0,02 %, existiendo una remoción del 99,99 %. Esta notable reducción se asocia al proceso de destilación solar para eliminar las sales disueltas. Los resultados coinciden con la investigación de Valle (2022) cuya agua destilada mantuvo rangos de 0 a 0,02 % de salinidad.

En cuanto al parámetro microbiológico, no hubo variación en los coliformes fecales al obtener en la muestra inicial; así como en las muestras de destilación D1ST, D2ST, D1AT y D2AT el valor de  $< 1,8$  NMP/100 mL. Este resultado cumple con los límites establecidos por los LMP ( $< 1,8$  NMP/100 mL) y los ECA ( $\leq 20$  NMP/100 mL). Con referencia a los coliformes totales, se registra un valor inicial de 220 NMP/100 mL, posterior a la destilación disminuyó a  $< 1,8$  NMP/100 mL en el agua destilada de D1ST, D2ST, D1AT y D2AT, logrando una eficiencia de remoción de 99,18 %. Los resultados coinciden con Barco y Pereda (2021), cuya agua destilada mediante destilación solar obtuvo en la prueba microbiológica una concentración mínima y en muchos casos 0 UFC/100mL; así como en la investigación de Perca (2023), quien evidenció una eficiencia de remoción mayor al 99 % en los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos evaluados posterior a la destilación solar.

Durante el proceso de destilación solar, únicamente las moléculas de agua cambian de fase (de líquido a vapor), mientras que las sales disueltas que contribuyen directamente a la conductividad eléctrica y la salinidad, permanecen en el recipiente de agua no evaporada. Los destiladores solares pueden producir agua potable de buena calidad a partir de la mayoría de los tipos de agua de alimentación, básicamente cualquier agua que contenga contaminantes no volátiles (Arunkumar et al., 2021). En cuanto a los microorganismos, las altas temperaturas alcanzadas durante el proceso de destilación son suficientes para destruir y/o inactivar los microorganismos sensibles al calor (Tiago et al., 2018). Por lo tanto, los destiladores solares evaluados, bajo diferentes parámetros de diseño, lograron producir agua destilada con características fisicoquímicas y microbiológicas evaluadas que cumplen con los estándares de calidad establecidos para consumo humano (LMP) y potabilización con desinfección (ECA categoría 1-A1), independientemente del parámetro de diseño aplicado en el destilador solar.

Respecto a la tercera hipótesis específica: Las características fisicoquímicas y microbiológicas evaluadas del agua destilada de mar obtenida de la destilación solar cumplen con el estándar de calidad ambiental para agua y el reglamento de calidad de aguas para consumo humano, los datos procesados y referenciados en la tabla 29 mediante el análisis de varianza (ANOVA) muestran que, al aplicar un nivel de significancia del 5 % (0,05), el parámetro de pH presenta un p-valor de  $<0,0001$ , lo que indica una diferencia significativa entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ). En la tabla 31, el análisis de la conductividad eléctrica también muestra una diferencia significativa ( $p < 0,0001$ ) al tener un p-valor menor a 0,05. Asimismo, en la tabla 33, los resultados para los sólidos disueltos totales reflejan una diferencia significativa ( $p < 0,0001$ ). Por otro lado, en la tabla 35, se presentan los resultados para la salinidad, donde se obtuvo un p-valor de  $<0,0001$ ; sin embargo, este parámetro no está contemplado explícitamente dentro de los ECA para aguas categoría 1-A1 ni en el reglamento de calidad de aguas para consumo humano. Cabe resaltar que, si bien se realizaron análisis microbiológicos en un laboratorio certificado, no se obtuvieron repeticiones suficientes para aplicar ANOVA, por lo que su evaluación se realizó a partir de los resultados individuales obtenidos. Dado que los parámetros fisicoquímicos evaluados que sí están normados (pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales) presentan diferencias significativas y cumplen con los estándares establecidos, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ); por ende, el agua destilada de mar obtenida mediante destilación solar cumple con el ECA para aguas y el reglamento de calidad de aguas para consumo humano en los parámetros evaluados.

Finalmente, la hipótesis general indica que el factor de producción de un destilador solar de una vertiente para la destilación de agua de mar en Tacna mejora significativamente con la aplicación de distintos parámetros de diseño. Los análisis realizados en cada hipótesis específica, junto con las verificaciones estadísticas, respaldan y consolidan esta afirmación.

## CONCLUSIONES

1. Se evaluó el efecto de los parámetros de diseño (profundidad, almacenador térmico y reflector interno) en el factor de producción de un destilador solar de una vertiente en la destilación de agua de mar en Tacna y se encontró que a una menor profundidad de agua de mar en la cubeta del destilador solar, el uso de reflectores internos y almacenadores térmicos se incrementa la eficiencia del destilador, aumentando tanto la temperatura como la producción acumulada de agua destilada de mar y su factor de producción, especialmente en regiones áridas como Tacna; asimismo, el agua destilada de mar obtenida cumplió con los estándares de calidad para consumo humano establecidos por la normativa peruana.
2. El comportamiento térmico del destilador solar estuvo influenciado por los parámetros de diseño. Una menor profundidad de agua (1 cm) permitió un calentamiento más rápido y alcanzó mayores temperaturas durante el día, registrando en el D2 con AT una temperatura máxima del agua de 70 °C y una eficiencia del 22,47 %. En cambio, para una mayor profundidad (3 cm) la temperatura del agua del destilador solar se mantiene superior a la temperatura ambiente durante el horario nocturno y la madrugada, lo que prolongó el proceso de destilado. El uso del almacenador térmico optimizó la retención de calor, mejorando la eficiencia del sistema en periodos de baja irradiancia. Asimismo, la inclusión del reflector interno incrementó la captación de irradiancia solar, favoreciendo temperaturas más elevadas en los puntos monitoreados dentro del destilador solar.
3. La producción de agua destilada de mar incrementó al adicionar los parámetros de diseño, reflector interno y el almacenador térmico. La menor profundidad de agua (1 cm) permitió una mayor tasa de producción diaria debido al rápido calentamiento, alcanzando en el D2 con AT un máximo de 3,09 L/día, con un factor de producción de 5,25 L/m<sup>2</sup>/día y una eficiencia de producción del 44,71 %. Por otro lado, la profundidad de 3 cm, con el reflector y el almacenador térmico, facilitó una producción prolongada durante la noche, ya que el calor acumulado fue liberado de manera gradual, asegurando una destilación continua.

4. El agua destilada obtenida mediante destilación solar e influenciado por los parámetros de diseño cumplieron con el reglamento de calidad de aguas para consumo humano y los estándares de calidad ambiental para agua categoría 1-A1. Los parámetros fisicoquímicos, como pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales, mostraron valores dentro de los límites permitidos; así como los análisis microbiológicos que demostraron una eficiencia de remoción superior al 99 %, evidenciando que el sistema de destilación solar es eficaz tanto en la reducción de sales, como en la eliminación de microorganismos presentes en el agua de mar.

## **RECOMENDACIONES**

1. Para futuras investigaciones en el ámbito académico y científico, se sugiere realizar estudios a largo plazo para evaluar la variabilidad del rendimiento del destilador solar en diferentes estaciones del año y condiciones meteorológicas.
2. Para investigadores del área de energías renovables y tecnologías de tratamiento de agua, se recomienda explorar otros materiales de almacenamiento térmico con mayor capacidad de retención de calor para mejorar la eficiencia nocturna del sistema.
3. Para investigadores, académicos y diseñadores de sistemas de desalinización, se sugiere estudiar la incorporación de sistemas híbridos, como calentadores solares complementarios, para aumentar la producción de agua en días de baja irradiancia.
4. Para ampliar la aplicabilidad del sistema en futuras investigaciones, se recomienda evaluar el tratamiento de otras fuentes de agua contaminada, como aguas residuales domésticas o industriales, mediante el mismo proceso de destilación solar.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abd, A. y Hassan, H. (2019). Experimental investigation on the impact of thermal energy storage on the solar still performance coupled with PV module via new integration. *Solar Energy*, 184, 584–593.  
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.04.042>
- Abdelgaleel, M., Alswat, M., Mosalam, H., Elnaby Kabeel, A. y Ramzy, K. (2024). Enhancement and evaluation of solar still performance using internal reflectors and woven wire mesh: An experimental approach. *Solar Energy*, 277.  
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2024.112740>
- Abujazar, M., Fatihah, S., Rakmi, A. y Shahrom, M. (2016). The effects of design parameters on productivity performance of a solar still for seawater desalination: A review. *Desalination*, 385, 178–193. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.02.025>
- Alban, J. (2015). *Destilador solar para potabilizar el agua para una familia de 3 a 4 personas en el sitio bajo alto, Cantón el Guabo, provincia de el Oro*. Universidad Técnica de Machala.
- Al-harahsheh, M., Abu-Arabi, M., Mousa, H. y Alzghoul, Z. (2018). Solar desalination using solar still enhanced by external solar collector and PCM. *Applied Thermal Engineering*, 128, 1030–1040.  
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.09.073>
- Al-Hinai, H., Al-Nassri, M. y Jubran, B. (2002). Effect of climatic, design and operational parameters on the yield of a simple solar still. *Desalination*, 43(13), 1639–1650. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0140-6701\(03\)90659-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0140-6701(03)90659-X)
- Alkaisi, A., Mossad, R. y Sharifian-Barforoush, A. (2017). A review of the water desalination systems integrated with renewable energy. *Energy Procedia*, 110, 268–274. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.138>
- Alsadaie, S. (2017). *Design and Operation of Multistage Flash (MSF) Desalination: Advanced Control Strategies and Impact of Fouling. Design operation and control of multistage flash desalination processes: dynamic modelling of fouling, effect of*

- non-condensable gases on venting system design and implementation of GMC and fuzzy control* [Universidad de Bradford]. <http://hdl.handle.net/10454/15924>
- Arunkumar, T., Raj, K., Chaturvedi, M., Thenmozhi, A., Denkenberger, D. y Tingting, G. (2021). A review on distillate water quality parameter analysis in solar still. In *International Journal of Ambient Energy* (Vol. 42, Issue 11, pp. 1335–1342). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/01430750.2019.1587722>
- Bandhu, D., Kumar, N., Harender, Kumar, S., Kumar, S. y Mallick, A. (2019). Effect of depth of water on various efficiencies and productivity of N identical partially covered PVT collectors incorporated single slope solar distiller unit. *Desalination and Water Treatment*, 138, 99–112. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.23242>
- Barco, E. y Pereda, J. (2021). *Potabilización del agua de mar mediante destilador solar en Ancón - Lima 2021* [Universidad César Vallejo]. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/98945/Barco\\_MESS-Pereda\\_CJP-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/98945/Barco_MESS-Pereda_CJP-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ben, H., Abdullah, A. S., Elnaby, A. y Abdelgaied, M. (2023). Design and development of a tubular solar distiller using a convex absorber, wick materials, and PCM reservoir combined with a solar parabolic concentrator. *Journal of Energy Storage*, 62. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.106897>
- Castillo, M., Pilatowsky, D., Castillo, M. y López, E. (2014). Análisis del potencial de la tecnología de congelación/fusión para la desalinización del agua de mar utilizando la energía termo solar. *Innovación & Sustentabilidad Tecnológica*, 1–1. <https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes1/An%C3%A1lisis%20del%20potencial%20de%20la%20tecnolog%C3%ADa%20de%20congelaci%C3%B3n.pdf>
- Chandrika, V., Attia, M., Manokar, A., Garcia, F., Driss, Z. y Sathyamurthy, R. (2021). Performance enhancements of conventional solar still using reflective aluminium foil sheet and reflective glass mirrors: energy and exergy analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(25), 32508–32516. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13087-2>

- Chiroque, R. (2018). *Comparación de destiladores solares para la obtención de agua dulce en pozos de agua salobre en la C.C. San Juan Bautista de Catacaos - Piura - 2018* [Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo].  
[https://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2422/T033\\_02770570\\_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2422/T033_02770570_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cordova, P., Barrios, T. y Cordova, I. (2021). *Modelación del sistema de destilación solar y la desalinización de agua de mar en la Bahía de Paracas*. <https://unicontestado-site.s3.amazonaws.com/site/biblioteca/ebook/Pedro%20-%20MODELACION%20DEL%20SISTEMA%20DE%20DESTILACION%20SOLAR.pdf>
- Cossío, M. (2024). Desafíos hídricos y soluciones sostenibles para el fomento de la industria del hidrógeno verde en la región Tacna - Perú. *Agenda Internacional*, 31(43), 65–85. <https://doi.org/10.18800/agenda.202402.004>
- Cruz, L. y Fauster, T. (2021). *Destilador solar como método sostenible para la purificación de aguas grises, los Olivos, 2021*. Universidad César Vallejo.
- DIGESA. (2011). *Guía técnica procedimiento de tomas de muestras del agua de mar en playas de baño y recreación*. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-tecnica-procedimiento-toma-muestra-agua-mar-playas-bano>
- Dueñas, R. (2021). *Rendimiento de un destilador solar mejorado para la desalinización de agua en el distrito de Jesus Maria (Lima-Perú)* [Universidad Científica del Sur]. <https://doi.org/10.21142/tl.2022.2282>
- Dunkle, R. (1961). *Solar water distillation: the roof type still and a multiple effect diffusion still*. ASME.
- Felix, C. (2020). *Sistema de destilación solar para purificación de aguas salobres* [Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco].  
<https://repositorio.unjbg.edu.pe/server/api/core/bitstreams/9e947025-ebc9-411d-a4d3-11c5ba593c15/content>
- Fundación Nacional de Salud. (2013). *Manual práctico de análisis de agua* (4ta edición).

- Grueso, M. (2021). *Evaluación y optimización de un sistema de potabilización con filtración gruesa ascendente y filtración rápida descendente: una alternativa de tratamiento para pequeñas comunidades*.  
[https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/20727/1/GruesoMaria\\_2021\\_EvaluacionOptimizacionPotabilizacion.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/20727/1/GruesoMaria_2021_EvaluacionOptimizacionPotabilizacion.pdf)
- Grueso-Dominguez, M., Castro-Jiménez, C., Correa-Ochoa, M. y Saldarriaga-Molina, J. (2019). Estado del arte: desalinización mediante tecnologías de membrana como alternativa frente al problema de escasez de agua dulce. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 18(35), 69–89. <https://doi.org/10.22395/rium.v18n35a5>
- Hammoodi, K., Dhahad, H., Alawee, W. y Omara, Z. (2023). A detailed review of the factors impacting pyramid type solar still performance. *Alexandria Engineering Journal*, 66, 123–154. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.12.006>
- Jabbar, A., Khalifa, N. y Ali, M. (2015). Indoor tests on the effect of wind speed on still performance. *Journal Homepage: Wwww.IJEE.IEEFoundation.Org ISSN*, 6(3), 2076–2909. [https://www.ijee.ieefoundation.org/vol6/issue3/IJEE\\_07\\_v6n3.pdf](https://www.ijee.ieefoundation.org/vol6/issue3/IJEE_07_v6n3.pdf)
- Jathar, L. D., Ganesan, S., Shahapurkar, K., Soudagar, M. E. M., Mujtaba, M. A., Anqi, A. E., Farooq, M., Khidmatgar, A., Goodarzi, M. y Safaei, M. R. (2022). Effect of various factors and diverse approaches to enhance the performance of solar stills: a comprehensive review. In *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* (Vol. 147, Issue 7, pp. 4491–4522). Springer Science and Business Media B.V.  
<https://doi.org/10.1007/s10973-021-10826-y>
- Kabeel, A. E. y El-Agouz, S. A. (2011). Review of researches and developments on solar stills. In *Desalination* (Vol. 276, Issues 1–3, pp. 1–12).  
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.03.042>
- Kalbasi, R. y Esfahani, M. N. (2010). Multi-Effect Passive Desalination System, An Experimental Approach. *World Applied Sciences Journal*, 10(10), 1264–1271.  
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=8ef740f78c5acb9724e7d30387c5d113e380c6f>

- Karthick, M., Joe Patrick Gnanaraj, S., Appadurai, M. y Jeshurun, S. B. (2022). Productivity Enhancement of a Single Slope Solar Still with Energy Storage Medium. *Materials Today: Proceedings*, 60, 889–893.  
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.548>
- Khatod, K. J., Katekar, V. P. y Deshmukh, S. S. (2022). An evaluation for the optimal sensible heat storage material for maximizing solar still productivity: A state-of-the-art review. In *Journal of Energy Storage* (Vol. 50). Elsevier Ltd.  
<https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104622>
- Kumar, V., Kumar, S. y Kumar, P. (2022). A systematic review for performance augmentation of solar still with heat storage materials: A state of art. In *Journal of Energy Storage* (Vol. 47). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103578>
- Limache, F. (2021). *Evaluación comparativa de lechuga de agua (Pistia stratiotes) y jacinto de agua (Eichhornia crassipes) para el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Tacna*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Mamani, E. (2012). *Diseño, construcción y caracterización de un Destilador Solar Tubular Para Desalinizar Agua de mar*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Méndez, L. (2021). *Efecto de uso del agua destilada de mar con energía solar y compost de residuos orgánicos sobre el cultivo de espinaca (Spinacia oleracea L.) en condiciones de invernadero* [Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/server/api/core/bitstreams/d2781fb3-5c4e-4e90-a483-28fb25467952/content>
- Mevada, D., Panchal, H., Ahmadein, M., Zayed, M. E., Alsaleh, N. A., Djuansjah, J., Moustafa, E. B., Elsheikh, A. H. y Sadasivuni, K. K. (2022). Investigation and performance analysis of solar still with energy storage materials: An energy-exergy efficiency analysis. *Case Studies in Thermal Engineering*, 29, 1–13.  
<https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101687>

- Nafey, A. S., Mohamad, M. y Sharaf, M. (2008). Enhancement of solar water distillation process by surfactant additives. *Desalination*, 220(1–3), 514–523. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.051>
- Nalco, W. (2018). *The Nalco Water Handbook* (Fourth). MacGrawHillEducation. [https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/20727/1/GruesoMaria\\_2021\\_EvaluacionOptimizacionPotabilizacion.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/20727/1/GruesoMaria_2021_EvaluacionOptimizacionPotabilizacion.pdf)
- Nasrdine, S., Benchrifa, M., Mabrouki, J., Qisse, N. y Slaoui, M. (2024). Comparative study of the quality of water produced by a solar distiller and by reverse osmosis. *Desalination and Water Treatment*, 317. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100264>
- Omara, Z. M., Kabeel, A. E. y Abdullah, A. S. (2017). A review of solar still performance with reflectors. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 68, pp. 638–649). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.031>
- Panchal, H. (2016). Use of thermal energy storage materials for enhancement in distillate output of solar still: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 86–96. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.043>
- Panchal, H., Doshi, M., Chavda, P. y Goswami, R. (2011). Effect of cow dung cakes inside basin on heat transfer coefficients and productivity of single basin single slope solar still. *International Journal of Applied Engineering Research, Dindigul*, 1(4), 675–690.
- Panchal, H. y Mohan, I. (2017). Various methods applied to solar still for enhancement of distillate output. *Desalination*, 415, 76–89. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.04.015>
- Panchal, H. N. y Shah, P. K. (2011). *Modelling and verification of single slope solar still using ANSYS-CFX*. Energy Environment. ([www.IJEE.%0AIEEEFoundation.org](http://www.IJEE.%0AIEEEFoundation.org))
- Panchal, H. y Patel, S. (2016). Effect of Various Parameters on Augmentation of Distillate Output of Solar Still: A Review. *Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy*, 1(1). <https://doi.org/10.1007/s40866-016-0005-2>

- Panchal, H. y Patel, S. (2017). An extensive review on different design and climatic parameters to increase distillate output of solar still. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 750–758. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.001>
- Perca, D. (2023). *Evaluación comparativa de destiladores solares tipo cubeta en la eficiencia de producción/purificación de aguas grises en la ciudad de Tacna*. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/search?spc.page=1&query=destilador%20solar>
- Polo, B. y Pérez, A. (2020). Construcción y caracterización de un destilador solar de una vertiente con superficie reflectora Construction and characterization of a single slope solar still with reflecting surface. *Ciencias*, 4, 3–3. <https://doi.org/https://doi.org/10.33326/27066320.2020.4.981>
- Prajapati, M., Shah, M., Soni, B., Parikh, S., Sircar, A., Balchandani, S., Thakore, S. y Tala, M. (2021). Geothermal-solar integrated groundwater desalination system: Current status and future perspective. *Groundwater for Sustainable Development*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100506>
- Rajamanickam, M. R., Velmurugan, P., Ragupathy, A. y Sivaraman, E. (2021). Use of thermal energy storage materials for enhancement in distillate output of double slope solar still. *Materials Today: Proceedings*, 34, 416–419. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.203>
- Saavedra, A., Valdés, H., Mahn, A. y Acosta, O. (2021). Comparative analysis of conventional and emerging technologies for seawater desalination: Northern Chile as a case study. *Membranes*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/membranes11030180>
- Sabando, A. (2017). *Diseño y construcción de un destilador solar para aguas residuales en la ciudad de Riobamba*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Sanga, M. (2023). *Recuperación de agua de los residuos líquidos del proceso de macerado de la aceituna con un destilador solar de una vertiente en la ciudad de Tacna*.
- Sathyamurthy, R., Harris Samuel, D., Nagarajan, P. y Arunkumar, T. (2016). Geometrical variations in solar stills for improving the fresh water yield—A

- review. *Desalination and Water Treatment*, 57(45), 21145–21159.  
<https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1136241>
- Saxena, A., Cuce, E., Kabeel, A., Abdelgaied, M. y Goel, V. (2022). A thermodynamic review on solar stills. *Solar Energy*, 237, 377–413.  
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.04.001>
- Shah, R., Makwana, M., Makwana, N. y Desai, R. (2023). Performance analysis of black gravel solar still. *Materials Today: Proceedings*, 72, 1000–1006.  
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.115>
- Sharshir, S. W., Elsheikh, A. H., Edreis, E. M. A., Ali, M. K. A., Sathyamurthy, R., Kabeel, A. E., Zang, J. y Yang, N. (2019). Improving the solar still performance by using thermal energy storage materials: A review of recent developments. *Desalination and Water Treatment*, 165, 1–15.  
<https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24362>
- Sierra, C. (2011). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico* (1st ed.). Ediciones de la U.
- Silva, F. y Cunha, M. (2017). Desalination projects economic feasibility: A standardization of cost determinants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 904–915. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.024>
- Singh, S., Kaushik, S., Tyagi, V. y Tyagi, S. (2021). Comparative Performance and parametric study of solar still: A review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101541>
- Soheil, H., Maryam, P., Nioushasadat, H. y Babak, A. (2019). Aplicación de la energía solar para eliminar la sal del agua de mar. *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 7, 1–16.  
<https://dilemascontemporaneoseduccionpoliticayvalores.com/index.php/dilemas/article/view/1646/1365>
- Tiago, F., Augusto, C., Rosado, F., Staggemeier, R. y Lauer, C. (2018). Efficacy of a solar still in destroying virus and indicator bacteria in water for human

- consumption. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 13(4), 1. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2084>
- Tiwari, G. y Sahota, L. (2017). *Advanced Solar-Distillation Systems*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-4672-8>
- Tiwari, G. y Tiwari, A. (2008). *Solar Distillation Practice for Water Desalination Systems* (Anshan Pub).
- Tyagi, P., Kumar, R. y Mondal, P. (2020). A review of the state-of-the-art nanofluid spray and jet impingement cooling. *Physics of Fluids*, 32(12). <https://doi.org/10.1063/5.0033503>
- UNESCO. (2020). *Water and climate change*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372985>
- Valle, F. (2022). *Diseño y construcción de un destilador solar de múltiples etapas acoplado a un colector solar de tubos de calor concentrado* [Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5181/del-valle-poma-fortunato.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Varun, S. y Mathu, A. (2017). Desig and analysis of solar still. *Materials Today: Proceedings*, 4, 9179–9185. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.07.275>
- Villena, J. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 35(2), 304–308. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719>
- Water, S. (2019). *How Much Water is There on Earth?* USGS. [https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/how-much-water-there-earth?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/how-much-water-there-earth?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects)

## **ANEXOS**

**Anexo 1.** Matriz de consistencia “Efecto de parámetros de diseño en el factor de producción de un destilador solar de una vertiente en la destilación de agua de mar en Tacna”

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Método	Instrumentos
<b>Problema general</b> ¿Qué efecto tienen los parámetros de diseño en el factor de producción de un destilador solar de una vertiente en la destilación de agua de mar en Tacna?	<b>Objetivo general</b> Evaluar el efecto de los parámetros de diseño en el factor de producción de un destilador solar de una vertiente en la destilación de agua de mar en Tacna.	<b>Hipótesis general</b> El factor de producción de un destilador solar de una vertiente para la destilación de agua de mar en Tacna mejora significativamente al aplicar diferentes parámetros de diseño.	<b>Variabes independientes</b> X1: Parámetros de diseño  <b>Variabes dependientes</b> Y1: Factor de producción	-	-	-
<b>Problemas específicos</b> a. ¿Cómo es el comportamiento térmico del destilador solar de una vertiente al aplicar diferentes parámetros de diseño (profundidad, almacenador térmico, reflector interno)?	<b>Objetivos específicos</b> a. Evaluar el comportamiento térmico del destilador solar de una vertiente al aplicar diferentes parámetros de diseño (profundidad, almacenador térmico, reflector interno).	<b>Hipótesis específicas</b> a. El destilador solar presenta un comportamiento térmico más elevado al incorporar diferentes parámetros de diseño (profundidad, almacenador térmico, reflector interno).	<b>Variabes independientes</b> X1: Parámetros de diseño  <b>Variabes dependientes</b> Y1: Comportamiento térmico	- Nivel (cm) - Masa (kg) - Dimensión (m <sup>2</sup> )  - Tiempo (min) - Temperatura (°C) - Eficiencia (%)	- Método de medición directa - Método de medición directa - Método de medición directa  - Método de lectura con cronómetro - Medición directa de temperatura - Medición indirecta mediante aplicación de ecuación (7)	- Balanza digital - Cinta métrica  - Termocuplas - Sistema de adquisición de datos
b. ¿Cuál es la producción de agua destilada de mar del destilador solar de una vertiente al aplicar diferentes parámetros de diseño (profundidad, almacenador térmico, reflector interno)?	b. Determinar la producción de agua destilada de mar en un destilador solar de una vertiente al aplicar diferentes parámetros de diseño (profundidad, almacenador térmico, reflector interno).	b. Se obtiene mayor producción de agua destilada de mar en un destilador solar al aplicar diferentes parámetros de diseño (profundidad, almacenador térmico, reflector interno).	<b>Variabes independientes</b> X1: Parámetros de diseño  <b>Variabes dependientes</b> Y1: Eficiencia de producción de agua destilada de mar	- Nivel (cm) - Masa (kg) - Dimensión (m <sup>2</sup> )  - Volumen (L) - Factor de productividad (L/m <sup>2</sup> día) - Eficiencia de producción (%)	- Método de pesado directo - Método de medición directa  - Medición directa de volumen - Medición indirecta mediante aplicación de ecuación (1) - Medición indirecta mediante aplicación de ecuación (8)	- Balanza digital - Cinta métrica  - Probeta
c. ¿Cuáles serán las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua obtenida de la destilación solar de agua de mar?	c. Analizar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua obtenida de la destilación solar de agua de mar.	c. Las características fisicoquímicas y microbiológicas evaluadas del agua destilada de mar obtenida de la destilación solar cumplen con el estándar de calidad ambiental para agua y el reglamento de calidad de aguas para consumo humano.	<b>Variabes independientes</b> X1: Agua de mar antes y después de la destilación solar  <b>Variabes dependientes</b> Y1: Características fisicoquímicas Y2: Características microbiológica	- pH - Conductividad eléctrica (µS/cm) - Salinidad (%) - Solidos disueltos totales (mg/L) - Coliformes fecales (NMP/100 mL) - Coliformes totales (NMP/100 mL)  - Eficiencia de remoción (%)	- Método del multiparámetro a lectura directa - Método del multiparámetro a lectura directa - Método del multiparámetro a lectura directa - Método del multiparámetro a lectura directa - Prueba de confirmación de coliformes fecales - Prueba de confirmación de coliformes totales - Medición indirecta mediante aplicación de ecuación (9)	- Multiparámetro  - Incubadora

*Nota.* Elaboración propia.

**Anexo 2. Figuras****Figura 14**

*Toma de muestra de agua de mar*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 15**

*Muestra para análisis de parámetros microbiológicos del agua de mar inicial*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 16**

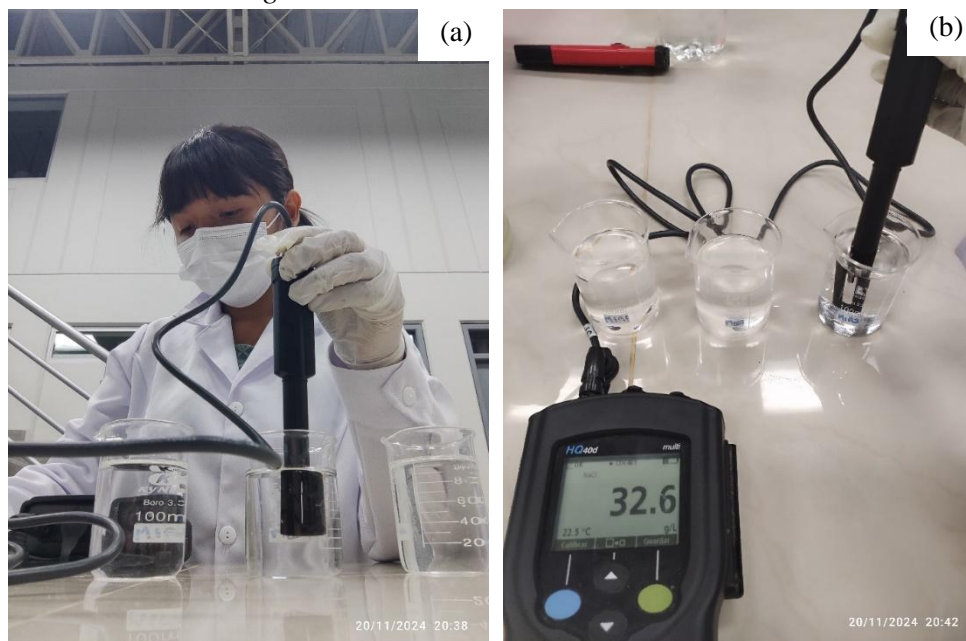
*Multiparámetro y pHmetro empleado para el análisis fisicoquímico de las muestras*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 17**

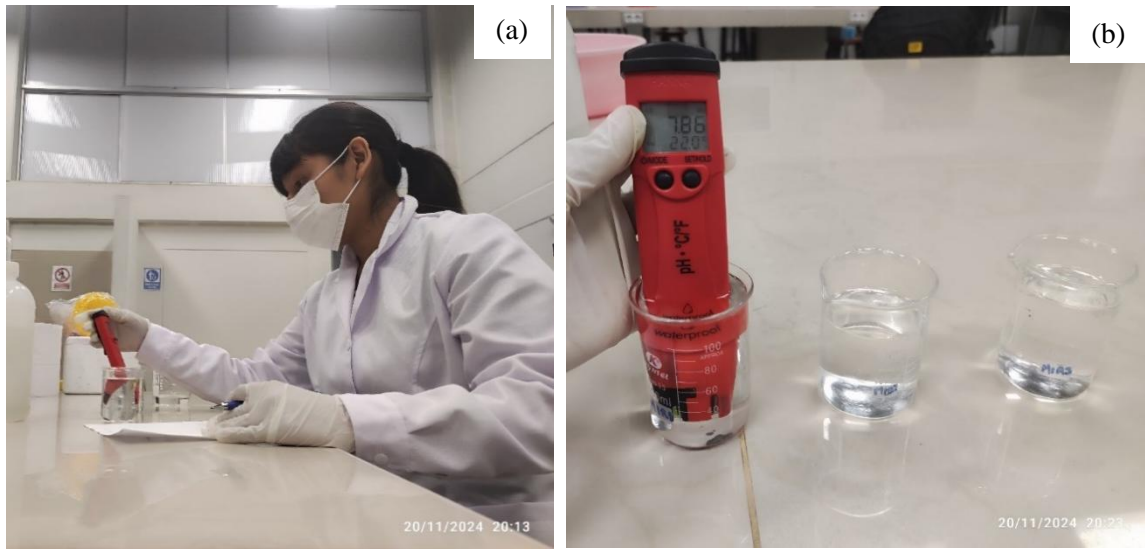
*Medición de conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y salinidad de muestra inicial de agua de mar*



*Nota.* (a) Medición directa con multiparámetro (b) Repeticiones de medición de muestra inicial de agua de mar. Elaboración propia.

**Figura 18**

*Medición de pH de muestra inicial de agua de mar*



*Nota.* (a) Medición directa con pHmetro (b) Repeticiones de medición de muestra inicial de agua de mar. Elaboración propia.

**Figura 19**

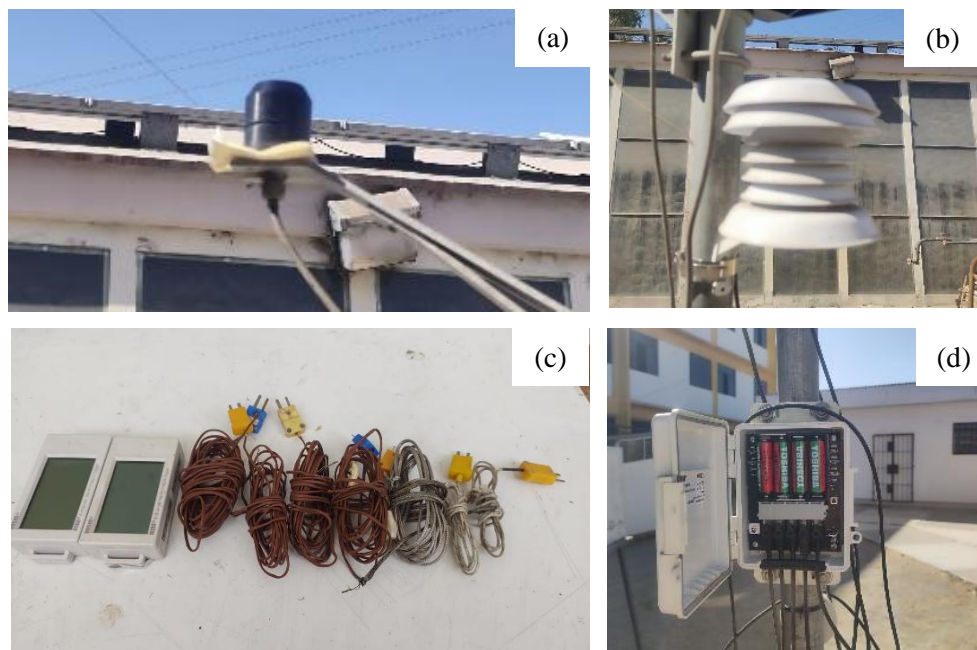
*Destilador solar de una vertiente y destilador solar de una vertiente con reflector interno con estación meteorológica en funcionamiento*



*Nota.* Elaboración propia.

## Figura 20

*Instrumentos de medición empleados en el comportamiento térmico del destilador*



*Nota.* Instrumentos del Centro de Energías Renovables de Tacna (CERT). (a) Piranómetro, (b) Sensor de temperatura, (c) Almacenador de datos y termocuplas, (d) Almacenador de datos de estación meteorológica. Toma fotográfica propia.

## Figura 21

*Aplicación de grava en el destilador solar*



*Nota.* (a) Limpieza de grava, (b) Introducción de grava en destilador solar. Elaboración propia.

**Figura 22**

*Obtención de agua destilada de mar mediante destilación solar*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 23**

*Medición de volumen acumulado de agua destilada con probeta*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 24**

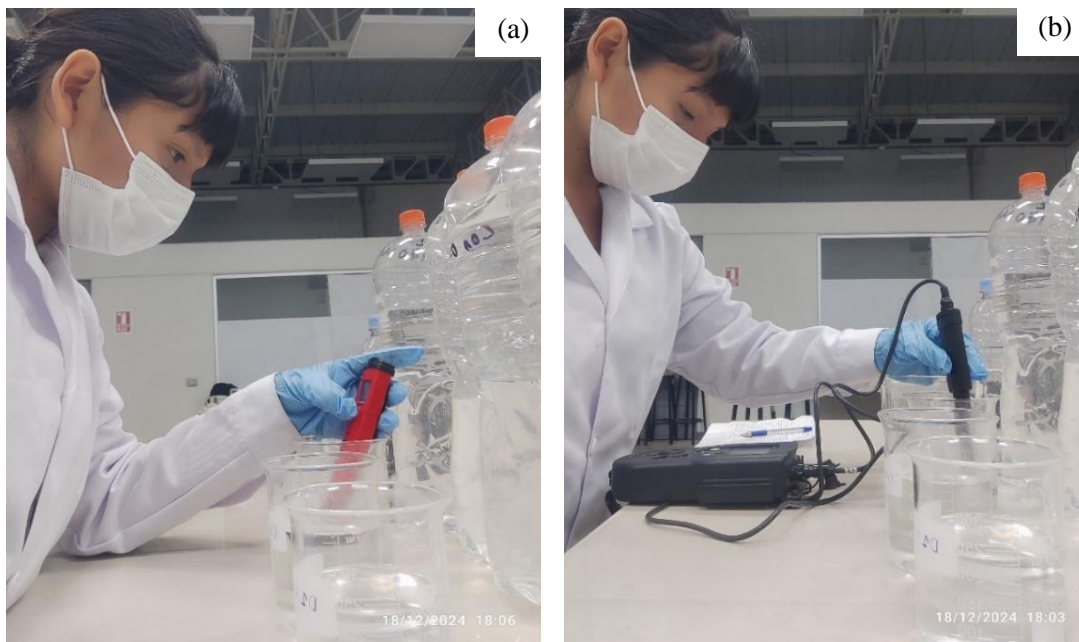
*Muestra para análisis de parámetros microbiológicos del agua destilada de mar*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 25**

*Medición de parámetros fisicoquímicos del agua destilada*



*Nota.* (a) Medición de pH de agua destilada de mar, (b) Medición de conductividad eléctrica, salinidad y solidos disueltos totales de agua destilada de mar. Elaboración propia.

### Anexo 3. Informe de análisis fisicoquímico y microbiológico de laboratorio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

## INFORME DE ENSAYO N°: IE-24-35199

N° Id.: 0000134862

### I.- DATOS DEL CLIENTE Y/O SOLICITANTE

1.- RAZON SOCIAL	: DANITZA DEL ROSARIO PERCA MACHACA
2.- DIRECCIÓN	: NO INDICA
3.- PROYECTO	: EFECTO DE PARAMETROS DE DISEÑO EN EL FACTOR DE PRODUCCION DE UN DESTILADOR SOLAR DE UNA VERTIENTE EN LA DESTILACION DE AGUA DE MAR EN TACNA
4.- PROCEDENCIA	: PLAYA BOCA DEL RIO, DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA TACNA, REGION TACNA
5.- SOLICITANTE	: DANITZA DEL ROSARIO PERCA MACHACA
6.- PRODUCTO	: Agua Salina

### II.- DATOS DEL SERVICIO

1.- ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000007082-2024-0000
2.- FECHA DE EMISIÓN DE INFORME:	2024-12-18

### III.- DATOS DEL ÍTEM DE ENSAYO

1.- MUESTREO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
2.- NÚMERO DE MUESTRAS	: 1
3.- FECHA DE RECEPCIÓN	: 2024-11-21
4.- CONDICIÓN DE RECEPCIÓN	: En buen estado de conservación y preservación
5.- PERÍODO DE ENSAYO	: 2024-11-21 al 2024-12-18

Marleni V. Rivera Castromonte  
Supervisor de Laboratorio de  
Microbiología e Hidrobiología  
CBP N° 16639



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia. Pág.1 de 3

SEDE PRINCIPAL  
Av. Guardia Chaleca N° 1877,  
Bellavista, Callao.  
Telf.: (+511) 713 0756 / 713 0636  
Cel.: 977 516 675 / 937 111 379

SEDE ZARUMILLA  
Prolongación Zarumilla Mz D2 Lt 3,  
Bellavista, Callao.  
Cel.: 977 516 675 / 932 646 480

SEDE AREQUIPA  
COOP SIOSUR Mz. E Lt. 9,  
Arequipa  
Telf.: (+054) 816 843  
Cel.: 932 946 642

SEDE PIURA  
Urb. San Isidro III Etapa  
Mz D3 Lt 02,  
Castilla - Piura  
Telf.: (+01) 713 0636  
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO  
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 25,  
Alto Solavery - Trujillo  
Telf.: (+01) 713 0636  
Cel.: 919 475 133



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

## INFORME DE ENSAYO N°: IE-24-35199

N° Id.: 0000134862

### IV.- MÉTODOS DE ENSAYO

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO	CONDICIÓN DE ACREDITACIÓN / LUGAR DE ANÁLISIS
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 24th Ed. 2023.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E.coli.	INACAL LE - 096 AREQUIPA
Coliformes Totales (NMP)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 24th Ed. 2023.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.	INACAL LE - 096 AREQUIPA

"SMEWW" : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

"APHA" : American Public Health Association

SEDE PRINCIPAL  
Av. Guardia Chaleca N° 1077,  
Bellavista, Callao.  
Telf.: (+511) 713 0756 / 713 0636  
Cel.: 977 516 675 / 937 111 379

SEDE ZARUMILLA  
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt.3,  
Bellavista, Callao.  
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA  
COOP SIDSUR Mz. E Lt. 9,  
Arequipa  
Telf.: (+054) 816 843  
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA  
Urb. San Isidro III Etapa  
Mz. D3 Lt. 02,  
Castilla - Piura.  
Telf.: (+01) 713 0636  
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO  
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 25,  
Alto Salaverry - Trujillo  
Telf.: (+01) 723 0636  
Cel.: 919 475 133



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

## INFORME DE ENSAYO N°: IE-24-35199

N° Id.: 0000134862

### V.- RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO				M-24-104219
CÓDIGO CLIENTE <sup>(A)</sup>				MUESTRA INICIAL
COORDENADAS - UTM WGS 84 <sup>(A)</sup>				E:0322142 N:7991381
PRODUCTO <sup>(A)</sup>				Agua Salina
SUB PRODUCTO <sup>(A)</sup>				Agua de Mar
FECHA y HORA DE MUESTREO <sup>(A)</sup>				20-11-2024 18:00
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) (*)	NMP/100mL	NA	1,8	<1,8
Coliformes Totales (NMP) (*)	NMP/100mL	NA	1,8	220,0

<sup>(\*)</sup> Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

<sup>(A)</sup>Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionado por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

### VI.- OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

Pág.3 de 3

SEDE PRINCIPAL  
Av. Guardia Chilaca N° 1877,  
Bellavista, Callao.  
Telf.: (+51) 713 0756 / 713 0636  
Cel.: 977 516 675 / 937 111 379

SEDE ZARUMILLA  
Prolongación Zarumilla Mz. D2 L13,  
Bellavista, Callao.  
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA  
COOP SIDSUR Mz. E L1 9,  
Arequipa  
Telf.: (+54) 616 843  
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA  
Urb. San Isidro III Etapa  
Mz. D3 L1 02,  
Castillo - Piura  
Telf.: (+01) 713 0636  
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO  
Urb. Sol de Trujillo Mz. A L1 29,  
Abra Salaverry - Trujillo  
Telf.: (+01) 713 0636  
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

## INFORME DE ENSAYO N°: IE-24-36203

N° Id.: 0000135866

### I.- DATOS DEL CLIENTE Y/O SOLICITANTE

- 1.- RAZÓN SOCIAL : DANITZA DEL ROSARIO PERCA MACHACA  
2.- DIRECCIÓN : NO INDICA  
3.- PROYECTO : EFECTO DE PARAMETROS DE DISEÑO EN EL FACTOR DE PRODUCCION DE UN DESTILADOR SOLAR DE UNA VERTIENTE EN LA DESTILACION DE AGUA DE MAR EN TACNA  
4.- PROCEDENCIA : CENTRO DE ENERGIAS RENOVABLES DE TACNA (CERT) DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GREJMAN  
5.- SOLICITANTE : DANITZA DEL ROSARIO PERCA MACHACA  
6.- PRODUCTO : Agua de Proceso

### II.- DATOS DEL SERVICIO

- 1.- ORDEN DE SERVICIO N° : 0000007082-2024-0000  
2.- FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 2024-12-20

### III.- DATOS DEL ÍTEM DE ENSAYO

- 1.- MUESTREO POR : MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA  
2.- NÚMERO DE MUESTRAS : 2  
3.- FECHA DE RECEPCIÓN : 2024-11-29  
4.- CONDICIÓN DE RECEPCIÓN : En buen estado de conservación y preservación  
5.- PERÍODO DE ENSAYO : 2024-11-29 al 2024-12-20

  
Erika Aliaga Ibarra  
Jefe de Laboratorio  
CIP N° 100391

  
Marleni V. Rivera Caströmte  
Supervisor de Laboratorio de  
Microbiología e Hidrobiología  
CBP N° 16639



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia. Pág.1 de 3

SEDE PRINCIPAL  
Av. Guardia Chilaca N° 1877,  
Bañados, Callao  
Tél.: (+51) 713 0756 / 713 0636  
Cel.: 977 516 675 / 937 111 379

SEDE ZARUMILLA  
Prolongación Zarumilla Mz. D2 L1 3,  
Bañados, Callao,  
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA  
COOP SIDSUR Mz. E L1 6,  
Arequipa  
Tél.: (+954) 616 843  
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA  
Urb. San Isidro III Etapa  
Mz. D3 L1 02,  
Castilla - Piura  
Tél.: (+01) 713 0636  
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO  
Urb. Sol de Trujillo Mz. A L1 25,  
Alto Solimery - Trujillo  
Tél.: (+01) 713 0636  
Cel.: 919 475 133

 [www.alab.com.pe](http://www.alab.com.pe)



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

## INFORME DE ENSAYO N°: IE-24-36203

N° Id.: 0000135866

### IV.- MÉTODOS DE ENSAYO

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO	CONDICIÓN DE ACREDITACIÓN / LUGAR DE ANÁLISIS
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 24th Ed. 2023.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E.coli.	INACAL LE - 096 AREQUIPA
Coliformes Totales (NMP)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 24th Ed. 2023.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.	INACAL LE - 096 AREQUIPA

"SMEWW" : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

"APHA" : American Public Health Association

Pág.2 de 3

SEDE PRINCIPAL  
Av. Guadalupe Chabaca N° 1877,  
Bellavista, Callao.  
Telf.: (+511) 713 0756 / 713 0636  
Cel.: 977 616 675 / 937 111 379

SEDE ZARUMILLA  
Prolongación Zarumilla Mz D2 L13,  
Bellavista, Callao.  
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA  
COOP SIDSUR Mz. E L1 9,  
Alpauca  
Telf.: (+054) 616 843  
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA  
Urb. San Isidro III Etapa  
Mz. 03 L1 02,  
Castilla - Piura  
Telf.: (+011) 713 0636  
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO  
Urb. Sol de Trujillo Mz. A L1 29,  
Alto Salaverry - Trujillo  
Telf.: (+011) 713 0636  
Cel.: 919 475 133

[www.alab.com.pe](http://www.alab.com.pe)



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

## INFORME DE ENSAYO N°: IE-24-36203

N° Id.: 0000135866

### V.- RESULTADOS

ITEM	1	2			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-24-106553	M-24-106554			
CÓDIGO CLIENTE <sup>(A)</sup>	D1AT	D2ST			
COORDENADAS - UTM WGS 84 <sup>(A)</sup>	E:0367515.54 N:8006658.30	E:0367515.54 N:8006658.30			
PRODUCTO <sup>(A)</sup>	Agua de Proceso	Agua de Proceso			
SUB PRODUCTO <sup>(A)</sup>	Agua Purificada	Agua Purificada			
FECHA y HORA DE MUESTREO <sup>(A)</sup>	28-11-2024 17:31	28-11-2024 17:43			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) (*)	NMP/100mL	NA	1,8	<1,8	<1,8
Coliformes Totales (NMP) (*)	NMP/100mL	NA	1,8	<1,8	<1,8

<sup>(\*)</sup> Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

<sup>(A)</sup>Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionado por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

### VI.- OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

Pág.3 de 3

SEDE PRINCIPAL  
Av. Guardia Chaiaca N° 4877,  
Bellavista, Callao.  
Tel.: (+511) 713 0766 / 713 0636  
Cel.: 977 516 675 / 937 111 379

SEDE ZARUMILLA  
Prolongación Zarumilla Mz. D2 L1.3,  
Bellavista, Callao.  
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA  
COOP. SIDSUR Mz. E L1. 9,  
Arequipa  
Tel.: (+054) 816 843  
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA  
Urb. San Isidro III Etapa  
Mz. D3 L1. 02,  
Castillo - Piura  
Tel.: (+011) 713 0636  
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO  
Urb. Sol de Trujillo Mz. A L1. 25,  
Alto Salaverry - Trujillo  
Tel.: (+011) 233 9635  
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

## INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-942

N° Id.: 0000141908

### I.- DATOS DEL CLIENTE Y/O SOLICITANTE

- 1.- RAZON SOCIAL : DANITZA DEL ROSARIO PERCA MACHACA  
2.- DIRECCIÓN : NO INDICA  
3.- PROYECTO : EFECTO DE PARAMETROS DE DISEÑO EN EL FACTOR DE PRODUCCIÓN DE UN DESTILADOR SOLAR DE UNA VERTIENTE EN LA DESTILACION DE AGUA DE MAR EN TACNA  
4.- PROCEDENCIA : CENTRO DE ENERGIAS CONTABLES DE TACNA (CERT) DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GREHMANN  
5.- SOLICITANTE : DANITZA DEL ROSARIO PERCA MACHACA  
6.- PRODUCTO : Agua de Proceso

### II.- DATOS DEL SERVICIO

- 1.- ORDEN DE SERVICIO N° : 0000007082-2024-0000  
2.- FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 2025-01-23

### III.- DATOS DEL ÍTEM DE ENSAYO

- 1.- MUESTREO POR : MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA  
2.- NÚMERO DE MUESTRAS : 2  
3.- FECHA DE RECEPCIÓN : 2025-01-11  
4.- CONDICIÓN DE RECEPCIÓN : En buen estado de conservación y preservación  
5.- PERÍODO DE ENSAYO : 2025-01-11 al 2025-01-23

  
Erika Aliaga Ibarra  
Jefe de Laboratorio  
CIP N° 100391

  
Marleni V. Rivera Castromonte  
Supervisor de Laboratorio de  
Microbiología e Hidrobiología  
CBP N° 16639



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia. Pág. 1 de 3

SEDE PRINCIPAL  
Av. Guardia Chalcaca N° 1877,  
Bañados, Callao.  
Telf.: (+511) 713 0756 / 713 0636  
Cel.: 977 516 675 / 937 111 379

SEDE ZARUMILLA  
Prolongación Zaramilla N° 02 L13,  
Bañados, Callao.  
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA  
COOP SIDSUR Mz. E LL 9,  
Arequipa  
Telf.: (+054) 616 843  
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA  
Urb. San Isidro III Etapa  
Mz. 03 LL 02,  
Castilla - Piura  
Telf.: (+01) 713 0636  
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO  
Urb. Sol de Trujillo Mz. A LL 25,  
Alto Salaverry - Trujillo  
Telf.: (+01) 713 0636  
Cel.: 919 475 133

 www.alab.com.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

## INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-942

N° Id.: 0000141908

### IV.- MÉTODOS DE ENSAYO

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO	CONDICIÓN DE ACREDITACIÓN / LUGAR DE ANÁLISIS
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 24th Ed. 2023.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E.coli.	INACAL LE - 096 AREQUIPA
Coliformes Totales (NMP)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 24th Ed. 2023.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.	INACAL LE - 096 AREQUIPA

"SMEWW" : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

"APHA" : American Public Health Association

SEDE PRINCIPAL  
Av. Guardia Chilaca N° 1877,  
Sollavista, Cusco.  
Telf.: (+51) 713 0756 / 713 0636  
Cel.: 977 516 675 / 937 111 379

SEDE ZARUMILLA  
Prolongación Zarumilla Mz D2 L13,  
Sollavista, Cusco.  
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA  
COOP SIDSUR Mz. E L1, 9,  
Arequipa  
Telf.: (+054) 816 843  
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA  
Urb. San Isidro III Etapa  
Mz. B3 L1, 02,  
Casilla - Piura  
Telf.: (+01) 713 0636  
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO  
Urb. Sol de Trujillo Mz. A L1, 29,  
Alto Sillaverry - Trujillo  
Telf.: (+01) 713 0636  
Cel.: 919 475 133



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

## INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-942

N° Id.: 0000141908

### V.- RESULTADOS

ITEM	1	2			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-25-002148	M-25-002149			
CÓDIGO CLIENTE <sup>(*)</sup>	D1ST	D2AT			
COORDENADAS - UTM WGS 84 <sup>(*)</sup>	E:0367515.54 N:8006658.3	E:0367515.54 N:8006658.3			
PRODUCTO <sup>(*)</sup>	Agua de Proceso	Agua de Proceso			
SUB PRODUCTO <sup>(*)</sup>	Agua Purificada	Agua Purificada			
FECHA y HORA DE MUESTREO <sup>(*)</sup>	10-01-2025 14:00	10-01-2025 14:30			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) (*)	NMP/100mL	NA	1,8	<1,8	<1,8
Coliformes Totales (NMP) (*)	NMP/100mL	NA	1,8	<1,8	<1,8

<sup>(\*)</sup> Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "\*"=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "\*"=" Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

<sup>(\*)</sup>Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionado por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

### VI.- OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

Pág 3 de 3

SEDE PRINCIPAL  
Av. Guardia Chilaca N° 1877,  
Belavista, Cuzco.  
Telf.: (+51) 713 0756 / 713 0636  
Cel.: 977 516 675 / 937 111 379

SEDE ZARUMILLA  
Prolongación Zarumilla Mz D2 L13,  
Belavista, Cuzco.  
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA  
COOP SIDSUR Mz. E LL 9,  
Arequipa  
Telf.: (+054) 816 843  
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA  
Urb. San Isidro III Etapa  
Mz. B3 L1,02,  
Casilla - Piura  
Telf.: (+01) 713 0636  
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO  
Urb. Sol de Trujillo Mz. A LL 29,  
Alto Sillavey - Trujillo  
Telf.: (+01) 713 0636  
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe