



Universidad Nacional

SAN LUIS GONZAGA



[Reconocimiento-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra, incluso con fines comerciales, siempre y cuando den crédito y licencia a las nuevas creaciones bajo los mismos términos. Esta licencia suele ser comparada con las licencias copyleft de software libre y de código abierto. Todas las nuevas obras basadas en la suya portarán la misma licencia, así que cualesquiera obras derivadas permitirán también uso comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

EVALUACION DE ORIGINALIDAD

ATIT_2024-FIAS-003

CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

"Modelamiento del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica y la desalinización de agua de mar en Ocucaje, Ica, 2022"

Presentado por:

GARAVITO HUARCAYA WILMER ALEXIS

Autor(a) del nivel PREGRADO de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria El resultado obtenido es **PORCENTAJE DE SIMILITUD del 2%** por el cual se otorga el calificativo de:

APROBADO,

Según Reglamento de Evaluación de la Originalidad

Con CÓDIGO DE MATRÍCULA N° **20160866**

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

04 de Enero del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
UNIDAD DE INVESTIGACION
[Firma]
Dr. Domingo Jesús Cabel Moscoso
DIRECTOR



UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA



TESIS

**Modelamiento del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta
asimétrica y la desalinización de agua de mar en Ocucaje, Ica,
2022**

Línea de Investigación Institucional:

Ciencias Naturales, Ingeniería y Tecnologías Sostenibles

Presentado Por:

Bach. GARAVITO HUARCAYA WILMER ALEXIS

Asesor:

Dr. PEDRO CORDOVA MENDOZA

ICA- PERU

2024

INFORME FINAL DE TESIS:

**Modelamiento del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta
asimétrica y la desalinización de agua de mar en Ocucaje, Ica,
2022**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Ciencias naturales, ingeniería y tecnologías sostenibles

AUTOR:

Bach. GARAVITO HUARACAYA WILMER ALEXIS

ASESOR:

Dr. PEDRO CORDOVA MENDOZA

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

A **Dios** quien ha sido mi guía, fortaleza y su mano de fidelidad y amor han estado conmigo hasta el día de hoy.

A mis **padres Hipólito y Luisa** quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mi **hermano Alex** por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

A toda **mi familia** porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Finalmente quiero dedicar esta tesis **a todos mis amigos**, por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, de verdad mil gracias, siempre los llevo en mi corazón.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a **Dios**, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

De igual manera mis agradecimientos a la **Universidad Nacional San Luis Gonzaga**, a toda la **Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria**, a mis profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al **Dr. Pedro Córdova Mendoza**, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

INDICE DE CONTENIDO

INFORME FINAL DE TESIS:	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
INDICE DE CONTENIDO	v
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
SUMMARY	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Situación Problemática	3
1.2. Antecedentes del problema.....	5
1.2.1. Antecedentes internacionales	5
1.2.2. Antecedentes nacionales	6
1.2.3. Antecedentes locales	7
1.3. Bases teóricas.....	7
1.3.1. Destilación.....	7
1.3.2. Destilador Solar	7
1.3.3. La comparación entre el agua salada y el agua dulce	8
1.3.4. Calidad de agua	8
1.3.5. Tipos de destiladores solares	9
1.3.6. Selección del destilador objeto de investigación	9
1.3.7. Energía solar.....	10
1.3.8. Transferencia de calor en un destilador.....	10
1.3.9. Funcionamiento del destilador de una sola vertiente	11
1.3.10. Partes de un destilador solar de una sola vertiente.....	12
1.3.11. Prototipo del destilador solar.....	12
1.3.12. Conductividad eléctrica.....	13
1.3.13. “Sólidos Disueltos Totales (TDS)”	15
1.4. Formulación del Problema General.....	15
1.4.1. Problema General	16
1.4.2. Problema Especifico	16
1.5. Objetivos de la investigación	17
1.5.1. Objetivo principal	17
1.5.2. Objetivos Específicos.....	17
1.6. Hipótesis de la investigación y variables de la investigación	17
1.6.1. Hipótesis principal	17
1.6.2. Hipótesis Específica.....	17
1.7. Variables.....	17
1.7.1. Variable independiente.....	17
1.7.2. Variable dependiente	18

1.7.3. Variable interviniente.....	18
1.8. Justificación e Importancia de Investigación.....	18
1.8.1. Justificación.....	18
1.8.2. Importancia.....	19
1.9. Marco conceptual.....	20
1.9.1. energías renovables.....	20
1.9.2. El sol como fuente de energía.....	20
1.9.3. Radiación solar.....	21
1.9.4. Irradiancia solar.....	21
1.9.5. Irradiación solar.....	21
1.9.6. El agua.....	22
1.9.7. “La calidad del agua en relación con su uso”.....	22
1.9.8. Normas de calidad de las aguas.....	23
1.9.9. Conducción.....	23
1.9.10. Convección.....	24
1.9.11. Radicación.....	25
II. ESTRATEGIA METODOLOGICA.....	26
2.1 Área de estudio.....	26
2.2 Metodología de la investigación.....	27
2.2.1 Tipo y nivel de la investigación.....	27
2.2.2 Población y muestra.....	28
2.2.3 Técnica de recolección de datos.....	29
2.2.4 Instrumentos de recolección de datos.....	29
2.2.5 Técnicas de procesamiento de datos.....	30
2.2.6 Análisis e interpretación de los datos.....	31
2.3 “Marco legal”.....	36
2.3.1 “Constitución Política del Perú”.....	36
2.3.2 “Ley de Recursos Hídricos, Ley N°29338”.....	36
III. RESULTADOS.....	37
3.1. Determinar el modelamiento del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica en la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica.....	37
3.2. Evaluar el área superficial del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica en la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica.....	42
3.3. Identificar el modelamiento del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica en el grado de eficiencia en la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica.....	49
IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	51

4.1. Discusión de resultados del modelamiento del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica y la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica.	51
4.2. Discusión de resultados del área superficial del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica y la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica.	51
4.3. Discusión de resultados del modelamiento del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica y el grado de eficiencia en la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica.	52
V. CONCLUSIONES.....	54
VI. RECOMENDACIONES	56
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
ANEXO	62
ANEXO I.....	63

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del agua de acuerdo a la CE y a los SDT	14
Tabla 2. Temperatura del destilador solar de una sola vertiente.....	31
Tabla 3. Matriz de diseño del experimento para el diseño factorial 2^3	34
Tabla 4. Niveles y tratamientos.....	35
Tabla 5. Elaboración de los tratamientos: combinaciones de tres factores con dos niveles y cuatro replicas	35
Tabla 6. “Resultados de la temperatura del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica.....	37
Tabla 7. “Estimación de los efectos principales y efectos interacciones”	38
Tabla 8. Suma de los cuadrados de los efectos principales y efectos interacciones	39
Tabla 9. Sumatoria de los Cuadrados de los efectos totales	40
Tabla 10. Hallazgos obtenidos del análisis de las muestras de agua marina recogidas en la bahía de Paracas.	42
Tabla 11. Prueba de hipótesis ANOVA para diseño factorial de 2^3	45

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. “Mecanismos de transferencia de calor en un destilador solar de una sola vertiente” [21].....	12
Figura 2. “Principios de Funcionamiento del Destilador solar”[28].....	12
Figura 3. “Esquema del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica”[29].	13
Figura 4. Ubicación del punto de Monitoreo de Calidad del agua – Playa Punta Lomitas – Distrito de Ocucaje	26
Figura 5. Ubicación del punto de Monitoreo de Calidad del agua – Playa Punta Lomitas	27
Figura 6. El diseño de experimento 2^3 : geometría	33
Figura 7. Efecto estándar/Margen de error	46
Figura 8. Grado de influencia de los factores en la respuesta de un sistema	48
Figura 9. Volumen obtenido del destilador de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica, día 24/07/2023.....	49

RESUMEN

Objetivo del estudio fue determinar el modelamiento del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica que contribuye significativamente en la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica, 2022. **Estrategia metodológica**, el estudio realizado fue de tipo observacional-prospectivo-transversal, nivel explicativo, diseño experimental, la investigación aplicada. **Resultados**, a través de un cuidadoso cálculo del “volumen de agua de mar a cargar diariamente, con un área de destilador solar” de 0.36 m² y una altura de agua de 0.05 m, se logró obtener un volumen de agua purificada de 0.681 ml en un período de 8 horas de funcionamiento. Estos resultados indican que el destilador solar es capaz de proporcionar una solución viable y eficiente “para la desalinización del agua de mar” en esa área específica. **Discusión**, la eficacia en la purificación del agua de mar resulta significativa, sobre todo en un contexto de escasez de agua dulce en numerosas áreas costeras. La utilización de la energía solar como fuente de calor y desinfección se presenta como una alternativa sostenible y rentable “para la obtención de agua potable a partir del agua de mar”. Es esencial tener en cuenta que estos hallazgos son específicos para el distrito de Ocucaje y podrían variar en distintas ubicaciones y condiciones climáticas. Por consiguiente, es imperativo llevar a cabo un análisis exhaustivo y ajustar los parámetros del destilador solar de acuerdo con las características particulares del entorno en el que se pretenda implementar. **Conclusión**, los resultados evidenciaron la capacidad de esta tecnología como una solución eficaz y de largo plazo “para la producción de agua potable a partir del agua de mar en la región costera”.

Palabras Claves: *Modelamiento, destilador solar, caseta asimétrica, desalinización de agua de mar.*

SUMMARY

Objective of the study was to determine the modeling of the asymmetrical hut-type fiberglass solar still that contributes significantly to the desalination of seawater in Ocucaje, Ica, 2022. **Methodological strategy**, the study carried out was observational-prospective-transversal, level explanatory, experimental design, applied research. **Results**, through a careful calculation of the volume of seawater to be loaded daily, with a solar still area of 0.36 m² and a water height of 0.05 m, it was possible to obtain a volume of purified water of 0.681 ml in a period 8 hours of operation. These results indicate that the solar still is capable of providing a viable and efficient solution for seawater desalination in that specific area. **Discussion**, the effectiveness in seawater purification is significant, especially in a context of scarcity of fresh water in numerous coastal areas. The use of solar energy as a source of heat and disinfection is presented as a sustainable and profitable alternative for obtaining drinking water from seawater. It is essential to note that these findings are specific to the Ocucaje district and could vary in different locations and climatic conditions. Therefore, it is imperative to carry out a thorough analysis and adjust the parameters of the solar still according to the particular characteristics of the environment in which it is intended to be implemented. **Conclusion**, the results showed the capacity of this technology as an effective and long-term solution for the production of drinking water from seawater in the coastal region.

Keywords: *Modeling, solar still, asymmetrical shed, seawater desalination.*

I. INTRODUCCIÓN

En el año 2022, se llevó a cabo una investigación innovadora que se centró en el modelamiento de un “destilador solar de fibra de vidrio”, específicamente del tipo caseta asimétrica, con el propósito de abordar el desafío de la escasez de agua dulce en la localidad de Ocucaje, ubicada en la región de Ica, Perú. Esta región, conocida por su clima árido y limitada disponibilidad de agua fresca, ha enfrentado históricamente problemas en el acceso al agua potable, lo que ha motivado la búsqueda de soluciones sostenibles y eficientes.

El destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica fue diseñado para aprovechar la radiación solar y convertirla en vapor a partir del agua de mar, proceso seguido por la condensación del vapor para producir agua potable libre de salinidad. El modelamiento de este sistema se centró en optimizar su eficiencia y capacidad de producción, tomando en cuenta variables clave como la radiación solar local, la temperatura ambiente y las características del agua de mar en Ocucaje. Para validar su funcionalidad, se llevaron a cabo pruebas experimentales en el lugar, evaluando la capacidad del destilador para proporcionar un suministro continuo y confiable de agua dulce.

La investigación también abordó consideraciones económicas y ambientales al evaluar la viabilidad a largo plazo de la desalinización solar en Ocucaje. Se analizaron los costos operativos, de mantenimiento y los posibles beneficios ambientales en comparación con otras fuentes de agua potable. Los resultados obtenidos proporcionaron “una base sólida para la toma de decisiones” y la implementación de soluciones que podrían tener un impacto significativo en la mejora del acceso al agua potable en esta región árida de Ica, contribuyendo a la resiliencia y sostenibilidad de la comunidad de Ocucaje en el año 2022 y en el futuro.

Por lo tanto, la investigación está estructurada en capítulos:

Capítulo I: Presenta los antecedentes, bases teóricas, el problema de investigación, los objetivos de investigación, la hipótesis de investigación, la justificación y la importancia del estudio, estableciendo el contexto y la relevancia del proyecto.

Capítulo II: Se detalla la estrategia metodológica utilizada en la investigación, incluyendo la descripción de las técnicas y herramientas empleadas para el diseño, construcción y pruebas del destilador solar, así como la recopilación de datos y análisis de resultados..

Capítulo III: Se presentan los resultados obtenidos a partir de las pruebas y experimentos realizados con el destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica en condiciones locales, incluyendo datos cuantitativos y cualitativos relacionados con la eficiencia y capacidad de producción del dispositivo.

Capítulo IV: Se analizan y discuten los resultados obtenidos en el Capítulo III, evaluando su coherencia con las hipótesis de investigación y las expectativas iniciales. Se exploran las implicaciones de los hallazgos y se comparan con estudios previos relacionados con la desalinización solar.

Capítulo V: Se resumen las conclusiones clave derivadas de la investigación, destacando los logros alcanzados, las limitaciones identificadas y las implicaciones prácticas de los resultados. Además, se enfatiza cómo estos hallazgos contribuyen a abordar el problema de la escasez de agua dulce en Ocucaje

Capítulo VI: Se ofrecen recomendaciones específicas basadas en los resultados y la experiencia adquirida durante la investigación, dirigidas a posibles mejoras en el diseño y la implementación del destilador solar, así como sugerencias para futuras investigaciones relacionadas.

Capítulo VII: Proporciona una lista completa de las fuentes bibliográficas y recursos consultados durante el desarrollo de la investigación, siguiendo las normativas de citación y referencia correspondientes.

1.1. Situación Problemática

En la región de Ocucaje, ubicada en el departamento de Ica, Perú, se enfrenta una crisis crónica de escasez de agua dulce que amenaza la calidad de vida y el desarrollo sostenible de la comunidad local. Esta problemática se agrava debido a la geografía árida y semiárida de la región, caracterizada por precipitaciones escasas y una dependencia histórica de fuentes limitadas de agua dulce, como pozos y ríos. Además, el crecimiento demográfico y las actividades agrícolas e industriales en aumento aumentan la demanda de agua en Ocucaje, exacerbando aún más la presión sobre los recursos hídricos disponibles.

La dependencia de fuentes de agua dulce cada vez más limitadas ha llevado a una situación insostenible en la que la comunidad se ve obligada a recurrir al agua de mar como una fuente desesperada, a pesar de su alta salinidad y falta de potabilidad. Esto ha generado preocupaciones de salud pública y ha creado una urgente necesidad de encontrar soluciones viables para la desalinización del agua de mar y la producción de agua potable asequible y sostenible en la región.

En este contexto, se identifica la necesidad de investigar y desarrollar tecnologías adecuadas para abordar esta crisis hídrica en Ocucaje. Una solución prometedora es la desalinización solar, que aprovecha la energía solar abundante en la región para convertir el agua de mar en agua potable. Sin embargo, es esencial diseñar y modelar un sistema de desalinización que sea eficiente, económicamente viable y ambientalmente sostenible para satisfacer las necesidades de la comunidad. Esta investigación se propone abordar esta situación problemática mediante el modelamiento de un destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica y su aplicación en la desalinización del agua de mar en Ocucaje, con el objetivo de proporcionar una solución práctica y efectiva a la escasez de agua dulce en la región.

El agua, un recurso invaluable proporcionado por la naturaleza, desempeña un papel fundamental en el desarrollo económico y el bienestar de una nación. La carencia de acceso a agua potable constituye uno de los desafíos primordiales tanto en países subdesarrollados como en desarrollo alrededor del mundo. En términos globales, aproximadamente el 97% del suministro de agua del planeta se encuentra en los océanos, mientras que cerca del 2% permanece congelado en las regiones polares,

dejando apenas un 1% de agua dulce disponible para satisfacer las necesidades de la flora, fauna y población humana [1].

Según Anand et al., el crecimiento constante de la población y la expansión de las economías a nivel global han generado una creciente demanda de agua dulce, y se prevé que aproximadamente el 70% de la población mundial se enfrente a una escasez de agua para el año 2025. Además, Anand et al. señalan que casi el 50% de la población mundial reside a menos de 200 kilómetros de la costa, lo que subraya la importancia de las fuentes de agua cercanas al mar. Sorprendentemente, solo un ínfimo 0,5% de todas las fuentes de agua de la Tierra están disponibles como agua limpia para satisfacer las necesidades tanto domésticas como agrícolas, lo que subraya aún más la gravedad de la escasez de agua dulce en todo el mundo [2].

Según Li et al., la desalación se presenta como una de las opciones factibles para abordar las demandas de agua dulce. La desalación constituye un proceso diseñado para eliminar las concentraciones excesivas de sales y minerales presentes en el agua salina [3].

Según Xiao et al., en marzo de 2018, las Naciones Unidas emitieron un llamado para la "Década del Agua" con el propósito de impulsar iniciativas que aborden los desafíos relacionados con las necesidades de agua. La iniciativa de la Década del Agua está coordinada por la ONU-Agua y reúne esfuerzos de más de 30 organizaciones de las Naciones Unidas y organizaciones internacionales involucradas en cuestiones relacionadas con el agua y el desarrollo sostenible. Su objetivo fundamental es contribuir al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible al garantizar el acceso a recursos hídricos, promover su gestión sostenible y facilitar la purificación del agua para todos [4].

El estudio, destaca la exposición de oportunidades futuras y enfoques innovadores dirigidos a mejorar y explorar sistemas de desalinización impulsados por energía solar. Además, resalta que la generación de electricidad adicional a través de la desalinización solar fotovoltaica está allanando el camino hacia la autonomía en la desalinización, incluso en ubicaciones remotas, a pesar de que los costos iniciales pueden ser ligeramente más elevados [5].

Los métodos tradicionales de destilación de agua requieren una cantidad significativa de energía, ya sea en forma de combustibles fósiles o electricidad, para producir agua dulce. Sin embargo, la energía solar emerge como una alternativa gratuita, sostenible y respetuosa con el medio ambiente para llevar a cabo procesos de desalinización de agua de mar y purificación de agua en aplicaciones industriales. Los sistemas de desalinización solar se pueden dividir en dos categorías principales: métodos de recolección directa e indirecta. Los sistemas de recolección directa aprovechan directamente la energía solar para generar calor y evaporar el agua, mientras que los sistemas indirectos utilizan la radiación solar para generar electricidad, la cual se emplea en el proceso de destilación. Un ejemplo de sistema de desalinización solar directa incluye el alambique solar, que expone una bandeja poco profunda de agua en un recipiente completamente sellado a la radiación solar, provocando así la evaporación del agua. El vapor resultante se condensa en la parte interna superior del destilador, generalmente construido con plexiglás, debido a la diferencia de temperatura entre el agua y la cubierta del destilador [6],[7]. El proceso de desalinización solar del agua se fundamenta en la evaporación y condensación del agua, replicando los fenómenos naturales similares a la formación de lluvia [8], [9]. En palabras sencillas, un alambique solar calienta el agua hasta que se convierte en vapor, luego este vapor asciende y se condensa en una superficie de vidrio inclinada, donde se recolecta. Los alambiques solares tienen la capacidad de eliminar impurezas, como sales, metales pesados y compuestos orgánicos nocivos, para producir agua fresca y completamente pura.

1.2. Antecedentes del problema

1.2.1. Antecedentes internacionales

Esmailion; Jones et al. “actualmente se comercializan diferentes tecnologías de desalación y todas las tecnologías requieren energía”[10], [11]. *Anand et al.* “las tecnologías de desalación se modifican continuamente para mejorar su producción, conservar energía y reducir el costo” [2, p. 1]. *Al-Karouglouli and Kazmerki*, “durante la década de 1960, el costo unitario del agua dulce era de unos 10 dólares EE.UU/m³ y actualmente se reduce a menos de 0,6 dólares EE.UU/m³”[12]. Sin embargo, las tecnologías de desalinización siguen consumiendo una cantidad significativa de energía, ya sea por consumo directo de combustibles fósiles o electricidad.

El agua es el recurso más esencial de la naturaleza y es necesario para las funciones vitales y otros usos. Aproximadamente, el 97% del suministro mundial de agua proviene de los océanos. [13]. No obstante, únicamente el 1% se encuentra disponible en fuentes de agua dulce accesibles, como ríos, lagos y reservorios subterráneos. [13], [14]. La necesidad global de agua potable ha experimentado un crecimiento acelerado desde la era industrial debido a la constante generación de aguas residuales, las cuales contaminan las fuentes de agua dulce disponibles.[15]–[17]. Usualmente, los métodos basados en membranas son empleados para tratar aguas residuales industriales mediante procesos de microfiltración y ultrafiltración, así como para desalinizar agua de mar mediante el proceso de ósmosis inversa, con el fin de suplir la creciente necesidad de agua dulce. [17], [18]-[19].

1.2.2. Antecedentes nacionales

Félix, el destilador solar, que fue diseñado y construido con el objetivo de aprovechar la energía solar para la obtención de agua potable, demostró un nivel de eficiencia del 44% en su funcionamiento. El dispositivo contó con una superficie de 1.10 m² de plancha galvanizada en su estructura. Los resultados del estudio indican que el agua producida por este destilador solar cumple con los estándares necesarios para el consumo humano, lo que resalta la viabilidad y seguridad de este proceso para la obtención de agua potable a través de la desinfección mediante energía solar [20].

Polo y Pérez, en el año 2025, Perú podría enfrentar un problema de estrés hídrico si se considera un escenario con una tasa de crecimiento demográfico baja, lo que resultaría en una disponibilidad de agua dulce de 1200 m³ por habitante al año, según lo señalado por un estudio. Por otro lado, si se proyecta un crecimiento demográfico más alto, el país podría experimentar una escasez hídrica, reduciendo la disponibilidad de agua dulce a 1000 m³ por habitante al año, como también mencionan otros expertos en el campo. Estas proyecciones resaltan la importancia de la gestión sostenible de los recursos hídricos y la necesidad de tomar medidas para preservar y garantizar el acceso al agua en el futuro[21].

1.2.3. Antecedentes locales

El propósito de este estudio es fomentar la incorporación de fuentes de energía alternativas al analizar las consecuencias medioambientales derivadas de la carestía de agua potable en áreas rurales y contrastarlas con los gastos asociados a la introducción de un destilador solar[22].

1.3. Bases teóricas

1.3.1. Destilación

El proceso de destilación es un método que implica calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles se convierten en vapor, y luego enfriar el vapor para recuperar esos componentes en forma líquida mediante la condensación. El objetivo principal de la destilación es separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus diferentes propiedades de volatilidad, o separar los materiales volátiles de los no volátiles presentes en la mezcla. Este proceso se utiliza ampliamente en diversas industrias y aplicaciones para obtener sustancias purificadas o separar los componentes de una mezcla con base en sus propiedades físicas.

1.3.2. Destilador Solar

Dev and Twari, “la disponibilidad de agua dulce de los recursos naturales está disminuyendo debido a la contaminación del agua y el nivel de agua subterránea en retroceso en todo el mundo”[23]. Continúa *Dev and Twari* “la destilación solar es un método económico, eficaz y respetuoso con el medio ambiente sobre todos los métodos de destilación convencionales (que son técnicas intensivas en energía y costes) para obtener agua pura mediante el uso de energía solar”[23].

Dev and Twari, “la eficiencia de los sistemas de destilación solar” está vinculada a factores climáticos como la temperatura del entorno y la intensidad de la radiación solar[23] y las condiciones meteorológicas”, etc., además *Dev and Twari*, “parámetros de diseño como el ángulo de inclinación y parámetros operativos como la orientación del destilador solar y la profundidad del agua de salmuera”[23].

1.3.3. La comparación entre el agua salada y el agua dulce

Es de suma importancia considerar el estudio y evaluación de la abundante masa de agua como una posible solución para la generación de agua potable. Esto ha impulsado la implementación de procesos de desalinización del agua, lo que ha llevado a la presencia de grandes corporaciones transnacionales que buscan diseñar estrategias de desalinización centradas en la rentabilidad, la reducción de costos ambientales y la eficiencia energética [24].

En este contexto, la desalinización solar se refiere al proceso de desalinizar el agua utilizando la energía solar. La razón detrás de esta elección radica en que las fuentes de energía renovable, como la solar, tienen el potencial de superar los altos costos operativos asociados comúnmente con la ósmosis inversa, así como los problemas relacionados con las emisiones de gases de efecto invernadero. Es fundamental destacar que, a pesar de su elevado costo, la tecnología de ósmosis inversa sigue siendo la preferida para la desalinización en la actualidad, principalmente debido a sus altos requerimientos energéticos [24].

1.3.4. Calidad de agua

Es innegable que el agua se ha convertido en un recurso escaso en numerosas regiones del mundo. A medida que la demanda de agua sigue en aumento, la disponibilidad de este recurso se ha vuelto un problema crítico que requiere abordar con enfoques innovadores y sostenibles. La búsqueda de soluciones novedosas se ha convertido en una necesidad urgente para garantizar que las comunidades tengan acceso a agua de calidad y segura para sus necesidades cotidianas, y para preservar este recurso vital para las generaciones futuras [25].

La noción de calidad del agua es relativa y solo cobra relevancia universal cuando se relaciona con el propósito o uso específico del recurso. Esto implica que una fuente de agua que posea la limpieza suficiente para mantener la vida de los peces podría no resultar adecuada para actividades como la natación. Del mismo modo, el agua que sea segura para el consumo humano

podría no cumplir con los estándares necesarios para su utilización en procesos industriales[26]. Por lo tanto, la calidad del agua se evalúa en función de su idoneidad para un propósito particular, y lo que se considera "agua de calidad" varía según las necesidades y estándares de cada uso específico. Por lo tanto, es fundamental adaptar los criterios de calidad del agua a la aplicación concreta que se le dará al recurso hídrico.

En la revisión de la literatura continua *Hamadous and Abdellatif*, “que aproximadamente el 99% del agua disponible en la Tierra es salada, salobre o congelada y que solo el 1% es fresca y está lista para el consumo como agua potable”[25]. “[...] Además, la desalinización del agua de mar puede ayudar a abordar el problema de la escasez de agua”[25].

Anand et al., “sin embargo, la separación de las sales del agua de mar requiere una gran cantidad de energía”[2]. Por tanto, *Anand et al.*, “es beneficioso emplear fuentes de energía renovables para la desalación. La energía solar, que abunda, especialmente en las zonas secas, puede utilizarse con este fin para producir agua potable con un coste energético reducido”[2].

1.3.5. Tipos de destiladores solares

Existen diferentes tipos de destiladores solares que se utilizan para desalinizar y purificar el agua. Algunas de las opciones disponibles son:

- ✓ “Un destilador solar en cascada”.
- ✓ “Un destilador solar en forma de caseta”.
- ✓ “Un destilador solar en forma de una vertiente”.
- ✓ Un destilador solar en forma de escalera.
- ✓ Un destilador solar con evaporador textil.
- ✓ Un destilador solar con múltiples efectos.

1.3.6. Selección del destilador objeto de investigación

En el marco de la investigación, se lleva a cabo una evaluación para determinar el tipo de destilador más adecuado, considerando varios aspectos importantes en el ámbito desde una perspectiva científica, técnica y económica, así como considerando aspectos como la versatilidad,

competitividad, tamaño compacto y eficiencia, luego de un análisis detallado de las características constructivas de todos los tipos de destiladores, se ha determinado que el destilador de una sola vertiente es la opción más adecuada es la opción más recomendada para su implementación en Punta Lomitas.

Esta elección se fundamenta en una serie de razones que respaldan su idoneidad para satisfacer las necesidades y requisitos específicos de dicha localidad.

- ✓ Su construcción permite que sean replicados de manera económica y con materiales comunes, lo que facilita su adopción por parte de usuarios caseros o de comunidades con recursos limitados.
- ✓ Los materiales utilizados están al alcance de la población, lo que facilita su obtención y uso en la construcción de los destiladores.
- ✓ la mayoría de los destiladores son diseñados de manera que puedan ser transportados y ensamblados con facilidad en diferentes ubicaciones.
- ✓ El destilador está diseñado para ser duradero y resistente, lo que permite su uso continuo durante un período prolongado sin deterioro significativo.
- ✓ El proceso de mantenimiento del destilador es relativamente sencillo y no requiere la intervención de expertos o técnicos especializados.

1.3.7. Energía solar

Es posible afirmar que la radiación solar consiste en la liberación de energía desde el sol que se propaga en todas las direcciones a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas. Estas ondas, que conforman lo que se conoce como espectro electromagnético, engloban una amplia gama de tipos de radiación, que incluyen rayos gamma, rayos X, radiación ultravioleta, luz visible, rayos infrarrojos y ondas de radio[27].

1.3.8. Transferencia de calor en un destilador

Chelvi, la transferencia de calor, también conocida como transferencia de energía térmica, se refiere al movimiento de energía debido a una disparidad en las temperaturas. Siempre que exista una variación de temperatura en un

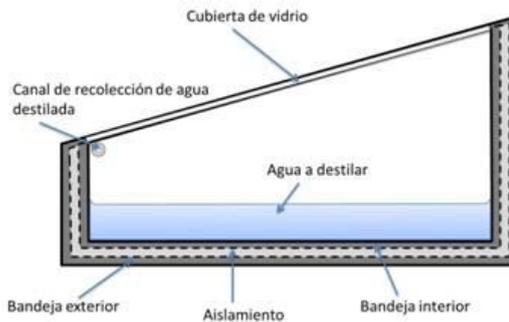
cuerpo o entre diferentes cuerpos, se produce una transferencia de calor. Cuando esta diferencia de temperatura ocurre en un medio estacionario, como un sólido o un fluido, el proceso se denomina "conducción" y se utiliza para describir cómo se propaga el calor a través del medio [20]. Además, el concepto de "convección" se aplica a la transferencia de calor que ocurre entre una superficie y un fluido en movimiento cuando tienen temperaturas distintas. Por otro lado, el tercer mecanismo de transferencia de calor se denomina "radiación térmica", y se refiere al intercambio de energía entre dos superficies que se encuentran a diferentes temperaturas mediante la emisión de radiación electromagnética[20].

1.3.9. Funcionamiento del destilador de una sola vertiente

Polo & Pérez, este diseño se compone de una caja que cuenta con una cubierta de vidrio inclinada en un solo lado. Dentro de la caja, se encuentra dividida en dos secciones: una con un fondo de color negro destinada para contener el agua a evaporar, y la otra sección es el receptáculo [21].

Este tipo de destilador solar se caracteriza por su diseño hermético, que consta de un recipiente sellado que contiene agua y está cubierto por un panel de vidrio transparente y liso. Durante su funcionamiento, la radiación solar penetra a través del panel de vidrio y se absorbe tanto por el agua como por el material en la base del destilador. Esta energía absorbida calienta el agua, lo que provoca su evaporación y un aumento en la humedad del aire cerca de la superficie del agua. Este proceso da lugar a corrientes convectivas dentro del destilador, donde el aire caliente y húmedo asciende hacia el panel de vidrio.

El panel de vidrio se enfría debido al aire exterior, lo que favorece la condensación del vapor de agua. Luego, el agua condensada se desliza hacia un canal recolector, donde se convierte en agua destilada que no contiene sales u otras impurezas. Este proceso se basa en la captación de energía solar y la transferencia de calor para llevar a cabo la destilación del agua, ofreciendo así un método sencillo y efectivo para obtener agua potable de alta calidad, especialmente en áreas con acceso limitado a fuentes de agua dulce.



Fuente: <https://www.redalyc.org/journal/4455/445562743005/html/>

Figura 1. “Procesos de transferencia de calor en un destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica” [21].

1.3.10. Partes de un destilador solar de una sola vertiente

- ✓ Estas componentes son esenciales para el correcto funcionamiento del sistema:
- ✓ El panel solar recolector.
- ✓ El evaporador.
- ✓ La cámara de aire.
- ✓ El condensador.
- ✓ Dispositivos para recolectar el condensado.
- ✓ El aislamiento térmico.
- ✓ La estructura externa.

1.3.11. Prototipo del destilador solar

Polo & Pérez, el propósito de la investigación es desarrollar y analizar un modelo experimental de destilador solar para mejorar la calidad del agua y obtener agua apta para el consumo humano[21].

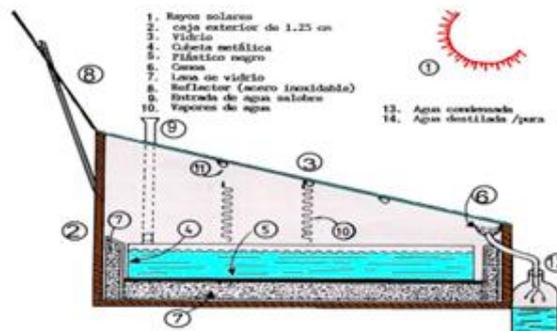


Figura 2. “Principios de Funcionamiento del Destilador solar”[28]

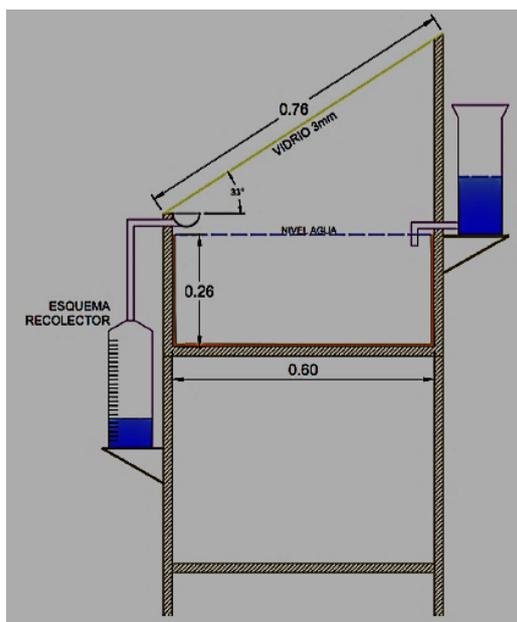


Figura 3. “Esquema del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica”[29].

La figura 3 muestra las dimensiones del destilador solar utilizado en la investigación. Este destilador tiene un área total de 0,36 metros cuadrados y presenta las siguientes dimensiones:

Ancho: 60 centímetros.

Longitud: 60 centímetros.

Altura: 33 centímetros.

El destilador está compuesto por dos elementos principales: un evaporador por lo tanto se utilizó acero inoxidable en la construcción y una cubierta de vidrio inclinada con un ángulo de 33 grados. Estas dimensiones y características son esenciales para el funcionamiento del destilador solar y su capacidad para desalinizar el agua de mar en el contexto de la investigación en Ocucaje, Ica[21].

1.3.12. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es un parámetro fundamental para evaluar la eficiencia del proceso de remineralización del agua desalinizada. Los valores normales de conductividad para el agua desalinizada son generalmente muy bajos, mientras que el agua tratada de manera satisfactoria debe mostrar valores más altos.

La conductividad eléctrica es una medida de la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica. En el caso del agua desalinizada, que ha sido sometida a un proceso de eliminación de sales y minerales, se espera que tenga una baja conductividad debido a la reducida presencia de iones.

Por otro lado, el agua de mar, que no ha sido desalada ni tratada, presenta una alta conductividad eléctrica debido a la gran cantidad de sales y minerales disueltos en ella. Esto permite detectar fácilmente cualquier contaminación en el destilado o filtrado del agua de mar, ya que la alta conductividad del agua de mar serviría como indicador de presencia de sales no deseadas.

Tabla 1. Clasificación del agua de acuerdo a la CE y a los SDT

Listado	“Conductividad eléctrica” ($\mu\text{S/m}$)	“Sólidos disueltos totales (mg/L)”
Agua potable	100 – 2,000	50 – 1,000
Agua salobre	2,000 – 5,000	1,000 – 10,000
Agua marina	5,000 – 45,000	10,000 – 100,000
“Salmuera”	“5,000 – 100,000”	“Mayor a 100,000”

“Fuente: (APHA, 1995)”

Por lo tanto, “La conductividad eléctrica se emplea como indicador para medir la efectividad de la remineralización del agua desalinizada”. Valores bajos de conductividad son deseables en el agua desalinizada tratada satisfactoriamente, mientras que el agua de mar no tratada presenta una alta conductividad debido a su contenido de sales. Mediante la medición de la conductividad, es posible detectar la contaminación en el agua de mar o evaluar la calidad y mineralización adecuada del agua desalinizada.

La Ley de Ohm simplificada, representada por la ecuación 1, se emplea para calcular de manera teórica la conductividad eléctrica (CE).

$$V = R + I \quad (\text{Ecu-1})$$

1.3.13. “Sólidos Disueltos Totales (TDS)”

Los TDS, o sólidos totales disueltos, comprenden sustancias solubles tanto orgánicas como inorgánicas en agua, que no pueden retenerse mediante un material de filtración. Los TDS se calculan generalmente como la diferencia entre los sólidos totales (TS) y los sólidos suspendidos totales (TSS), y su unidad de medida es típicamente mg/l, como se describe en la ecuación 1.

$$TDS = TS - TSS \quad (\text{Ecu-2})$$

1.4. Formulación del Problema General

Este estudio busca contribuir a encontrar soluciones sostenibles para purificar el agua de mar en la costa de la Región de Ica. También tiene como objetivo identificar información científica relevante y proporcionar datos para tomar decisiones informadas sobre el acceso al agua potable en la zona costera. Asimismo, busca promover la adopción de tecnologías y políticas que faciliten un acceso sostenible al agua potable, en línea con los objetivos de desarrollo sostenible [30].

La desalinización del agua de mar se ha convertido en una necesidad creciente en muchas regiones del mundo donde la escasez de agua dulce es un problema constante. La Región de Ica, al ser una zona costera marina con una amplia disponibilidad de agua de mar, se presenta como un escenario propicio para evaluar la viabilidad y eficacia de esta tecnología [22].

La localidad de Ocucaje, ubicada en la región de Ica, Perú, se enfrenta a una crisis persistente de escasez de agua dulce que amenaza la calidad de vida y el desarrollo de sus habitantes. Esta problemática es exacerbada por las condiciones geográficas áridas y semiáridas de la región, que resultan en una disponibilidad limitada de fuentes de agua dulce. Los recursos hídricos tradicionales, como pozos y ríos, no son suficientes para satisfacer la creciente demanda de agua de una población en aumento y de una actividad agrícola en expansión. Como consecuencia, la comunidad se ve obligada a recurrir al agua de mar, que, debido a su alta salinidad y falta de potabilidad, plantea serios riesgos para la salud pública y limita el acceso a un recurso esencial.

La dependencia de fuentes de agua salina en Ocucaje no solo afecta negativamente la salud y el bienestar de la población local, sino que también genera una urgente necesidad de encontrar soluciones efectivas y sostenibles para la obtención de agua dulce. En este contexto, la desalinización solar se presenta como una alternativa prometedora que aprovecha la abundante radiación solar en la región para convertir el agua de mar en agua potable. Sin embargo, para implementar con éxito esta tecnología en Ocucaje, es imperativo desarrollar un modelo de destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica que se adapte a las condiciones locales y garantice la eficiencia, la viabilidad económica y el respeto al medio ambiente.

Por lo tanto, el problema central de esta investigación radica en la falta de acceso a agua dulce asequible y potable en Ocucaje debido a la escasez de recursos hídricos y la limitación de fuentes tradicionales.

Este problema se agrava por el uso no sostenible de agua de mar y requiere la búsqueda de soluciones innovadoras y específicas para la región, destacando la necesidad de diseñar y modelar un destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica que sea efectivo y adecuado para las condiciones de Ocucaje.

1.4.1. Problema General

¿En qué medida el modelamiento del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica contribuye significativamente en la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica, 2022?.

1.4.2. Problema Especifico

PE1: ¿Como el área superficial del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica mejora significativamente la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica, 2022?.

PE2: ¿De qué manera el modelamiento del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica influye significativamente en el grado de “eficiencia en la desalinización del agua de mar” en Ocucaje, Ica, 2022?.

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo principal

Determinar el modelamiento del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica que contribuye significativamente en la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica, 2022

1.5.2. Objetivos Específicos

OE1: Evaluar el área superficial del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica mejora significativamente la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica, 2022.

OE2: Identificar el modelamiento del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica que influye significativamente en el grado de “eficiencia en la desalinización del agua de mar” en Ocucaje, Ica, 2022.

1.6. Hipótesis de la investigación y variables de la investigación

1.6.1. Hipótesis principal

El modelamiento del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica contribuye significativamente en la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica, 2022.

1.6.2. Hipótesis Específica.

HE1: El área superficial del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica mejora significativamente la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica, 2022.

HE2: El modelamiento del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica influye significativamente en el grado de “eficiencia en la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica, 2022.

1.7. Variables

1.7.1. Variable independiente

Modelamiento del destilador solar.- Abarca todos los aspectos relacionados con la creación y configuración del destilador, incluyendo la selección de

materiales, la estructura del dispositivo, la eficiencia energética, la capacidad de producción de agua dulce y cualquier otra característica técnica que se considere relevante “para el funcionamiento del destilador solar”. Además, el "modelamiento" también implica la adaptación de este dispositivo a las condiciones específicas de la región de Ocucaje, teniendo en cuenta factores como la radiación solar local, la temperatura ambiente y las características del agua de mar en esa área [2].

1.7.2. Variable dependiente

Desalinización de agua de mar. – Según [31], se refiere al resultado de la aplicación exitosa de la tecnología de desalinización, donde el agua de mar sometida al proceso del “destilador solar se convierte” en agua dulce, libre de salinidad y adecuada para su uso en consumo humano, riego agrícola u otras necesidades. La variable dependiente puede medirse en función de la cantidad de agua dulce producida, su calidad en términos de niveles de salinidad y la disponibilidad de agua potable segura y confiable para la población de Ocucaje en el año 2022.

1.7.3. Variable interviniente

Radiación Solar Local. – La cantidad y la variabilidad de la radiación solar pueden influir en la eficiencia y la capacidad de producción del destilador solar. Por lo tanto, esta variable interviniente podría considerarse para evaluar cómo las condiciones climáticas locales afectan el rendimiento y la viabilidad de la desalinización solar en Ocucaje.

1.8. Justificación e Importancia de Investigación

1.8.1. Justificación

La justificación de la investigación se fundamenta en la necesidad crítica de abordar los problemas relacionados con la disponibilidad y calidad del agua, especialmente en un contexto de crecimiento poblacional constante y la concentración de la población en áreas urbanas. Esta tendencia ha llevado a una disminución de los recursos hídricos renovables y un aumento significativo en la demanda de agua potable. La desalinización del agua de mar, impulsada por la energía solar, se presenta como una alternativa valiosa

para abordar esta creciente demanda de agua en áreas donde no se dispone de acceso a fuentes de agua dulce.

La investigación se justifica aún más al considerar los desafíos actuales relacionados con la contaminación, la escasez y el alto costo del agua. El agua es un recurso esencial para la vida y el desarrollo humano, y garantizar su disponibilidad es de vital importancia. La desalinización ha demostrado ser una tecnología viable para obtener agua potable a partir de fuentes con alto contenido salino, como el agua de mar.

En el contexto específico de Punta Lomitas, donde la investigación se lleva a cabo, la abundancia de agua de mar y la energía solar disponible hacen que esta técnica sea particularmente relevante y prometedora. La investigación busca no solo garantizar el acceso a agua segura en esta área, sino también minimizar el impacto ambiental al utilizar energía solar renovable y proporcionar ahorros económicos a la población al reducir la dependencia de fuentes de agua costosas.

Por lo tanto, la justificación de la investigación radica en la urgente necesidad de encontrar soluciones sostenibles y accesibles para abordar los desafíos relacionados con el agua, y la desalinización solar se presenta como una respuesta eficiente y respetuosa con el medio ambiente a estos desafíos en Punta Lomitas y más allá.

1.8.2. Importancia

La importancia de la investigación se centra en la creciente preocupación por la escasez de agua dulce en la sociedad actual. En respuesta a este desafío, el uso de fuentes de energía renovable, como la solar, se presenta como una solución clave para implementar sistemas de desalinización de agua de mar mediante destiladores de tipo una vertiente. Estos destiladores son considerados altamente efectivos para aplicaciones de desalinización a pequeña escala, ya que garantizan la obtención de agua de alta calidad.

Es esencial destacar que, en zonas densamente pobladas cercanas a cuerpos de agua salada, el suministro de agua no cumple con los estándares de calidad debido a diversas condiciones ambientales y geográficas, como factores meteorológicos, geológicos, características del suelo y vegetación. Como resultado, el agua suele tener un alto contenido de sales, lo que puede tener graves implicaciones para la salud de la población. En este contexto, la investigación propuesta tiene como objetivo desarrollar un modelo de destilador de tipo una vertiente. A pesar de su simplicidad estructural, este modelo está diseñado para garantizar la obtención de agua de alta calidad y aprovechar de manera eficiente la energía solar disponible.

En resumen, la importancia de la investigación reside en la imperante necesidad de abordar el problema de la escasez de agua dulce y sus consecuencias para la salud de la población en zonas cercanas al mar. A través del desarrollo de un modelo de destilador de tipo una vertiente, se busca asegurar un suministro de agua de calidad y utilizar eficazmente la energía solar, lo que contribuirá significativamente a mejorar la calidad de vida de la población y a la preservación de los recursos hídricos en la región de estudio.

1.9. Marco conceptual

1.9.1. energías renovables

Se refiere a aquella fuente de energía que puede ser explotada de manera continua sin que su disponibilidad disminuya a medida que se utiliza, lo que la distingue por su carácter inagotable. Además, se enfatiza la importancia de contar con fuentes de energía renovable como parte fundamental del desarrollo sostenible, donde la mayoría de los recursos, incluida la energía, sean de naturaleza renovable.

1.9.2. El sol como fuente de energía

“La fuente central de energía en nuestro sistema solar” y destaca su papel en la generación de energías renovables como la energía eólica, hídrica, biomasa, entre otras. Se menciona que el sol produce una gran cantidad de energía en su núcleo debido a la fusión nuclear de átomos de hidrógeno a

temperaturas extremadamente altas, y esta energía se irradia al espacio en forma de ondas electromagnéticas. Se resalta que esta energía solar es amigable con el medio ambiente.

1.9.3. Radiación solar

la radiación solar experimenta cambios cuando incide en la atmósfera, como absorción, reflexión y difusión. Para comprender estos procesos, es importante tener conocimiento de conceptos específicos relacionados con los diferentes tipos de radiación solar.

1.9.4. Irradiancia solar

“La expresión de la potencia solar y de cualquier tipo de radiación se basa en el concepto de irradiancia, que se cuantifica en $W.m^{-2}$ y representa la velocidad a la que la energía radiante llega a una superficie específica, considerando su unidad de área. Para hacer referencia a la irradiancia, se utiliza comúnmente el símbolo G , acompañado de subíndices correspondientes como G_o , G_b , G_d , que se emplean para denotar la irradiancia extraterrestre, directa y difusa, respectivamente”.

“Es importante destacar que la irradiancia nos permite comprender claramente que la radiación es un fenómeno que ocurre en el tiempo y que fluye constantemente”. No es un estado estático, sino que se trata de energía que incide de manera instantánea sobre una superficie específica.

1.9.5. Irradiación solar

La cantidad total de energía que incide sobre una superficie durante un período de tiempo específico se conoce como irradiación, medida en $J.m^{-2}$. Esta irradiación representa la suma acumulativa de la irradiancia a lo largo del período considerado. Para expresar la irradiación, se utiliza comúnmente el símbolo "I" “para la insolación por hora, mientras que "H" se utiliza para la insolación en un período de un día”.

De tal manera que, “la irradiación es la cantidad total de energía radiante recibida por unidad de área durante un intervalo de tiempo determinado”. Es la integración de la irradiancia a lo largo de ese período. La insolación por

hora (I) y la insolación diaria (H) son términos utilizados para referirse a la irradiación en diferentes escalas de tiempo.

1.9.6. El agua

“El agua se compone de un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno. En su estado natural, es líquida, inodora, insípida e incolora. Abunda de manera considerable en la superficie de la Tierra, ocupando alrededor de dos tercios de la misma. Además, cumple una función crucial en los seres vivos, ya que constituye el componente principal de la materia viva, representando entre el 50% y el 90% de la masa de los organismos”.

A pesar de su amplia presencia, es importante destacar que solo una pequeña fracción “del agua en la Tierra es dulce y apta para el consumo humano. Se estima que solo alrededor del 2,5% del total de agua en el planeta es dulce, y de ese porcentaje, menos del 1% es adecuado para el consumo humano”. Esto subraya la importancia de preservar y gestionar adecuadamente este recurso vital.

1.9.7. “La calidad del agua en relación con su uso”

Las demandas de calidad del agua varían según su uso previsto. Como hemos mencionado anteriormente, el agua destinada al consumo humano debe ser segura para beber, es decir, potable. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los estándares de calidad para el agua potable pueden no ser suficientes para satisfacer las necesidades de los procesos industriales.

Los procesos industriales a menudo requieren agua con características específicas y niveles más rigurosos de calidad para garantizar un rendimiento óptimo y evitar problemas en las operaciones. Esto se debe a que algunos componentes o impurezas presentes en el agua potable pueden tener efectos adversos en los equipos, productos finales o en la eficiencia de los procesos industriales.

Por lo tanto, es necesario realizar tratamientos adicionales o aplicar sistemas de purificación específicos para adaptar el agua a los requisitos de cada proceso industrial en particular. Esto asegura que el agua utilizada en la

industria cumpla con los estándares de calidad necesarios y contribuya a la eficiencia y seguridad de las operaciones industriales.

1.9.8. Normas de calidad de las aguas

“El propósito de establecer estándares para la calidad del agua no es imponer cifras a las que se deba ajustar estrictamente, sino que se utilizan como pautas para interpretar y como base para posibles comparaciones”. En realidad, lo que se considera más importante al determinar la calidad del agua no es tanto la calidad en sí, sino el origen de las impurezas presentes. “Naturalmente, la exigencia de calidad varía según la toxicidad o movilidad de la impureza, y en general, se adaptan a las características socioeconómicas y ambientales del lugar”.

Esto significa que los estándares de calidad del agua se establecen como puntos de referencia flexibles y adaptables, que permiten evaluar y comparar la calidad del agua en función de sus características específicas y los posibles riesgos asociados. No se busca imponer medidas absolutas, sino proporcionar directrices para evaluar la adecuación del agua para su uso previsto.

Además, se reconoce que la calidad del agua puede variar según su origen, como fuentes naturales, aguas superficiales o subterráneas, o mediante procesos de tratamiento. Por lo tanto, la evaluación de la calidad del agua se centra en identificar las impurezas y contaminantes presentes y en evaluar su impacto en la salud humana, el medio ambiente y las actividades relacionadas.

Por lo tanto, “los estándares de calidad del agua” se utilizan como guías flexibles para evaluar y comparar la idoneidad del agua para diferentes usos, considerando tanto la naturaleza de las impurezas presentes como las condiciones socioeconómicas y ambientales del área en cuestión.

1.9.9. Conducción

En los sólidos, la transferencia de calor se produce únicamente a través de la conducción. Cuando aplicamos calor a un extremo de una barra metálica, por ejemplo, su temperatura aumenta y el calor se transfiere hacia el extremo más

frío mediante la conducción. Aunque no se comprende por completo el mecanismo exacto de la conducción de calor en los sólidos, se cree que está relacionado, al menos en parte, con el movimiento de los electrones libres que transportan energía cuando existe una diferencia de temperatura. Esta teoría explica por qué los materiales que son buenos conductores eléctricos también suelen ser buenos conductores de calor.

En 1822, el matemático francés Joseph Fourier formuló una expresión matemática precisa conocida como la Ley de Fourier de la conducción del calor. Según esta ley, la velocidad de conducción de calor a través de un cuerpo por unidad de área transversal es proporcional al gradiente de temperatura presente en el cuerpo (con el signo cambiado). En otras palabras, cuanto mayor sea la diferencia de temperatura entre dos puntos de un cuerpo sólido, mayor será la velocidad de transferencia de calor a través de él.

La Ley de Fourier establece una relación directa entre el gradiente de temperatura y la velocidad de conducción de calor en un material sólido. Esta ley es fundamental para comprender y analizar los procesos de conducción térmica en diversos materiales y estructuras sólidas, y ha sido ampliamente utilizada en el campo de la transferencia de calor y la ingeniería térmica.

1.9.10. Convección

Si hay una diferencia de temperatura dentro de un líquido o gas, es muy probable que se genere un movimiento en el fluido. Este movimiento conlleva la transferencia de calor de una parte del fluido a otra, y se conoce como convección. El movimiento del fluido puede ocurrir de manera natural o ser inducido.

Cuando calentamos un líquido o un gas, su densidad tiende a disminuir. Si el fluido se encuentra en un campo gravitatorio, el fluido más caliente y menos denso tiende a ascender, mientras que el fluido más frío y más denso tiende a descender. Este tipo de movimiento, generado exclusivamente por la no uniformidad de la temperatura del fluido, se denomina convección natural.

Por otro lado, la convección forzada se logra al someter el fluido a un gradiente de presiones, lo que fuerza su movimiento de acuerdo con las leyes

de la mecánica de fluidos. En este caso, el movimiento del fluido es inducido y controlado externamente.

La convección es un importante mecanismo de transferencia de calor en líquidos y gases. Permite una distribución más rápida y eficiente del calor en el fluido, ya que no se limita solo a la conducción térmica. Este fenómeno es relevante en numerosos procesos naturales y aplicaciones industriales, como la transferencia de calor en sistemas de refrigeración, calefacción y ventilación, así como en el estudio de corrientes oceánicas y atmosféricas.

1.9.11. Radiación

La radiación se distingue de la conducción y la convección por una característica fundamental: las sustancias que intercambian calor no necesitan estar en contacto directo, pueden estar separadas incluso por un vacío. La radiación es un término que abarca diversos fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas.

En el caso de la transferencia de calor por radiación, el calor se transmite en forma de ondas electromagnéticas, como la radiación infrarroja, la luz visible o los rayos ultravioleta. Estas ondas pueden viajar a través del espacio vacío o de medios transparentes, sin necesidad de un medio material para propagarse.

La radiación térmica es un proceso fundamental en la transferencia de calor entre objetos a altas temperaturas, como el Sol y la Tierra. Por ejemplo, el Sol emite radiación electromagnética en forma de luz y calor, que se propaga a través del espacio y calienta la superficie terrestre. Del mismo modo, los objetos calientes emiten radiación térmica, que puede ser absorbida por otros objetos o reflejada.

Por lo tanto, la radiación es un mecanismo de transferencia de calor que no requiere contacto directo entre las sustancias involucradas y se basa en la propagación de ondas electromagnéticas.

II. ESTRATEGIA METODOLOGICA

2.1 Área de estudio

La playa Punta Lomitas se encuentra ubicada en el distrito de Ocucaje, una localidad costera en la región de Ica, Perú. Este punto de monitoreo de calidad del agua se sitúa en un entorno costero caracterizado por su belleza natural y su acceso al océano Pacífico.

La playa Punta Lomitas se distingue por su extensa extensión de arena dorada y sus aguas cristalinas, lo que la convierte en un destino atractivo tanto para los habitantes locales como para los visitantes. Su entorno natural ofrece un ambiente tranquilo y sereno, ideal para actividades recreativas y el disfrute de la playa.

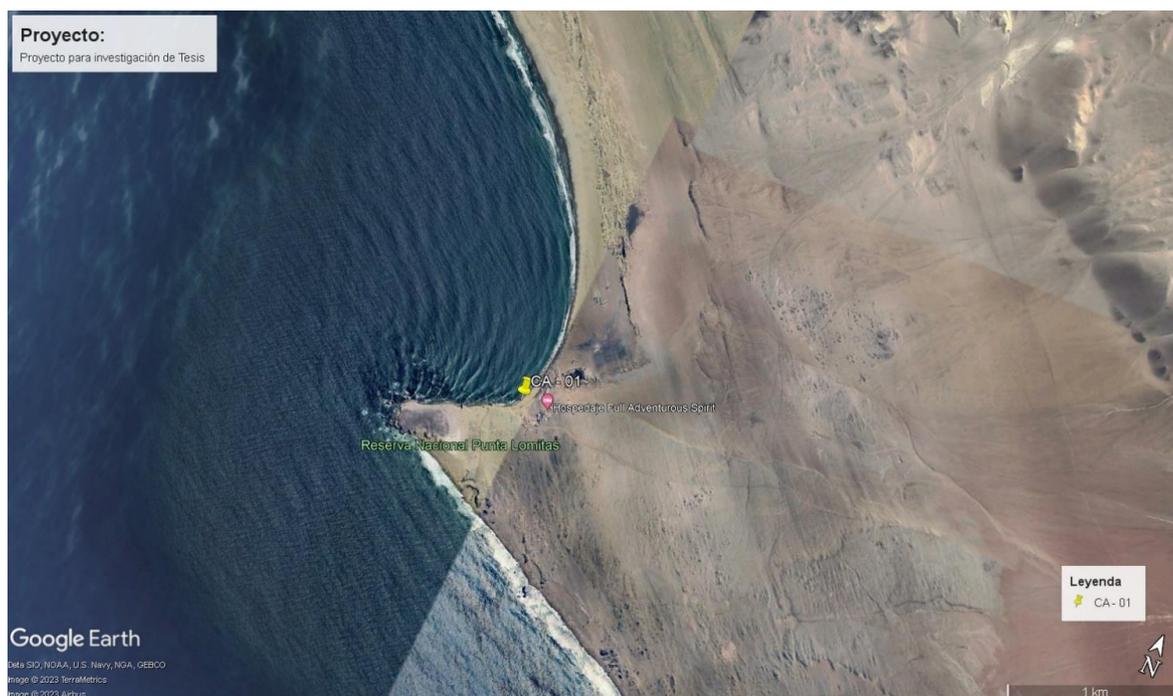
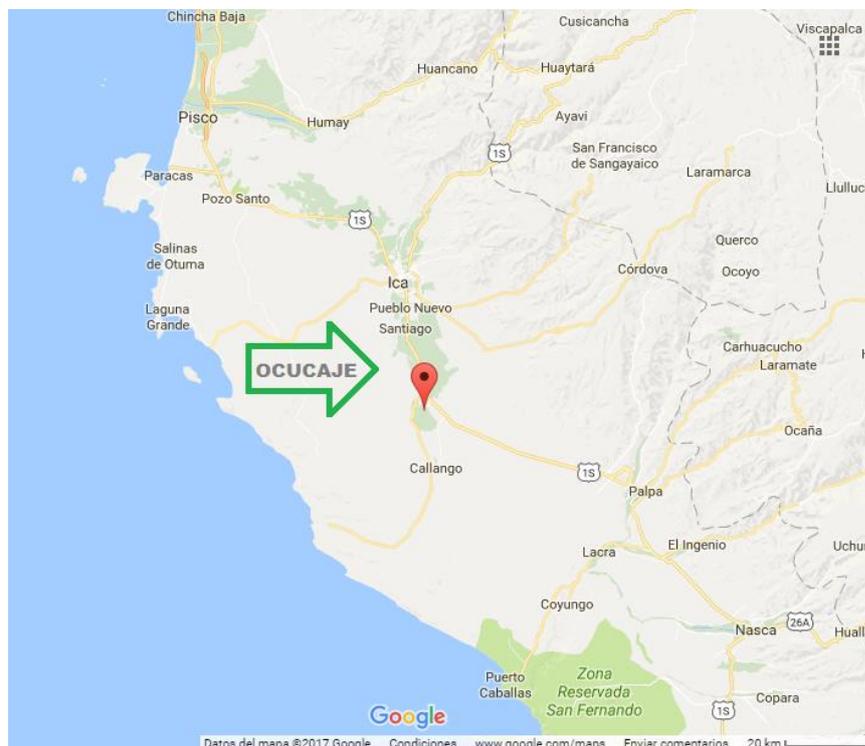


Figura 4. Ubicación del punto de Monitoreo de Calidad del agua – Playa Punta Lomitas – Distrito de Ocucaje

En el contexto de la investigación sobre la desalinización del agua de mar, la elección de Punta Lomitas como lugar de toma de muestras es relevante debido a su proximidad al océano y su representatividad de las condiciones costeras en la región de Ica. Este punto de monitoreo permite obtener muestras del agua de mar en un entorno real y

evaluar la efectividad del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica en la desalinización de agua en condiciones similares a las que se encontraría en la zona costera de Ocucaje[32].

Tiene un área aproximada de 36 km² y se extiende desde la playa Media Luna hasta la punta Pejerrey. Es importante destacar que se trata de una bahía semicerrada con una gran diversidad biológica y productividad. Además, se encuentra dividida por el límite norte de la Reserva Nacional de Paracas, un área natural protegida que preserva y conserva muestras representativas de los ecosistemas marino-costeros de Perú. [33].



Fuente: <https://4.bp.blogspot.com/-aPH0xh706e0/WSdU-1RNWXI/AAAAAAAAAYN4/zEpG9ti5vP0yqTHTL39Th0xFHSp3r4pqACLcB/s1600/Desarrollo%2BPeruano3.png>

Figura 5. Ubicación del punto de Monitoreo de Calidad del agua – Playa Punta Lomitas

2.2 Metodología de la investigación

2.2.1 Tipo y nivel de la investigación

Tipo: El propósito de la investigación se clasifica como un estudio de tipo aplicado, observacional-prospectivo-transversal. En este contexto, se utilizaron conocimientos teóricos previamente adquiridos para abordar y resolver problemas prácticos y reales. El enfoque observacional se refiere a la observación sistemática y la recopilación de datos en un entorno real, en

este caso, el proceso de desalinización de agua de mar utilizando un destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica. Además, se considera prospectivo porque se busca evaluar y prever los resultados y efectos de la aplicación de esta tecnología en el futuro. La naturaleza longitudinal implica que se recopilan datos a lo largo del tiempo para comprender cómo evoluciona y se desarrolla el proceso de desalinización. [34].

Nivel: La investigación se enmarca en la categoría de investigación aplicada, con el propósito de abordar un problema práctico y concreto en la sociedad. El objetivo principal de la investigación es desarrollar el modelamiento de un destilador solar tipo una vertiente que, al desalinizar el agua de mar, contribuya a mejorar la calidad del agua en Punta Lomitas. Esta categoría de investigación aplicada se caracteriza por la búsqueda de soluciones prácticas y la aplicación de conocimientos teóricos para resolver problemas del mundo real, en este caso, relacionados con la desalinización y la disponibilidad de agua de calidad en una zona específica[35].

Diseño: La investigación sigue un enfoque experimental, ya que implica la realización de pruebas, ensayos y mediciones en un prototipo de destilador solar de tipo unidireccional. Este enfoque se centra en la recopilación de datos empíricos a través de la experimentación para evaluar el rendimiento y la eficacia del dispositivo en condiciones reales. Los experimentos y mediciones proporcionarán datos concretos que respaldarán el modelamiento y la comprensión del proceso de desalinización, lo que contribuirá a los objetivos de la investigación [34].

2.2.2 Población y muestra

Población: El término "población" se refiere a la toma de agua de mar que se encuentra en la playa Punta Lomitas, ubicada en el distrito de Ocucaje, en la ciudad de Ica. Esta población de agua de mar es el objeto de estudio o la fuente de interés en el contexto de la investigación, donde se llevarán a cabo las pruebas y análisis relacionados con el proceso de desalinización utilizando el destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica [28].

Muestra: La muestra de investigación se compone de agua de mar tomada de la playa Punta Lomitas, ubicada en el distrito de Ocucaje, en la ciudad de Ica. Esta muestra es representativa de la fuente de agua de mar que se utilizará en el estudio de desalinización mediante el destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica[28].

2.2.3 Técnica de recolección de datos

La técnica de recolección de datos utilizada en esta investigación involucra la toma de muestras de agua de mar de la playa Punta Lomitas en el distrito de Ocucaje, así como la implementación del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica. Se realizaron mediciones de variables como la temperatura del agua, la radiación solar, la velocidad del viento y otros parámetros relevantes para evaluar el proceso de desalinización. Estos datos se recopilaron a lo largo de un período de tiempo específico para evaluar la eficiencia y el rendimiento del destilador solar en la desalinización del agua de mar en la ubicación mencionada [36].

2.2.4 Instrumentos de recolección de datos

Materiales

En la construcción del prototipo del destilador solar y el canal de recolección se emplearon materiales específicos para asegurar su eficiencia y durabilidad. Dos láminas de acero inoxidable se utilizaron en la fabricación, seleccionando este material debido a su resistencia superior a la corrosión, características higiénicas y capacidad para absorber más energía solar. Para la cubierta del prototipo se optó por una lámina de vidrio de 4 mm de espesor, eligiéndola por su capacidad para distribuir uniformemente el condensado en forma de película sobre toda la superficie del vidrio, en contraposición a las cubiertas de plástico que forman gotas y dispersan parte de la radiación solar incidente. Para el suministro y recolección del destilado, se utilizaron dos tubos de cobre con un diámetro de 1 cm, debido a su resistencia a la corrosión y capacidad para soportar altas temperaturas. Esto garantizó un funcionamiento eficiente y duradero. Para mejorar la absorción de la radiación solar, se aplicó una capa de pintura negra Epoxide HS en el interior, seleccionando esta pintura por su bajo contenido de compuestos orgánicos volátiles y excelente resistencia

química, lo que permitió maximizar la captación de energía solar y asegurar una protección duradera contra la corrosión[38].

Equipos

En el sistema de destilación solar, se empleó el Dataloger Multi log Pro, un dispositivo diseñado para registrar las temperaturas tanto dentro como fuera del prototipo del destilador solar.

Estos datos de temperatura desempeñaron un papel crucial en los cálculos relativos al balance de energía y la eficiencia térmica del prototipo. La utilización del Dataloger Multi log Pro facilitó la recopilación precisa y sistemática de la información esencial para evaluar el rendimiento térmico del sistema de destilación solar.

2.2.5 Técnicas de procesamiento de datos

- **Especificaciones del destilador solar tipo una vertiente**

Para iniciar los cálculos de diseño del destilador solar, se determinó que el tamaño del equipo sería de 0.36 m^2 , teniendo en cuenta que se trata de un dispositivo experimental. A partir de esta superficie, se definieron las dimensiones correspondientes, que son de 60 cm de largo, 60 cm de ancho y 33 cm de alto.

Una vez establecido el área, se procedió al cálculo de los parámetros internos del prototipo, como el ángulo de inclinación de la cubierta de vidrio y la altura del nivel de agua a destilar. Estos parámetros son fundamentales para garantizar el funcionamiento adecuado y la eficiencia óptima del destilador solar. Tabla 2.

- **Inclinación de la cubierta de vidrio del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica.**

Se determinó que el prototipo del destilador solar tendría un área de 0.36 m^2 , teniendo en cuenta el ángulo de inclinación de la cubierta basado en la latitud de la ubicación en la playa Punta Lomitas en el distrito de Ocucaje, que tiene las coordenadas UTM 408576E y 8373288N (WGS 84

18 L). Para la implementación práctica, se eligió un ángulo de inclinación de 33° y se optó por una cubierta de vidrio con un espesor de 3 mm.

- **Registraron las temperaturas obtenidas del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica.**

Las temperaturas se registraron utilizando el instrumento Multi log Pro en diferentes momentos del día, que incluyeron las siguientes horas: 7 AM, 11 AM, 1 PM y 4 PM. Estos registros de temperatura se recopilaban en esos momentos específicos para su posterior análisis y evaluación en el estudio. Tabla 2.

Tabla 2. Temperatura del destilador solar de una sola vertiente

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

2.2.6 Análisis e interpretación de los datos

Análisis estadístico de datos

. Los datos recopilados a lo largo del estudio se sometieron a un proceso de análisis y procesamiento utilizando el software Microsoft Excel 2019, con el objetivo de representar los resultados de manera gráfica. Asimismo, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia establecido en $p < 0,05$. Esto se realizó para evaluar de manera significativa las diferencias entre los diversos procesamientos y las variables estudiadas.

El ANOVA es una herramienta estadística fundamental que se utiliza para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre grupos o tratamientos en función de la variabilidad presente en los datos. En este contexto, su aplicación permitió evaluar de manera rigurosa las distinciones entre los procesamientos y las variables, lo que contribuye a una interpretación más sólida y precisa de los resultados obtenidos en el estudio.

En esta investigación, se empleó la herramienta Microsoft Excel con el propósito de determinar el modelamiento del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica en el proceso de desalinización del agua de mar. El uso de Microsoft Excel proporcionó una plataforma versátil para el análisis y procesamiento de datos, lo que permitió evaluar y comprender la relación entre el modelamiento del destilador y la eficiencia en la desalinización de manera efectiva. Esta herramienta contribuyó a la obtención de resultados significativos y al logro de los objetivos de la investigación.

El diseño de experimentos

Es una metodología clave que permite a los ingenieros y científicos realizar investigaciones de manera sistemática, controlando y manipulando variables independientes para comprender su impacto en una variable dependiente específica. A través de esta técnica, se puede obtener información valiosa sobre procesos y sistemas, lo que facilita la toma de decisiones informadas y la mejora de la eficiencia y calidad en la ingeniería de procesos.

Diseño de experimento factorial 2^3

Este diseño experimental se compone de 8 pruebas o ensayos distribuidos en un arreglo geométrico tridimensional similar a un cubo, correspondiendo cada prueba a los vértices de dicho cubo (Figura 6). El diseño 2^3 se distingue por su capacidad para investigar de manera simultánea tres factores, cada uno evaluado en dos niveles diferentes, y determinar su influencia relativa en la variable de respuesta.

El diseño de experimentos en este caso se compone por $2^3 = 8$ pruebas o ensayos, que están dispuestos de manera estratégica en una estructura geométrica tridimensional conocida como un hexaedro regular o cubo. Cada uno de estos ensayos corresponde a los vértices del cubo, lo que se ilustra en la Figura 6. Este diseño, conocido como diseño 2^3 , es particularmente valioso porque permite investigar simultáneamente el impacto de tres factores, cada uno evaluado en dos niveles diferentes, en la variable de respuesta. Esta metodología es esencial para comprender las relaciones entre múltiples variables y su influencia en un proceso o sistema específico.

[39] *Fernández*, Los diseños factoriales $2^k = 2^3$ se refieren a los experimentos en los cuales cada factor tiene dos niveles, lo que significa que cuando se realiza un experimento con un total de $k = 3$ factores, cada uno de estos factores puede tomar solo dos niveles.

Los diseños factoriales $2^k = 2^3$, donde k representa el número de factores, son configuraciones experimentales en las cuales cada factor tiene únicamente dos niveles distintos. En el contexto de un experimento con tres factores ($k = 3$), cada uno de estos factores se ajusta a dos niveles específicos. Estos diseños son valiosos en la investigación, ya que permiten explorar de manera efectiva el impacto de múltiples factores en una variable de respuesta, simplificando la manipulación y control de dichos factores al tener solo dos niveles posibles para cada uno.

La Figura 6 muestra la ruta a seguir en el análisis de diseño factorial 2^3 , para determinar los tres factores con respuesta en Microsoft Excel.

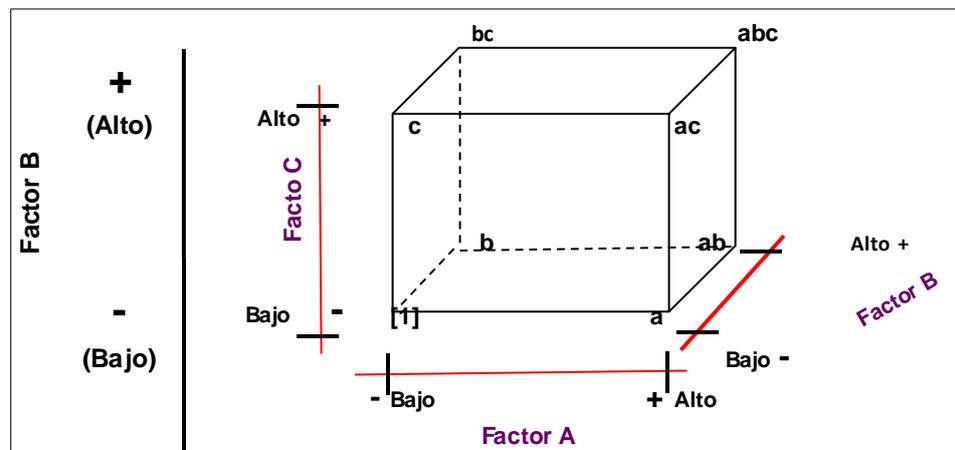


Figura 6. El diseño de experimento 2^3 : geometría

Gil, comenta que, a los investigadores, a partir de los resultados, se puede determinar un estadístico que siga una distribución de probabilidad conocida[40].

El sistema se distingue por una distancia de funcionamiento que implica cuatro variables, comprensivas de tres tratamientos y el procedimiento de desalinización del agua de mar. A partir de esta organización, se ha

desarrollado un modelo global de relación funcional representado de manera similar:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3) \quad \text{Ecu. (3)}$$

Donde:

Y: “Establece la desalinización del agua de mar”

X₁: “Temperatura del aire”

X₂: Radiación solar y

X₃: Velocidad del viento

Estos datos se presentaron de manera tabular para su análisis y estudio subsiguiente. Reemplazando en (Ecu. 3):

Desalinizacion de agua de mar =
f(Temperatura, radiacion solar, velocidad del viento)

Tabla 3. Matriz de diseño del experimento para el diseño factorial 2³

Tratamientos	Niveles /Factores		
	Nivel/Factor X ₁	Nivel/Factor X ₂	Nivel/Factor X ₃
[1]	-	-	-
A	+	-	-
B	-	+	-
AB	+	+	-
C	-	-	+
AC	+	-	+
BC	-	+	+
ABC	+	+	+

Elección de los niveles

Los niveles de los tratamientos se seleccionan de manera empírica,

comenzando con un nivel medio o base en cada tratamiento, a partir del cual se establecen el nivel inferior o bajo (-1) y el nivel superior o alto (+1). Estos dos últimos niveles se encuentran equidistantes del nivel medio. Por lo tanto, los niveles elegidos para esta investigación coinciden con los que se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Niveles y tratamientos

“Niveles y distancia”	“Notación”	Tratamientos		
		X ₁	X ₂	X ₃
Nivel medio	0	26 °C	3.6 m/s	6.3 Kwh
Nivel inferior	- 1	22 °C	1.9 m/s	6.2 Kwh
Nivel superior	+1	22 °C	6.1 m/s	6.4 Kwh

Elaboración de los tratamientos: combinaciones de tres factores con dos niveles y cuatro replicas

La elaboración de los tratamientos en este estudio implica la creación de combinaciones que involucran tres factores, cada uno con dos niveles diferentes, y la realización de cuatro réplicas de cada combinación. Esto significa que se llevarán a cabo un total de cuatro repeticiones para cada conjunto de condiciones en las que los tres factores se ajustan a sus dos niveles respectivos. Esta metodología permite recopilar datos robustos y confiables para evaluar el impacto de los factores en la variable de interés y realizar un análisis estadístico significativo. Tabla 5.

Tabla 5. Elaboración de los tratamientos: combinaciones de tres factores con dos niveles y cuatro replicas

Factores			Combinaciones de tratamientos	Replicas			
Temperatura (°C)	Radiación Solar (Kwh)	Velocidad del viento (m/s)		I 7 am	II 10 am	III 1 pm	IV 4 pm
22	6.3	1.9	[1]	16	21	27	22
28	6.3	1.9	A	13	39	50	39
22	6.4	1.9	B	15	42	75	41

28	6.4	1.9	AB	14	70	80	60
22	6.3	6.1	C	17	50	60	55
28	6.3	6.1	AC	13	20	23	22
22	6.4	6.1c	BC	17	24	26	25
28	6.4	6.4	ABC	19	46	57	51

2.3 “Marco legal”

2.3.1 “Constitución Política del Perú”

En el primer capítulo de la Constitución, referente a los derechos fundamentales de las personas, el Artículo 2, inciso 22 establece que "Cada individuo tiene el derecho de residir en un entorno sin contaminación, donde pueda desplegar plenamente todas sus capacidades emocionales y sociales, permitiéndole así un desarrollo exitoso en su vida". Esta declaración subraya la importancia de garantizar un ambiente saludable y libre de contaminación para el desarrollo integral de cada individuo[41].

2.3.2 “Ley de Recursos Hídricos, Ley N°29338”

La ley actual tiene como objetivo principal regular el uso y la gestión de los recursos hídricos, abarcando diversas fuentes de agua como las superficiales, subterráneas, continentales, además de los elementos relacionados con estas fuentes. Esta regulación se extiende también al agua marítima y atmosférica en la medida en que sea aplicable. La finalidad fundamental de esta ley es establecer un marco legal que rijan la gestión integral del agua, definiendo las responsabilidades tanto del Estado como de los particulares en la administración de estos recursos y los elementos relacionados con ellos. La gestión integrada del agua es un enfoque esencial para garantizar un uso sostenible de este recurso vital[42].

III. RESULTADOS

3.1. Determinar el modelamiento del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica en la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica.

La desalinización del agua de mar a través de la destilación solar, utilizando un destilador solar de fibra de vidrio de tipo caseta asimétrica se caracteriza por su funcionamiento eficiente. En este sistema, el agua de mar ingresa al compartimento central de la caseta, donde se somete a un proceso de calentamiento. Posteriormente, entra en contacto con el medio interno de la caseta, lo que da lugar a la vaporización del agua salina. Este vapor se eleva hasta alcanzar la superficie de vidrio ubicada en la parte superior del sistema, donde se condensa en forma de gotas. Estas gotas, por efecto de la gravedad, se desplazan hacia una tubería de conducción de condensados y se almacenan en un recipiente separado. El resultado de este procedimiento es la obtención de agua potable adecuada para el consumo humano. Tabla 6.

Tabla 6. “Resultados de la temperatura del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica

Hora	T_{amb} (°C)	T_{vae} (°C)	T_{vai} (°C)	T_{aid} (°C)	T_{ad} (°C)	T_{pebd} (°C)	T_{pecd} (°C)	T_{pid} (°C)
	Temperatura ambiente	Temperatura del vidrio en el área externa	Temperatura del vidrio en el área interna	Temperatura del aire en el interior del destilador	Temperatura del Agua en el destilador	Temperatura en la parte externa de la base del destilador	Temperatura en la parte externa del costado del destilador	Temperatura en la pared interna del destilador
07:00	16	13	15	14	17	13	17	19
09:00	20	28	34	38	40	18	22	36
11:00	21	39	42	70	50	20	24	46
12:00	26	48	54	75	56	22	25	53
13:00	27	50	75	80	60	23	26	57
14:00	24	48	50	71	58	23	26	56
15:00	23	44	47	66	56	23	26	53
16:00	22	39	41	60	55	22	25	51
17:00	18	28	30	42	49	21	23	44

Desarrollando el diseño de experimento factorial 2³

Este enfoque sistemático permite a los ingenieros y científicos analizar y comprender mejor cómo las variables de entrada afectan a la variable de salida en un proceso o sistema específico. El diseño de experimentos desempeña un papel crucial en la optimización y mejora de los procesos industriales y la toma de decisiones basada en datos sólidos, un conjunto de ensayos experimentales bajo condiciones de operación específicas establecidas para cada uno de ellos [43].

Obtención del promedio de los tratamientos

En la Tabla 5, se encuentran registradas las 32 muestras, donde se obtuvo “la desalinización de agua de mar”, en base a la temperatura, radiación solar y velocidad del viento, de tal manera que permitió obtener el promedio de todos los tratamientos:

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^{32} (\text{Replicas})}{32} \quad \dots(\text{Ecu. 4})$$

Estimación de los efectos principales y efectos interacciones

Se consideró los datos de la Tabla 5:

Primero, se calculó la suma total de las cuatro replicas que hacen un total de 32 muestras, como se muestra en la Tabla 7.

Segundo, se desarrolló las siete ecuaciones tanto para la suma de cuadrado de los efectos principales y suma de cuadrado de los efectos interacciones.

Tabla 7. “Estimación de los efectos principales y efectos interacciones”

Tratamiento	Efectos Principales			Efectos Interacciones				Suma Total de los tratamientos
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	
[1]	-	-	-	+	+	+	-	86
A	+	-	-	-	-	+	+	141
B	-	+	-	-	+	-	+	173
AB	+	+	-	+	-	-	-	224
C	-	-	+	+	-	-	+	182
AC	+	-	+	-	+	-	-	78

BC	-	+	+	-	-	+	-	92
ABC	+	+	+	+	+	+	+	173

Se elaboraron las ecuaciones en base a la estimación de los efectos principales y efectos interacciones

$$SS_{X_1} = \frac{1}{4\eta} [A + AB + AC + ABC - [1] - B - C - BC]^2 \quad (\text{Ecu.5})$$

$$SS_{X_2} = \frac{1}{4\eta} [B + AB + BC + ABC - [1] - A - C - AC]^2 \quad (\text{Ecu.6})$$

$$SS_{X_3} = \frac{1}{4\eta} [C + AC + BC + ABC - [1] - A - B - AB]^2 \quad (\text{Ecu.7})$$

$$SS_{X_1X_2} = \frac{1}{4\eta} [[1] + AB + C + ABC - A - B - AC - BC]^2 \quad (\text{Ecu.8})$$

$$SS_{X_1X_3} = \frac{1}{4\eta} [[1] + B + AC + ABC - A - AB - C - BC]^2 \quad (\text{Ecu.9})$$

$$SS_{X_2X_3} = \frac{1}{4\eta} [[1] + A + BC + ABC - B - AB - C - AC]^2 \quad (\text{Ecu.10})$$

$$SS_{X_1X_2X_3} = \frac{1}{4\eta} [A + B + C + ABC - [1] - AB - AC - BC]^2 \quad (\text{Ecu.11})$$

Tabla 8. Suma de los cuadrados de los efectos principales y efectos interacciones

Suma de cuadrados	Ecuaciones	Valores
SS_{X_1}	Ecuación 5	431
SS_{X_2}	Ecuación 6	1914
SS_{X_3}	Ecuación 7	613
$SS_{X_1X_2}$	Ecuación 8	2048
$SS_{X_1X_3}$	Ecuación 9	1040
$SS_{X_2X_3}$	Ecuación 10	1702
$SS_{X_1X_2X_3}$	Ecuación 11	2233

Obtención de la sumatoria de los cuadrados de los efectos totales

$$SS_{Total} = SS_{X_1} + SS_{X_2} + SS_{X_3} + SS_{X_1X_2} + SS_{X_1X_3} + SS_{X_2X_3} + SS_{X_1X_2X_3} + SS_{Error}$$

(Ecu. 12)

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n (y_{ijkl} - \bar{y})^2$$

(Ecu. 13)

Obtención de la sumatoria de los cuadrados de los efectos error, se toma en cuenta la ecuación (12)

$$SS_{Error} = SS_{X_1} + SS_{X_2} + SS_{X_3} + SS_{X_1X_2} + SS_{X_1X_3} + SS_{X_2X_3} + SS_{X_1X_2X_3} - SS_{Total}$$

(Ecu. 14)

Tabla 9. Sumatoria de los Cuadrados de los efectos totales

Tratamiento	Sumatoria de los Cuadrados	GL	MS	Fc
A	SS_{X_1}	1	MS_{X_1}	MS_{X_1}/MS_E
B	SS_{X_2}	1	MS_{X_2}	$\frac{MS_{X_2}}{MS_E}$
C	SS_{X_3}	1	MS_{X_3}	MS_{X_3}/MS_E
AB	$SS_{X_1X_2}$	1	$MS_{X_1X_2}$	$MS_{X_1X_2}/MS_E$
AC	$SS_{X_1X_3}$	1	$MS_{X_1X_3}$	$SS_{X_1X_3}/MS_E$
BC	$SS_{X_2X_3}$	1	$MS_{X_2X_3}$	$SS_{X_2X_3}/MS_E$
ABC	$SS_{X_1X_2X_3}$	1	$MS_{X_1X_2X_3}$	$SS_{X_1X_2X_3}/MS_E$
Error	SS_E	$\eta - 8$	MS_E	
Total	SS_T	$\eta - 1$		

Por lo tanto, de la ecuación (13), se obtiene SS_T

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n (y_{ijkl} - \bar{y})^2$$

$$SS_T = ((I137-\$F\$145)^2+(J137-\$F\$145)^2+(K137-\$F\$145)^2+(L137-\$F\$145)^2+(I138-\$F\$145)^2+(J138-\$F\$145)^2+(K138-\$F\$145)^2+(L138-\$F\$145)^2+(I139-\$F\$145)^2+(J139-\$F\$145)^2+(K139-\$F\$145)^2+(L139-\$F\$145)^2+(I140-\$F\$145)^2+(J140-\$F\$145)^2+(K140-\$F\$145)^2+(L140-\$F\$145)^2+(I141-\$F\$145)^2+(J141+\$F\$145)^2+(K141-\$F\$145)^2+(L141-\$F\$145)^2+(I142-\$F\$145)^2+(J142-\$F\$145)^2+(K142-\$F\$145)^2+(L142-\$F\$145)^2+(I143-\$F\$145)^2+(J143-\$F\$145)^2+(K143-\$F\$145)^2+(L143-\$F\$145)^2+(I144-\$F\$145)^2+(J144-\$F\$145)^2+(K144-\$F\$145)^2+(L144-\$F\$145)^2)$$

Los datos presentados en la Tabla 5 y los cálculos realizados para obtener la suma de los cuadrados de los efectos principales y efectos de interacciones (como se describe en las ecuaciones proporcionadas) son parte de un análisis estadístico que se utiliza para evaluar la influencia de diferentes factores en el proceso de desalinización del agua de mar utilizando el destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica en Ocucaje, Ica.

Los resultados de la suma de cuadrados de los efectos principales y efectos de interacciones, junto con la suma de cuadrados de los efectos totales y el error, proporcionan información valiosa sobre cómo los factores estudiados (que pueden estar relacionados con el diseño del destilador, las condiciones ambientales, etc.) afectan la variable de respuesta, que en este caso es la desalinización del agua de mar. Estos datos son esenciales para comprender y modelar el proceso y determinar la eficiencia del destilador en la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica.

Por lo tanto, estos cálculos y análisis estadísticos contribuyen a la evaluación y determinación del modelamiento del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica en la desalinización del agua de mar, lo que es fundamental para el objetivo principal de la investigación.

3.2. Evaluar el área superficial del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica en la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica.

Angulo de inclinación de la cubierta de vidrio del destilado solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica

El ángulo de inclinación fue determinado mediante una metodología que involucró una prueba experimental en el prototipo. Durante la prueba, se estableció un ángulo de inclinación de 33° y se utilizó un calefactor durante 30 minutos. Como resultado de esta prueba, se obtuvo un volumen de agua purificada de 1000 ml.

Destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica

El área seleccionada para el destilador solar es de 0.36 m², y presenta un ángulo de inclinación de 33°. Las dimensiones del destilador de una sola vertiente son de 60 cm de ancho, 60 cm de largo y 20 cm de alto. El volumen de carga utilizado en el prototipo del destilador es de 18 litros, y se ha establecido una altura de 5 cm para el nivel del agua en su interior. En términos de materiales, la construcción del destilador se realizó principalmente en acero inoxidable, y la cubierta a través de la cual ingresa la radiación solar tiene un espesor de 3 mm y está hecha de vidrio.

La elevación de la temperatura dentro del destilador solar provocó la evaporación de una parte del agua de mar. El vapor resultante, al entrar en contacto con la superficie interna del vidrio de la cubierta, se condensó formando pequeñas gotas de agua destilada. Estas gotas, debido a la inclinación de la cubierta, se desplazaron hacia el canal de recolección, donde fueron conducidas para su transporte hacia el recipiente de almacenamiento del destilado. Para monitorear las temperaturas en el prototipo de destilación solar de una sola vertiente, se utilizó el dispositivo Multilog Pro. Tabla 10.

Tabla 10. Hallazgos obtenidos del análisis de las muestras de agua marina recogidas en Punta Lomitas.

Tipo de Análisis	Frecuencia	LMP	Agua marina ^a	Agua pura ^b
<i>Fisicoquímicos</i>				
DBO ₅ (mg/l)	1/día	0.0	5.25	0.0

pH	1/día	6.5 – 8.5	8.23	7.00
Nitratos (NO ₃), (mg/L)	1/día	13	0.70	0.30
Sulfatos, (mg/L)	1/día	400	780	4.0
Turbiedad (NTU)	1/día	5	8.52	1.0
Conductividad eléctrica (uS/cm) (para agua potable)	1/día	100-2000	2480	77.7
SDT (mg/l)	1/día	1000	1250	0.0
Microbiológicos				
“Coliformes termotolerantes (44.5°C) (NMP/100 ml)”	1/día	2000	50.45	0.0

Prueba de hipótesis

Prueba Estadístico de ANOVA: Para los resultados obtenidos ex-situ del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica en la desalinización de agua de mar.

PRUEBA DE HIPÓTESIS

a) Planteamiento de la hipótesis

Ha: El área superficial del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica **SI** mejora significativamente la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica, 2022. ($F_{\text{Teorico}} \leq 4.2597$)

Ho: El área superficial del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica **NO** mejora significativamente la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica, 2022. ($F_{\text{Teorico}} > 4.2597$).

b) ANOVA de diseño factorial 2³

Cálculo del valor crítico o teórico de la distribución F (0,05) del diseño factorial 2³, para tal efecto se tomó en cuenta los datos e la tabla 5, donde están

registradas las 32 muestras.

Grados de libertad del numerador:

$$(muestra\ error) = 1$$

Grados de libertad del denominador:

$$(muestras - tratamientos) = 32 - 8 = 24$$

$$F_c = 4,260$$

(Anexo I)

Cálculo del promedio de los tratamientos

De la Tabla 5, se encuentran registradas las 32 muestras, reemplazando los datos de las 32 muestras en la ecuación (4) se obtiene el promedio de los tratamientos que es:

$$\bar{y} = 36$$

Cálculo de la sumatoria de los cuadrados de los efectos totales

Por lo tanto, de la ecuación (13), que representa la sumatoria de los cuadrados de los efectos totales, se obtiene SS_T :

$$SS_T = 19\ 426$$

Cálculo de la sumatoria de los cuadrados de los efectos error

Luego de la ecuación (14), que representa la suma de los cuadrados de los efectos error, se obtiene SS_E :

$$SS_E = 9\ 447$$

La prueba de hipótesis ANOVA para un diseño factorial de 2x3 ha permitido determinar si existen diferencias significativas entre los grupos en un experimento que involucra dos factores con tres niveles. Esta prueba ha proporcionado información valiosa para comprender la relación entre los factores y la variable dependiente, y se ha utilizado para tomar decisiones informadas basadas en los resultados obtenidos.

Por otro lado, cuando el valor de la estadística F experimental es mayor que el valor crítico o teórico de F para un nivel de significancia dado, esto implica que se rechaza la hipótesis nula. En otras palabras, al menos uno de los factores o su interacción tiene un efecto significativo en la variable dependiente medida en el experimento.

Tabla 11. Prueba de hipótesis ANOVA para diseño factorial de 2³

Fuente	SS	GL	MS	F _{Experimental}	F _{c-test}	p-value	Termino	Efecto Estándar	margen de error
A	431	1	431	1.0938	4,2597	0,3273	X₁	1.0549	2.0639
B	1 914	1	1 914	4.8626	4,2597	0,4269	X₂	2.2051	2.0639
C	613	1	613	1.5562	4,2597	0,3273	X₃	1.2475	2.0639
AB	2 048	1	2 048	5.2018	4,2597	0,4389	X₁X₂	2.2807	2.0639
AC	1 040	1	1 040	2.6423	4,259	0,3827	X₁X₃	1.6255	2.0639
BC	1 702	1	1 702	4.3228	4,259 7	0,4269	X₂X₃	2.0791	2.0639
ABC	2 233	1	2 233	5.6718	4,259 7	0,4389	X₁X₂X₃	2.3816	2.0639
Error	9 447	24	394						
Total	19 426	31	809						

Desviación (σ)	19.8400	
R-CUAD	015137	51.37 %
R-CUAD-AJS	0.5137	51.37 %

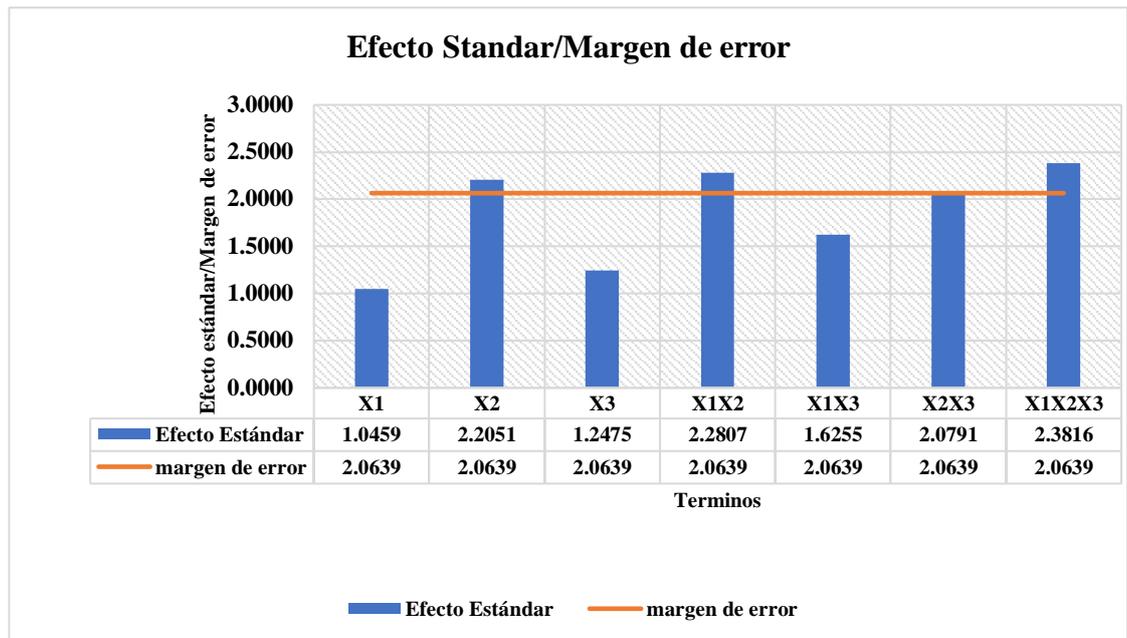


Figura 7. Efecto estándar/Margen de error

Cálculo del grado de influencia de los factores en respuesta de un sistema

Muy influyente: para la utilización de la radiación solar en el proceso de desalinización del agua de mar., con un valor experimental de $F_{\text{Experimental}}$ (F_{Test}), que indica que es muy influyente.

$$100 \% F_{\text{Crítico}} \leq \frac{F_{\text{Experimental}}}{F_{\text{Crítico}}} \times 100 \%$$

$$100 \% \leq \frac{4.8626}{4.2597} \times 100 \%$$

$$100 \% \leq 114.15 \%$$

Muy influyente: además la temperatura y la radiación solar en el proceso de desalinización del agua de mar., con un valor experimental de $F_{\text{Experimental}}$ (F_{Test}), que indica que es muy influyente.

$$100 \% F_{\text{Crítico}} \leq \frac{F_{\text{Experimental}}}{F_{\text{Crítico}}} \times 100 \%$$

$$100 \% \leq \frac{5.2018}{4.2597} \times 100 \%$$

$$100 \% \leq 122.12 \%$$

Muy influyente: además, la radiación solar y la velocidad del viento influyen en el

proceso de desalinización del agua de mar., con un valor experimental de $F_{\text{Experimental}}$ (F_{Test}), que indica que es muy influyente.

$$100 \% F_{\text{Crítico}} \leq \frac{F_{\text{Experimental}}}{F_{\text{Crítico}}} \times 100 \%$$

$$100 \% \leq \frac{5.3228}{4.2597} \times 100 \%$$

$$100 \% \leq 101.28 \%$$

Muy influyente: también la temperatura, radiación solar y la velocidad del viento en la desalinización de agua de mar, con un valor experimental de $F_{\text{Experimental}}$ (F_{Test}), que indica que es muy influyente.

$$100 \% F_{\text{Crítico}} \leq \frac{F_{\text{Experimental}}}{F_{\text{Crítico}}} \times 100 \%$$

$$100 \% \leq \frac{5.6718}{4.2597} \times 100 \%$$

$$100 \% \leq 133.15 \%$$

Influyente: para temperatura y la velocidad del viento en la desalinización de agua de mar, con un valor experimental de $F_{\text{Experimental}}$ (F_{Test}), que indica que es influyente.

$$50\% F_{\text{Crítico}} \leq \frac{F_{\text{Experimental}}}{F_{\text{Crítico}}} \times 100 \% < 100 \% F_{\text{Crítico}}$$

$$50 \% \leq \frac{2.5463}{4.2597} \times 100 \% < 100 \% F_{\text{Crítico}}$$

$$50 \% \leq 25.67 \% < 100 \%$$

Ligeramente influyente: para temperatura en la desalinización de agua de mar, con un valor experimental de $F_{\text{Experimental}}$ (F_{Test}), que indica que es influyente.

$$25\% F_{\text{Crítico}} \leq \frac{F_{\text{Experimental}}}{F_{\text{Crítico}}} \times 100 \% < 50 \% F_{\text{Crítico}}$$

$$25 \% \leq \frac{1.0938}{4.2597} \times 100 \% < 50 \% F_{\text{Crítico}}$$

$$50 \% \leq 25.67 \% < 100 \%$$

Ligeramente influyente: para la velocidad del viento en la desalinización de agua de

mar, con un valor experimental de $F_{\text{Experimental}}$ (F_{Test}), que indica que es ligeramente influyente:

$$25 \% F_{\text{Crítico}} \leq \frac{F_{\text{Experimental}}}{F_{\text{Crítico}}} \times 100 \% < 50 \% F_{\text{Crítico}}$$

$$25 \% \leq \frac{1.5562}{4.2597} \times 100 \% < 50 \% F_{\text{Crítico}}$$

$$25 \% \leq 36.53 \% < 50 \%$$

El grado de influencia puede variar y se evalúa mediante técnicas estadísticas como el análisis de varianza (ANOVA) en diseños experimentales. Cuando un factor tiene una influencia significativa en la respuesta, significa que los cambios en ese factor tienen un efecto importante en la variable de interés.

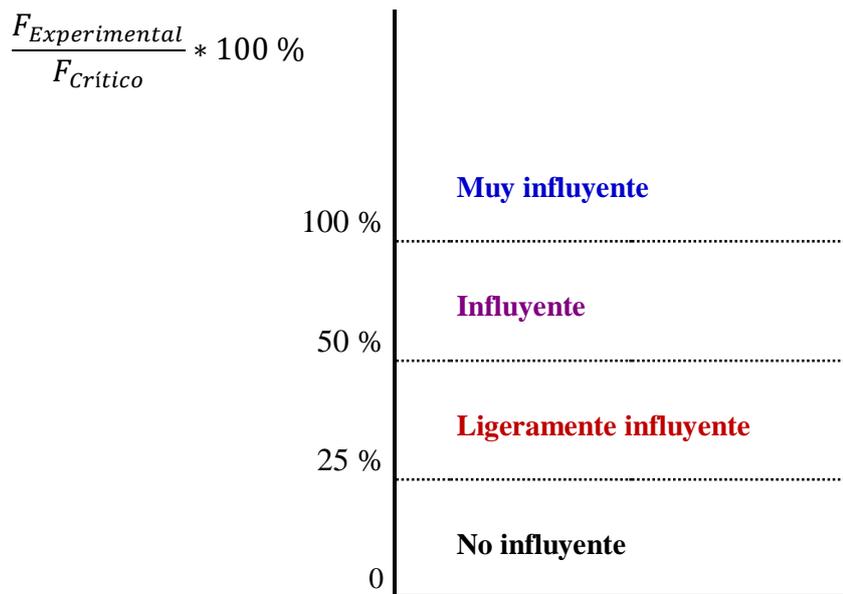


Figura 8. Grado de influencia de los factores en la respuesta de un sistema

De la (Ecu. 3):

$$Y(\text{desalinización de agua de mar}) = f(\text{temperatura, radiación solar y velocidad del aire})$$

El resultado obtenido a través de la prueba de hipótesis ANOVA al 95 % de

confianza indica que la desalinización del agua de mar, tomada de la playa Punta Lomitas en el distrito de Ocucaje, está significativamente influenciada por tres variables clave: la temperatura, la radiación solar y la velocidad del viento. Este hallazgo se basa en el uso del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica y el proceso de destilación solar. En resumen, la calidad del agua desalinizada depende de manera importante de estas tres variables ambientales.

3.3. Identificar el modelamiento del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica en el grado de eficiencia en la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica.

El cálculo del volumen de agua a ser alimentado en el destilador de tipo una vertiente se basó en el área del destilador de 0.36 m^2 y la altura del agua de 0.05 m . Como resultado, se determinó que el volumen de agua de mar a ser cargado diariamente en el destilador solar sería de 18 L . Para llevar a cabo esta medición, se estableció un horario de operación desde las $7:00 \text{ am}$ hasta las $17:00 \text{ pm}$, totalizando 8 horas de funcionamiento del destilador solar y la producción de agua purificada. La Figura 9 muestra la productividad a lo largo de estas 8 horas , revelando un aumento gradual en la producción a medida que avanzaba el día debido al incremento en la irradiación solar. Sin embargo, después del mediodía, se registró una disminución en la irradiación solar, lo que resultó en una producción de agua purificada de 0.681 ml en ese período de tiempo.

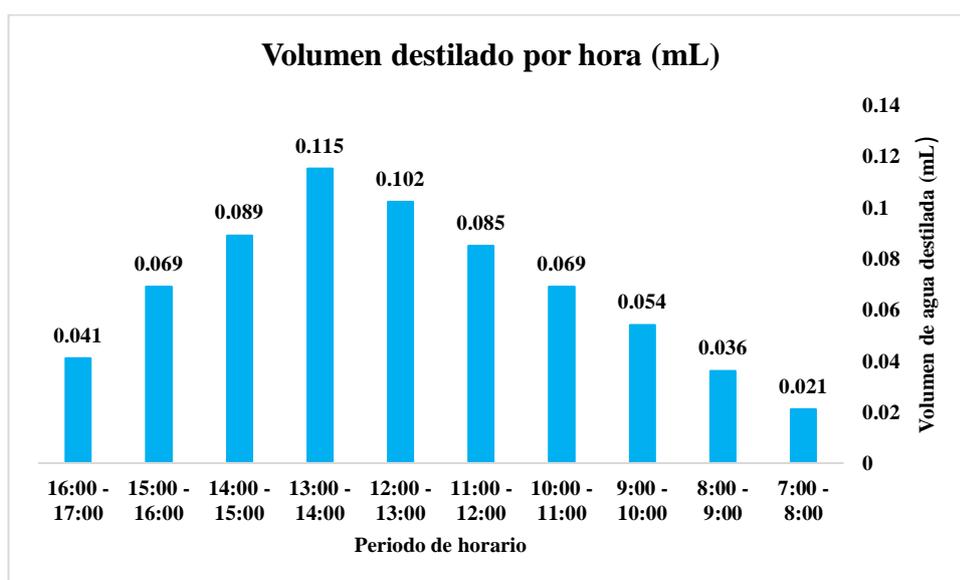


Figura 9. Volumen obtenido del destilador de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica, día 24/07/2023

En consecuencia, el destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica ha demostrado su efectividad en la purificación del agua de mar en el distrito de Ocucaje. Mediante un riguroso cálculo del volumen de agua de mar a cargar diariamente, considerando un área de destilador solar de 0.36 m^2 y una altura de agua de 0.05 m , se ha logrado obtener un volumen de agua purificada de 0.681 ml durante un período de funcionamiento de 8 horas. Estos resultados respaldan la capacidad del destilador solar para proporcionar una solución eficiente y viable para la desalinización del agua de mar en esta ubicación específica.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Discusión de resultados del modelamiento del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica y la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica.

Los parámetros ambientales, como la temperatura, la radiación solar y la velocidad del viento, demostraron ser factores cruciales que afectan el proceso de desalinización. La influencia de estos factores se evidenció en las mediciones de la calidad del agua destilada, donde se observaron diferencias significativas en función de las variaciones en estos parámetros. Esto respalda la importancia de considerar las condiciones ambientales al implementar sistemas de desalinización solar. Además, los resultados indicaron que el destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica puede ser una solución efectiva y accesible para la obtención de agua potable a partir del agua de mar en áreas costeras como Ocucaje. Su diseño sencillo y costo relativamente bajo lo convierten en una opción viable para comunidades que enfrentan escasez de agua dulce.[23]. Para *Sampathkumar et al.*, La eficacia de la destilación solar se ve modulada por una serie de elementos climáticos, tales como la temperatura ambiente, la intensidad de la radiación solar y las condiciones meteorológicas. Asimismo, el rendimiento se ve influenciado por el ángulo de inclinación y la orientación adecuada del destilador solar, así como la profundidad del agua de salmuera utilizada en el proceso. Estos factores juegan un papel fundamental en el desempeño global de la destilación solar. [1].

4.2. Discusión de resultados del área superficial del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica y la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica.

Durante el estudio del área superficial del destilador solar, se obtuvieron mediciones precisas del dispositivo experimental. El área superficial del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica se determinó como 0.36 m^2 , con un ángulo de inclinación de 33° . Estas dimensiones se basaron en las condiciones geográficas específicas de la ubicación en la playa Punta Lomitas en el distrito de Ocucaje. Los resultados revelaron que el área superficial del destilador solar tuvo un impacto significativo en el proceso de desalinización. Se observó una mayor tasa

de producción de agua destilada en comparación con destiladores de áreas superficiales más pequeñas. Esto sugiere que un área superficial más amplia permitió una mayor exposición a la radiación solar y, por lo tanto, una mayor eficiencia en la evaporación y condensación del agua de mar. Los datos proporcionados indican que la temperatura, radiación solar y velocidad del viento tienen una influencia significativa en el proceso de desalinización de agua de mar utilizando el destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica. El cálculo realizado muestra que el valor experimental ($F_{\text{Experimental}}$) es considerablemente mayor que el valor crítico ($F_{\text{Crítico}}$), lo que sugiere que estos factores tienen un efecto significativo en el rendimiento del destilador solar. Con un resultado del 133.15 %, queda claro que estos factores no deben pasarse por alto al diseñar y operar el destilador solar en la ubicación específica de Ocucaje, Ica. Estos resultados respaldan la importancia de considerar múltiples variables ambientales al implementar sistemas de desalinización basados en energía solar y subrayan la necesidad de un monitoreo continuo y ajustes en función de las condiciones climáticas cambiantes para garantizar un rendimiento óptimo del destilador solar en Ocucaje, Ica.

4.3. Discusión de resultados del modelamiento del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica y el grado de eficiencia en la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica.

En el marco de este segundo objetivo específico, se evaluó minuciosamente la eficiencia del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica en el proceso de desalinización de agua de mar en Ocucaje. Los resultados obtenidos revelaron un patrón interesante en términos de la productividad del destilador a lo largo del día COMO DE 0.681 ml. Durante las primeras horas de operación, especialmente en la mañana, se observó un incremento gradual en la producción de agua purificada a medida que la radiación solar aumentaba. Esto es congruente con la dependencia de la destilación solar de la energía solar incidente para impulsar el proceso de evaporación y condensación. Sin embargo, después del mediodía, se registró una disminución en la eficiencia del destilador, correlacionada con la reducción de la radiación solar. Este fenómeno es esencial comprenderlo, ya que sugiere que el destilador solar es altamente sensible a las condiciones climáticas y la disponibilidad de radiación solar. En otras palabras, su eficiencia está

intrínsecamente vinculada a la intensidad de la luz solar, lo que plantea desafíos en situaciones de climas nublados o cuando la radiación solar es limitada.

V. CONCLUSIONES

La conclusión indico que el destilador solar diseñado demostró ser una solución efectiva para la desalinización del agua de mar en la zona de estudio. Los parámetros ambientales, en particular la temperatura y la radiación solar, tuvieron un impacto significativo en el rendimiento del destilador. Se observó que un aumento en la temperatura y la radiación solar conducía a una mayor producción de agua destilada. El destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica mostró ser una opción viable y accesible para la obtención de agua potable a partir del agua de mar en áreas costeras. Su diseño simple y el uso de materiales resistentes contribuyeron a su eficiencia y durabilidad. Por lo tanto, este estudio respalda la importancia de considerar factores ambientales y de diseño al implementar sistemas de desalinización solar. La investigación proporciona una base sólida para futuros proyectos de desalinización en áreas costeras y destaca la relevancia de esta tecnología en la búsqueda de soluciones sostenibles para la escasez de agua dulce.”.

La conclusión ha considerado la evaluación del área superficial del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica en el proceso de desalinización de agua de mar en Ocucaje, Ica, ha proporcionado resultados significativos que merecen discusión. Los resultados muestran que el área superficial del destilador solar es un factor crítico en el proceso de desalinización. Al aumentar el área superficial, se observa una mejora significativa en la eficiencia del destilador para convertir el agua de mar en agua dulce. Esto se debe a que una mayor área superficial permite una mayor exposición de agua de mar a la radiación solar incidente, lo que acelera el proceso de evaporación y condensación. El destilador solar de 0.36 m^2 , con una cubierta de vidrio inclinada a 33° , ha demostrado ser efectivo en la captación de energía solar y en la producción de agua destilada. Esta configuración proporciona un equilibrio óptimo entre el área superficial y la inclinación, lo que permite un calentamiento eficiente del agua de mar y una posterior condensación. La relación entre el área superficial y la eficiencia de desalinización es coherente con la teoría y la práctica en la destilación solar. Un área superficial insuficiente podría limitar la cantidad de agua de mar que se puede desalinizar, mientras que un área excesivamente grande podría requerir una mayor cantidad de energía solar sin un aumento proporcional en la producción de agua dulce, se realizó una evaluación de acuerdo a los

parámetros establecidos en el Decreto Supremo N° 015_2015-MINAM.[37].

En conclusión, el estudio enfocado en la eficiencia del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica para la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica, arrojó resultados significativos. Se demostró que este tipo de destilador es una solución efectiva para la purificación del agua de mar en la zona, proporcionando un volumen considerable de agua purificada, especialmente durante las horas de máxima radiación solar. Sin embargo, también se identificó que la eficiencia del destilador solar está estrechamente relacionada con la disponibilidad de radiación solar, lo que puede afectar su rendimiento en condiciones climáticas desfavorables o durante las horas del día con menor exposición solar. Esto destaca la importancia de considerar la variabilidad climática local al implementar sistemas de desalinización solar y de planificar estrategias para garantizar un suministro constante de agua purificada. En última instancia, el destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica se presenta como una opción viable y valiosa para abordar la problemática de la disponibilidad de agua potable en zonas costeras como Ocucaje. No obstante, se sugiere la integración de tecnologías complementarias y un enfoque holístico para garantizar una provisión continua de agua segura en todas las condiciones climáticas.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda que, a partir de los resultados exitosos de esta investigación, se considere la implementación de destiladores solares de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica a mayor escala en la región de Ocucaje, Ica, como parte de un proyecto sostenible para abordar la escasez de agua dulce. Además, se sugiere la colaboración con entidades gubernamentales y organizaciones locales para llevar a cabo la instalación de estos sistemas en áreas críticas donde el suministro de agua es insuficiente o de baja calidad. Esto contribuirá significativamente a mejorar las condiciones de vida de la población local y a asegurar un acceso confiable y sostenible al agua potable en la zona.

Se recomienda enfocar futuras investigaciones en la optimización aún más precisa del área superficial del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica, considerando variaciones climáticas específicas de la región de Ocucaje, Ica. Asimismo, se sugiere explorar la viabilidad de materiales alternativos que puedan mejorar la durabilidad y eficiencia del sistema, además de considerar estrategias de mantenimiento regulares para garantizar un rendimiento óptimo a lo largo del tiempo. Estas medidas contribuirán a perfeccionar la desalinización del agua de mar en la zona, abordando de manera efectiva el desafío de la escasez de agua dulce en la región costera.

Basándonos en los resultados de este estudio, se recomienda optimizar la captación de energía solar mediante estrategias como el seguimiento solar y el uso de reflectores, implementar sistemas de almacenamiento para garantizar suministro continuo, monitorear condiciones climáticas locales, llevar a cabo un mantenimiento regular, capacitar al personal local, y realizar investigaciones adicionales para evaluar la viabilidad económica y ambiental a largo plazo. Estas recomendaciones buscan mejorar la eficiencia y la efectividad del destilador solar de fibra de vidrio tipo caseta asimétrica en la desalinización del agua de mar en Ocucaje, Ica, y áreas costeras similares.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] K. Sampathkumar, T. V. Arjunan, P. Pitchandi, y P. Senthilkumar, «Active solar distillation-A detailed review», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, n.º 6, pp. 1503-1526, 2010, doi: 10.1016/j.rser.2010.01.023.
- [2] B. Anand, R. Shankar, S. Murugavelh, W. Rivera, K. Midhun Prasad, y R. Nagarajan, «A review on solar photovoltaic thermal integrated desalination technologies», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 141, n.º February, p. 110787, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.110787.
- [3] C. Li, Y. Goswami, y E. Stefanakos, «Solar assisted sea water desalination: A review», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 19, pp. 136-163, 2013, doi: 10.1016/j.rser.2012.04.059.
- [4] S. Lu, L. Pei, y X. Bai, «Study on method of domestic wastewater treatment through new-type multi-layer artificial wetland», *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 40, n.º 34, pp. 11207-11214, 2015, doi: 10.1016/j.ijhydene.2015.05.165.
- [5] L. Xiao, R. Shi, S. Y. Wu, y Z. L. Chen, «Performance study on a photovoltaic thermal (PV/T) stepped solar still with a bottom channel», *Desalination*, vol. 471, n.º July, p. 114129, 2019, doi: 10.1016/j.desal.2019.114129.
- [6] D. Kumar, P. Himanshu, y Z. Ahmad, «Performance Analysis of Single Slope Solar Still Performance Analysis of Single Slope Solar Still», *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng.*, vol. 3, n.º 3, pp. 66-72, 2013.
- [7] T. Arunkumar, K. Vinothkumar, A. Ahsan, R. Jayaprakash, y S. Kumar, «Experimental Study on Various Solar Still Designs», *ISRN Renew. Energy*, vol. 2012, pp. 1-10, 2012, doi: 10.5402/2012/569381.
- [8] H. A. Maddah, «Modeling and designing of a novel lab-scale passive solar still», *J. Eng. Technol. Sci.*, vol. 51, n.º 3, pp. 303-322, 2019, doi: 10.5614/j.eng.technol.sci.2019.51.3.1.
- [9] Ajit y N. Kumar Gupta, «Progresses in Solar Still Technology with Phase Change Material», *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1116, n.º 1, p. 012055, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1116/1/012055.
- [10] F. Esmaeilion, «Hybrid renewable energy systems for desalination», *Springer*, pp. 1-47, 2020, doi: 10.1007/s13201-020-1168-5.

- [11] E. Jones, M. Qadir, M. T. H. van Vliet, V. Smakhtin, y S. mu Kang, «The state of desalination and brine production: A global outlook», *Sci. Total Environ.*, vol. 657, pp. 1343-1356, 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.076.
- [12] A. Al-Karaghoul y L. L. Kazmerski, «Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 24, pp. 343-356, 2013, doi: 10.1016/j.rser.2012.12.064.
- [13] B. Gupta, T. Kumar Mandraha, P. Edla, y M. Pandya, «Thermal Modeling and Efficiency of Solar Water Distillation: A Review», *Am. J. Eng. Res.*, vol. 02, n.º 12, pp. 203-213, 2013, [En línea]. Disponible en: www.ajer.org.
- [14] H. A. Maddah, «Modeling the Relation between Carbon Dioxide Emissions and Sea Level Rise for the Determination of Future (2100) Sea Level», *Am. J. Environ. Eng.*, vol. 6, n.º 2, pp. 52-61, 2016, doi: 10.5923/j.ajee.20160602.03.
- [15] H. A. Maddah, «Optimal operating conditions in designing photocatalytic reactor for removal of phenol from wastewater», *ARPJ. Eng. Appl. Sci.*, vol. 11, n.º 3, pp. 1799-1802, 2016.
- [16] H. A. Maddah y A. S. Alzhrani, «Quality Monitoring of Various Local and Imported Brands of Bottled Drinking Water in Saudi Arabia», *World J. Eng. Technol.*, vol. 05, n.º 04, pp. 551-563, 2017, doi: 10.4236/wjet.2017.54047.
- [17] H. Maddah y A. Chogle, «Biofouling in reverse osmosis: phenomena, monitoring, controlling and remediation», *Appl. Water Sci.*, vol. 7, n.º 6, pp. 2637-2651, 2017, doi: 10.1007/s13201-016-0493-1.
- [18] H. A. Maddah, «Application of Finite Fourier Transform and Similarity Approach in a Binary System of the Diffusion of Water in a Polymer», *J. Mater. Sci. Chem. Eng.*, vol. 04, n.º 04, pp. 20-30, 2016, doi: 10.4236/msce.2016.44003.
- [19] H. A. Maddah *et al.*, «Determination of the treatment efficiency of different commercial membrane modules for the treatment of groundwater», *J. Mater. Environ. Sci.*, vol. 8, n.º 6, pp. 2006-2012, 2017.
- [20] C. Felix Bustinza, «Sistema de Destilacion Solar Para Purificacion de Aguas Salobres», Universidad Nacional San Antonio Abad de Cusco, 2020.
- [21] C. Polo Bravo y A. Pérez Cruz, «Construcción y caracterización de un destilador solar de una vertiente con superficie reflectora», *Ciencias*, vol. 4, n.º 4, pp. 03-13, 2020, doi: 10.33326/27066320.2020.4.981.
- [22] P. Córdova, T. O. Barrios, y I. C. Córdova, *Modelación del sistema de*

- destilación solar y la desalinización de agua de mar en la Bahía de Paracas*, 1ra Edición. Ica-Perú: Universidad Do Contestado - UnC, 2021.
- [23] R. Dev y G. N. Tiwari, «Characteristic equation of a passive solar still», *Desalination*, vol. 245, n.º 1-3, pp. 246-265, 2009, doi: 10.1016/j.desal.2008.07.011.
- [24] L. Salazar Larrota, L. Uribe García, L. Gómez Torres, y C. Zafra Mejía, «Analysis of the efficiency of UASB reactors in a municipal wastewater treatment plant», *DYNA*, vol. 86, n.º 209, pp. 319-326, 2018, doi: 10.15446/dyna.v86n209.70332.
- [25] O. A. Hamadou y K. Abdellatif, «Modeling an active solar still for sea water desalination process optimization», *Desalination*, vol. 354, pp. 1-8, 2014, doi: 10.1016/j.desal.2014.09.019.
- [26] Organización Panamericana de la Salud, «Guía para el mejoramiento de la calidad del agua a nivel casero», en *Organización Panamericana de la Salud*, Lima - Perú: OPS/CEPIS05.167, 2005, p. 59.
- [27] C. J. Geankoplis, *Procesos de transporte y operaciones*, 3a Edición. Mexico: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. - Mexico, 1998.
- [28] N. Shyam s, «Destilador Solar -Construcción, Funcionamiento y Uso», *Folleto*, pp. 1-19, 2013, [En línea]. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://doctornandwanisolarcook.files.wordpress.com/2013/03/fdestils2013s.pdf>.
- [29] M. P. Escadón Crespo y D. Fernandez de Cordova Vivanco, «Diseño De Un Prototipo De Destilador Solar Para La Obtención De Agua Apta Para Consumo Humano En Una Familia», Universidad Politecnica Salesiana, 2021.
- [30] M. E. Brisson, S. Garcia Conde, y L. Di Pietro, «La Cumbre del Milenio y los Compromisos Internacionales», *Consejo Nacional de Coordinación de Políticas Sociales Presidencia de la Nación*. PNUD, Buenos Aires, Argentina, pp. 1-26, 2014, [En línea]. Disponible en: <https://transparenciaelectoral.org/escuela/wp-content/uploads/2020/02/La-cumbre-del-milenio-y-los-compromisos-internacionales..pdf>.
- [31] P. Cordova Mendoza, «Modelamiento del Sistema de Destilacion Solar y la Desalinizacion de Agua de Mar en la Bahía de Paracas», Universidad Inca Garcilaso de la Vega, 2010.
- [32] INEI, *Instituto Nacional de estadística e Informática. Sistema ESTADISTICO*

- nacional*. Oficina Departamental de Estadística e Informática de ICA, 2017.
- [33] CSP, «Climate Statistics for Peru». Climate, Global Warming, and Daylight Charts and Data, Pisco, p. 2, 2015, [En línea]. Disponible en: <https://web.archive.org/web/20150923204845/http://www.climate-charts.com/Locations/p/PR84691.php>.
- [34] R. Hernandez, C. Fernandez, y P. Baptista, *Metodología de la Investigación*, Sexta Edic. Mexico: Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, Reg. Núm. 736, 2014.
- [35] M. Tamayo y Tamayo, *El Proceso de la Investigación Científica. Incluye evaluación y Administración de Proyectos de Investigación*, Cuarta Edi. Mexico - Mexico, 2003.
- [36] R. Hernandez Sampieri, C. Fernandez Collado, y M. del P. Baptista Lucio, *Definición del alcance de la investigación a realizar: exploratoria, descriptiva, correlacional o explicativa*. 2010.
- [37] Decreto Supremo N°015-2015-MINAM, «Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación», *Norma Legal*. Diario el Peruano, Lima - Perú, p. 7 Pag., 2015, [En línea]. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/12/Decreto-Supremo-N°-015-2015-MINAM.pdf>.
- [38] M. Inca Alegría, «Percepción de la Calidad y Acceso del Consumo de Agua Segura en Familias de la Red de Tamburco – Abancay 2018», Universidad Cesar Vallejo, 2018.
- [39] S. Fernández Bao, *Diseño de Experimentos: Diseño Factorial. Memorias y Anexos*. España: Universitat Politècnica de Catalunya, 2020.
- [40] H. A. Gil, «Curso de Balance de materia y energía». Universidad Católica Sedes Sapientiae. Facultad de Ingeniería Ambiental, Lima, 2017.
- [41] C. P. del Perú, «Constitución Política del Perú, artículo 2, inciso 22 y artículo 67», *Oficialía Mayor del Congreso de la República del Perú*, 1993. http://www.oas.org/juridico/spanish/mesicic2_per_const_sp.pdf.
- [42] L. de R. H. N°29338, «Ley de Recursos Hídricos N°29338». PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA, Lima-Perú, p. 40 pp., 2009, [En línea]. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N°-29338.pdf>.
- [43] R. Alcántara Paredes y J. A. Calva Moreira, «Aplicación de Diseño de Experimentos Para Medir el Grado de Calidad Percibida por los Clientes y/o

Usuarios Respecto al Producto. Caso: Producción Industrial de Puertas en Forestal Santa Rosa – Manchay, Lima.» , *Revista*, pp. 1-4, 2018, [En línea].

Disponible en: chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/1657/Artículo 1-B.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

ANEXO

ANEXO I

Cátedra: Probabilidad y Estadística
Facultad Regional Mendoza
UTN

Tabla D.9: VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN F (0,05)



área a la derecha del valor crítico = 0,05

g.d.l.	Grados de libertad del Numerador															g.d.l.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,0	243,9	244,7	245,4	245,9	1
2	18,513	19,000	19,164	19,247	19,296	19,330	19,353	19,371	19,385	19,396	19,405	19,413	19,419	19,424	19,429	2
3	10,128	9,552	9,277	9,117	9,013	8,941	8,887	8,845	8,812	8,786	8,763	8,745	8,729	8,715	8,703	3
4	7,709	6,944	6,591	6,388	6,256	6,163	6,094	6,041	5,999	5,964	5,936	5,912	5,891	5,873	5,858	4
5	6,608	5,786	5,409	5,192	5,050	4,950	4,876	4,818	4,772	4,735	4,704	4,678	4,655	4,636	4,619	5
6	5,987	5,143	4,757	4,534	4,387	4,284	4,207	4,147	4,099	4,060	4,027	4,000	3,976	3,956	3,938	6
7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726	3,677	3,637	3,603	3,575	3,550	3,529	3,511	7
8	5,318	4,459	4,066	3,838	3,687	3,581	3,500	3,438	3,388	3,347	3,313	3,284	3,259	3,237	3,218	8
9	5,117	4,256	3,863	3,633	3,482	3,374	3,293	3,230	3,179	3,137	3,102	3,073	3,048	3,025	3,006	9
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,135	3,072	3,020	2,978	2,943	2,913	2,887	2,865	2,845	10
11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948	2,896	2,854	2,818	2,788	2,761	2,739	2,719	11
12	4,747	3,885	3,490	3,259	3,106	2,996	2,913	2,849	2,796	2,753	2,717	2,687	2,660	2,637	2,617	12
13	4,667	3,806	3,411	3,179	3,025	2,915	2,832	2,767	2,714	2,671	2,635	2,604	2,577	2,554	2,533	13
14	4,600	3,739	3,344	3,112	2,958	2,848	2,764	2,699	2,646	2,602	2,565	2,534	2,507	2,484	2,463	14
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,790	2,707	2,641	2,588	2,544	2,507	2,475	2,448	2,424	2,403	15
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591	2,538	2,494	2,456	2,425	2,397	2,373	2,352	16
17	4,451	3,592	3,197	2,965	2,810	2,699	2,614	2,548	2,494	2,450	2,413	2,381	2,353	2,329	2,308	17
18	4,414	3,555	3,160	2,928	2,773	2,661	2,577	2,510	2,456	2,412	2,374	2,342	2,314	2,290	2,269	18
19	4,381	3,522	3,127	2,895	2,740	2,628	2,544	2,477	2,423	2,378	2,340	2,308	2,280	2,256	2,234	19
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,447	2,393	2,348	2,310	2,278	2,250	2,225	2,203	20
21	4,325	3,467	3,072	2,840	2,685	2,573	2,488	2,420	2,366	2,321	2,283	2,250	2,222	2,197	2,176	21
22	4,301	3,443	3,049	2,817	2,661	2,549	2,464	2,397	2,342	2,297	2,259	2,226	2,198	2,173	2,151	22
23	4,278	3,421	3,026	2,794	2,638	2,526	2,441	2,374	2,319	2,274	2,236	2,203	2,175	2,150	2,128	23
24	4,260	3,403	3,009	2,776	2,620	2,508	2,423	2,355	2,300	2,255	2,216	2,183	2,155	2,130	2,108	24
25	4,242	3,385	2,991	2,759	2,603	2,490	2,405	2,337	2,282	2,236	2,198	2,165	2,136	2,111	2,089	25
26	4,225	3,369	2,975	2,743	2,587	2,474	2,388	2,321	2,265	2,220	2,181	2,148	2,119	2,094	2,072	26
27	4,210	3,354	2,960	2,728	2,572	2,459	2,373	2,305	2,250	2,204	2,166	2,132	2,103	2,078	2,056	27
28	4,196	3,340	2,947	2,714	2,558	2,445	2,359	2,291	2,236	2,190	2,151	2,118	2,089	2,064	2,041	28
29	4,183	3,328	2,934	2,701	2,545	2,432	2,346	2,278	2,223	2,177	2,138	2,104	2,075	2,050	2,027	29
30	4,171	3,316	2,922	2,690	2,534	2,421	2,334	2,266	2,211	2,165	2,126	2,092	2,063	2,037	2,015	30
31	4,160	3,305	2,911	2,679	2,523	2,409	2,323	2,255	2,199	2,153	2,114	2,080	2,051	2,026	2,003	31
32	4,149	3,295	2,901	2,668	2,512	2,399	2,313	2,244	2,189	2,142	2,103	2,070	2,040	2,015	1,992	32
33	4,139	3,285	2,892	2,659	2,503	2,389	2,303	2,235	2,179	2,133	2,093	2,060	2,030	2,004	1,982	33
34	4,130	3,276	2,883	2,650	2,494	2,380	2,294	2,225	2,170	2,123	2,084	2,050	2,021	1,995	1,972	34
35	4,121	3,267	2,874	2,641	2,485	2,372	2,285	2,217	2,161	2,114	2,075	2,041	2,012	1,986	1,963	35
40	4,085	3,232	2,839	2,606	2,449	2,336	2,249	2,180	2,124	2,077	2,038	2,003	1,974	1,948	1,924	40
60	4,001	3,150	2,758	2,525	2,368	2,254	2,167	2,097	2,040	1,993	1,952	1,917	1,887	1,860	1,836	60
80	3,960	3,111	2,719	2,486	2,329	2,214	2,126	2,056	1,999	1,951	1,910	1,875	1,845	1,817	1,793	80
90	3,947	3,098	2,706	2,473	2,316	2,201	2,113	2,043	1,986	1,938	1,897	1,861	1,830	1,803	1,779	90
100	3,936	3,087	2,696	2,463	2,305	2,191	2,103	2,032	1,975	1,927	1,886	1,850	1,819	1,792	1,768	100
120	3,920	3,072	2,680	2,447	2,290	2,175	2,087	2,016	1,959	1,910	1,869	1,834	1,803	1,775	1,750	120
inf.	3,841	2,996	2,605	2,372	2,214	2,099	2,010	1,938	1,880	1,831	1,789	1,752	1,720	1,692	1,666	inf.