

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

ESCUELA DE POSGRADO

**UNIDAD DE POSGRADO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA**



**“TECNOLOGÍAS EFICIENTES DE ENERGÍA SOLAR-HUMEDAD DEL
AMBIENTE PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA EN ZONAS ÁRIDAS DE
LA COSTA DE LIMA PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

AUTOR: CARLOS ALBERTO SOTELO LOPEZ

ASESOR: Dr. SANTIAGO LINDER RUBIÑOS JIMENEZ

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Callao, 2024

PERÚ



TESIS CASL ver 2.0

3%
Textos sospechosos



2% Similitudes
< 1% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
< 1% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: TESIS CASL ver 2.0.pdf
ID del documento: 54936f40c9bbd4425bc7c66426e52e5bee0b1b29
Tamaño del documento original: 5,68 MB

Depositante: FIEE PREGRADO UNIDAD DE INVESTIGACION
Fecha de depósito: 1/7/2024
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 1/7/2024

Número de palabras: 30.969
Número de caracteres: 210.531

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes de similitudes

Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	tesis.pucp.edu.pe Sistema de refrigeración con efecto Peltier y superficies exten... 2 Fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (75 palabras)
2	cimav.repositorioinstitucional.mx Item 1004/2336 Repositorio CIMAV 1 Fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (67 palabras)
3	materias.df.uba.ar 2 Fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (70 palabras)
4	www.uv.mx 1 Fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (60 palabras)
5	es.wikipedia.org Costa del Perú - Wikipedia, la enciclopedia libre	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (59 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	bibliotecadigital.oduval.com Vista Equipo: Recolección de agua líquida por cond... 1 Fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)
2	islasolar.com ¿Qué son los paneles solares y cómo funcionan? Isla Solar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)
3	repositorio.unjfsc.edu.pe	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
4	ru.dgb.unam.mx	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)
5	es.wikipedia.org Irradiancia - Wikipedia, la enciclopedia libre	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (19 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	https://www.bbc.com/mundo/vert-fut
2	https://www.accainwater.com/products?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwrcKxBhBMEI
3	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217301078
4	https://elpais.com/elpais/2016/08/01/planeta_futuro/1470047619_925392.html
5	https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN: FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

TÍTULO: “TECNOLOGÍAS EFICIENTES DE ENERGÍA SOLAR-HUMEDAD DEL AMBIENTE PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA EN ZONAS ÁRIDAS DE LA COSTA DE LIMA PERÚ”

AUTOR: CARLOS ALBERTO SOTELO LOPEZ

COD ORCID: 0000-0001-8960-6567 DNI: 07017259

ASESOR: SANTIAGO LINDER RUBIÑOS JIMENEZ

COD ORCID: 0000-0003-0095-6988 DNI: 43324583

LUGAR DE EJECUCIÓN: ZONAS ÁRIDAS DE LA COSTA DE LIMA

TIPO DE INVESTIGACIÓN: APLICADA, CUANTITATIVA EXPERIMENTAL

UNIDADES DE ANÁLISIS: ZONAS ÁRIDAS DE LA COSTA DE LIMA

TEMA OCDE: INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

MIEMBROS DEL JURADO

DR. JACOB ASTOCONDOR VILLAR:	PRESIDENTE
DR. ADÁN ALMIRCAR TEJADA CABANILLAS:	SECRETARIO
DR. ABILIO BERNARDINO CUZCANO RIVAS:	MIEMBRO
DR. CESAR AUGUSTO SANTOS:	MIEMBRO

ACTA: 17-2024

Nº DE LIBRO: 01

FOLIO: 153

FECHA DE APROBACIÓN: 28 de octubre del 2024

RESOLUCIÓN DIRECTORAL: 071-2024-DUPFIEE

DEDICATORIA

A nuestro creador que me brindó a mis padres, mis hermanos y mi familia, quienes han sido la principal motivación de superación en la vida. En especial a mi madre por ser mi guía desde mis primeros pasos.

AGRADECIMIENTO

A los doctores Santiago Rubiños y Marcelo Damas, cuyos consejos y recomendaciones me ayudaron en la elaboración y presentación de la presente tesis.

ÍNDICE

TABLA DE CONTENIDO.....	6
TABLA DE FIGURAS	8
RESUMEN	11
ABSTRACT	13
REIPILOGO	14
INTRODUCCIÓN	15
1.1 Descripción de la realidad problemática	17
1.2 Formulación del Problema.....	19
1.2.1 Principal	19
1.2.2 Específicos	19
1.3 Objetivos.....	20
1.3.1 Principal	20
1.3.2 Específicos	20
1.4 Justificación	20
1.4.1 Teórica.....	20
1.4.2 Metodológica.....	21
1.4.3 Práctica.....	21
1.4.4 Social	21
1.4.5 Por su trascendencia	22
1.5 Delimitantes de la investigación.....	22
1.5.1 Teórica.....	22
1.5.2 Espacial	22
1.5.3 Temporal.....	22
II. MARCO TEÓRICO.....	22

2.1	Antecedentes internacionales y nacionales	22
2.1.1	Internacionales.....	22
2.1.2	Nacionales	25
2.2	Bases teóricas	26
2.2.1	Energía solar.....	26
2.2.2	Paneles Solares.....	26
2.2.3	Irradiancia e irradiación solar	28
2.2.4	Eficiencia de los paneles solares	29
2.2.5	Sistemas solares aislados o autónomos OFF GRID.....	30
2.2.6	Método empleado para el análisis en un sistema de energía solar	31
2.2.7	Evolución de los costos de paneles solares en las últimas décadas	31
2.2.8	Efecto Peltier.....	33
2.2.9	Parámetros que intervienen en la condensación para la obtención de agua de la atmósfera por condensación.....	35
2.2.10	Sistema electromecánico de extracción de agua del medio ambiente ..	39
2.2.11	Determinación de la cantidad de agua condensada en litros/día.....	40
2.2.12	Índice de producción de agua WFAR mediante equipos deshumedecedores y sistemas para la obtención de agua del medio ambiente.	42
2.2.13	Análisis de máquina de producción de agua de la humedad del ambiente	44
2.2.14	Métodos de extracción de humedad del medio ambiente	47
2.2.15	Costa de Lima y niveles de humedad	49
2.2.16	Estación de mediciones y monitoreo electrónico.....	49
2.2.17	Fundamentación filosófica	50
2.3	Marco conceptual	51
2.4	Definición de términos básicos	54
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES	55
3.1	Hipótesis general y específicas	55

3.1.1	General.....	55
3.1.2	Específicas.....	55
3.1.3	Operacionalización de variables.....	56
IV.	DISEÑO METODOLÓGICO	58
4.1	Diseño de investigación.....	58
4.2	Método de investigación	58
4.3	Población y muestra	59
4.3.1	Población	59
4.3.2	Muestra.....	59
4.4	Lugar de estudio	60
4.5	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	60
4.6	Análisis y procesamiento de datos	62
4.7	Aspectos éticos en investigación	63
V.	RESULTADOS.....	63
5.1	Resultados descriptivos.....	63
5.1.1	Método de medición para la producción de volúmenes medianos de agua producidos (sistemas electromecánicos).....	63
5.1.2	Método de medición para producción de volúmenes pequeños de agua (Peltier)	69
5.1.3	Método para el análisis y estudio de las condiciones meteorológicas en el ámbito de la investigación	72
5.1.4	Comparación de rendimiento de extractores de humedad con tecnología condensados con refrigerante y tecnología Peltier	77
5.1.5	Modelo en Excel para el estudio de los procesos de generación de agua.....	82
5.1.6	Determinación del requerimiento de agua de riego por goteo en sábila y sistemas hidropónicos para arándanos.	83
5.1.7	Dimensionamiento del sistema de energía solar para la obtención de agua	

5.1.8 Modelo de tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente para la obtención de agua con el propósito de investigación.....	90
5.2 Resultados inferenciales.....	91
5.2.1 Resultados inferenciales del método de medición de agua obtenidos en forma diaria para producción de volúmenes medianos.....	92
5.2.2 Resultados inferenciales del método de medición de agua obtenidos en forma diaria para producción de volúmenes pequeños.	92
5.2.3 Resultados inferenciales del método para el análisis y el estudio de las condiciones meteorológicas en el ámbito de la investigación	92
5.2.4 Resultados inferenciales de la comparación de rendimiento de extractores de Humedad con tecnología de condensador con refrigerante y tecnología Peltier	95
5.2.5 Resultados inferenciales del modelo en Excel para el estudio de los procesos de generación de agua	95
5.2.6 Resultados inferenciales de la determinación del requerimiento de agua de riego por goteo en sábila y sistemas hidropónicos para arándanos.....	96
5.2.7 Resultados inferenciales del dimensionamiento de sistema de energía solar para la obtención de agua	96
5.3 Otros resultados	96
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	97
6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis	101
6.2 Contrastación de resultados con otros estudios similares	105
VII. CONCLUSIONES.....	105
VIII. RECOMENDACIONES	106
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
ANEXOS	115
Matriz de consistencia.....	115
Matriz corea	116

Relación matriz de consistencia – matriz corea	118
Instrumentos de recolección de datos.....	119
Equipamiento para la experimentación	121
Hoja de datos de equipamiento de sistema de energía solar.....	122
Hoja de datos de tarjeta Arduino y sensores.....	129

TABLA DE CONTENIDO

TABLA I. Humedad absoluta (HA), temperatura de rocío (TRC) para diferentes temperaturas del ambiente.....	37
TABLA II. Cálculo de la presión de saturación	41
TABLA III. Cálculo de la temperatura de rocío	41
Tabla IV. Cálculo del agua condensada en litros/día.....	42
TABLA V. Categorías de índice WFAR.....	43
TABLA VI. Producción de agua de la humedad del ambiente de la máquina CanDew 2500 TM	44
TABLA VII. Operacionalización de variable independiente 1: Energía solar.....	56
TABLA VIII. Operacionalización de variable independiente 2 : Humedad del ambiente.....	57
TABLA IX. Operacionalización de variable dependiente 1: Obtención de agua del medio ambiente	57
TABLA X. Mediciones realizadas con tecnología PELTIER.....	70
TABLA XI. Humedad Relativa mínima y máxima como se muestra en la tabla a continuación.....	73
TABLA XII. Humedad absoluta mínima y máxima	74
TABLA XIII. Índice WFAR estación Cañete 2022	76
TABLA XIV. Equipos con tecnología de Condensador con refrigerante.....	77
TABLA XV. Equipos con tecnología PELTIER	79
TABLA XVI. Estimación del consumo.....	86
TABLA XVII. Ángulo óptimo.....	87
TABLA XVIII. Generador Fotovoltaico.....	88

TABLA XIX. Capacidad en baterías	88
TABLA XX. Dimensionado del regulador	89
TABLA XXI. Dimensionado del inversor.....	89
TABLA XXII. Valores promedio de las variables en estudio	101
TABLA XXIII. Comparación de resultados obtenidos entre tecnología WFAR electromecánica y tecnología PELTIER	102
TABLA XXIV. Volúmen de agua obtenido y su relación con el cultivo de plantas de sábila y arándanos.	103
TABLA XXV. Índice de producción de agua WFAR con tecnología electromecánica, para las condiciones ambientales: temperatura, humedad relativa, humedad absoluta y su calificación.....	103
TABLA XXVI. Producción de agua durante el año 2023 de acuerdo con el modelo de estimación aplicado.....	104

TABLA DE FIGURAS

Fig. 1. Curvas del panel solar I-V en función de la irradiancia	27
Fig. 2. Curvas del panel solar I-V en función de la temperatura.....	28
Fig. 3. Representación de las horas pico de sol (HSP) asociada a la Irradiancia.....	29
Fig. 4. Corriente de carga de un panel solar durante un día	29
Fig. 5. Esquema de conexión de sistema de energía solar.....	30
Fig. 6. Información de la irradiación solar mensual en Cañete (Sur de Lima).	31
Fig. 7. Evolución del costo de paneles rango 2004 - 2022.....	32
Fig. 8. Evolución del costo de paneles rango 2013 - 2022.....	32
Fig. 9. Comportamiento básico de una célula Peltier	34
Fig. 10. Comportamiento de celdas Peltier en serie	34
Fig. 11. Humedad absoluta (g/m^3) de agua al 100% de HR.....	36
Fig. 12. Temperatura de punto de rocío a 90% de HR	37
Fig. 13. Rango de humedad absoluta en la costa de Lima	38
Fig. 14. Diagrama de un sistema electromecánico de extracción de agua del medio ambiente.	40
Fig. 15. Categorías de índice WFAR para un grupo de ciudades.	44
Fig. 16. Relación entre la Densidad de vapor de agua y la producción de agua en Litros/día	46
Fig. 17. Diferencia de temperatura de entrada, temperatura de punto de rocío y temperatura del aire de salida.....	47
Fig. 18. Técnicas de captación de agua atmosférica.	47
Fig. 19. Sistema de energía solar-humedad del ambiente para la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima Perú – esquema general	54
Fig. 20. Controlador Arduino para el sistema de medición.....	64

Fig. 21. Sensor de temperatura y humedad del ambiente	64
Fig. 22. Sensor de presión barométrica.....	65
Fig. 23. Sensor de distancia mediante ultrasonido	65
Fig. 24. Dispositivo de captación y medición de volumen obtenido de agua mediante sensode distancia mediante ultrasonido	66
Fig. 25. Sistema de medición del agua obtenida de la humedad del ambiente.....	66
Fig. 26. Sistema de medición para obtener agua del mediamente con equipo WFAR electromecánico.....	67
Fig. 27. Relación distancia volumen de agua en litros	67
Fig. 28. Imagen de la pantalla de visualización del programa de lectura y descarga de información basado en el IDE Arduino	68
Fig. 29. Sistema de medición para obtener agua del medioambiente con equipo PELTIER .	69
Fig. 30. Producción de agua PELTIER	71
Fig. 31. Humedad relativa mínima y la temperatura durante el año 2022 de la estación Cañete.....	73
Fig. 32. Humedad relativa máxima con temperatura durante el año 2022 de la estación Cañete.....	74
Fig. 33. Humedad absoluta mínima y máxima durante el año 2022 de la estación Cañete. .	75
Fig. 34. Humedad absoluta máxima con temperatura durante el año 2022 de la estación Cañete.....	75
Fig. 35. Humedad absoluta máxima, humedad relativa y temperatura durante el año 2022 de la estación Cañete.....	76
Fig. 36. Relación Potencia (W) Litros/día vs - Condensador con refrigerante	78
Fig. 37. Relación Rendimiento Litros/día costo del generador de agua vs costo USD - Condensador con refrigerante	78
Fig. 38. Relación Rendimiento Litros/día del generador de agua vs costo USD - PELTIER .	80
Fig. 39. Litros-día producidos vs. potencia (W) - PELTIER.....	80

Fig. 40. Litros-día producidos vs Costo energético (Kihlit) - PELTIER	81
Fig. 41. Modelo de estimación de volumen de producción de agua.....	83
Fig. 42. Cultivo de sábila mediante riego por goteo	84
Fig. 43. Cultivo hidropónico de arándanos.....	85
Fig. 44. Irradianción en el ámbito de estudio - NASA 2021	87
Fig. 45. Sistema de energía solar	90
Fig. 46. Modelo de tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente para la obtención de agua con el propósito de investigación	93
Fig. 47. Relación temperatura – humedad relativa	93
Fig. 48. Temperatura de ambiente y temperatura de rocío	94
Fig. 49 Relación entre la humedad absoluta, humedad relativa y temperatura	94
Fig. 50. Variación de la presión atmosférica. 24 horas	95
Fig. 51. Función de densidad del índice WFAR anual 2022	97
Fig. 52. Función de densidad de humedad absoluta anual g/m^3 2022.....	98
Fig. 53. Función de densidad de humedad relativa max % anual 202	99
Fig. 54. Función de densidad de la temperatura para HR max % anual 2022	99
Fig. 55. Función de densidad de la irradiación solar anual 2022	100
Fig. 56. Función de densidad de la irradiación solar anual 2022	100

RESUMEN

La presente tesis desarrolla una investigación sobre el empleo de tecnología solar-humedad del ambiente para la obtención de agua para propósitos de cultivos que demandan bajo consumo de agua, menores de 50 litros diarios, aplicables en la costa sur de Lima.

La investigación analiza las condiciones de temperatura y humedad en el ámbito de aplicación durante todos los meses del año 2022, y las alternativas actuales del mercado: tecnología con compresor y tecnología PELTIER de diferentes proveedores, a las cuales se le realiza una comparación principalmente con relación al rendimiento de producción de litros/KWh, y se encuentra que la tecnología por compresor es 5.3 veces más eficiente. Para comprobar el análisis teórico se implementó un estación de monitoreo de producción de agua con las dos tecnologías: de compresor y PELTIER, y se realizó mediciones continuas con registro de cada hora durante el periodo de estudio, de parámetros de volumen de agua producido por hora, temperatura del ambiente, humedad relativa, presión barométrica, con el empleo de un controlador ARDUINO y sensores para cada uno de los parámetros ambientales medible; al final, la información fue registrada automáticamente en un archivo Excel. La estación se energizó con un sistema de energía solar, de tal modo que se pueda emplear en cualquier ubicación geográfica que reúna las condiciones para una producción eficiente de agua de la humedad de la atmósfera.

A partir de los parámetros medidos se obtuvo la humedad absoluta, la temperatura de rocío, y se elaboró en Excel un modelo predictivo de producción de agua bajo diferentes condiciones ambientales y flujo de aire húmedo en m^3/seg , con lo cual se logró demostrar la hipótesis: las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente permitirán la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú, dentro de las condiciones establecidas en la investigación.

Asimismo, en la investigación, se desarrollaron métodos experimentales para medición de producción de agua para sistemas de 50 litros diarios y de 1.5 litros diarios, un método para el análisis, estudio de las condiciones meteorológicas para la

obtención de agua de la atmosfera, el dimensionamiento de sistema de energía solar para la estación de producción y monitoreo de obtención de agua.

Palabras claves

Obtención de agua, Humedad del ambiente, tecnología PELTIER, controlador ARDUINO, sistemas de energía solar.

ABSTRACT

The present thesis develops an investigation on the use of solar technology - ambient humidity to obtain water for crops that demand low water consumption, less than 50 liters per day, applicable on the southern coast of Lima.

The research analyzes the temperature and humidity conditions in the application area throughout the year 2022, examines current market alternatives: compressor technology and PELTIER technology from different suppliers, and compares both primarily in terms of Liters/KWh production performance, finding that compressor technology is 5.3 times more efficient. To verify the theoretical analysis, a water production monitoring station was implemented with both compressor and PELTIER technologies, and continuous measurements were taken with hourly recording during the study period of parameters such as water volume produced per hour, ambient temperature, relative humidity, barometric pressure, using an ARDUINO controller and sensors for each measurable environmental parameter, and the information was automatically recorded in an Excel file. The station was powered by a solar energy system so that it could be used in any geographic location that meets the conditions for efficient production of water from atmospheric humidity.

Based on the measured parameters, absolute humidity and dew point temperature were obtained, and a predictive model of water production under different environmental conditions and humid air flow in m³/second was developed in Excel, thus demonstrating the hypothesis that "Efficient solar energy-ambient humidity technologies will allow water to be obtained in arid areas of the coast of Lima, Peru, under the conditions established in the research." Additionally, experimental methods were developed in the research for measuring water production for systems of 50 liters per day and 1.5 liters per day, as well as a method for analyzing and studying meteorological conditions for obtaining water from the atmosphere, and sizing a solar energy system for the water production and monitoring station.

RIEPILOGO

La presente tesi sviluppa un'indagine sull'uso della tecnologia solare - umidità ambientale per ottenere acqua per coltivazioni che richiedono un basso consumo d'acqua, inferiore a 50 litri al giorno, applicabile sulla costa meridionale di Lima.

La ricerca analizza le condizioni di temperatura e umidità nell'area di applicazione durante l'intero anno 2022, esamina le attuali alternative di mercato: la tecnologia del compressore e la tecnologia PELTIER di diversi fornitori, e le confronta principalmente in termini di prestazioni di produzione in Litri/KWh, trovando che la tecnologia del compressore è 5,3 volte più efficiente. Per verificare l'analisi teorica, è stata implementata una stazione di monitoraggio della produzione di acqua con entrambe le tecnologie, compressore e PELTIER, e sono state effettuate misurazioni continue con registrazione oraria durante il periodo di studio dei parametri come il volume d'acqua prodotto per ora, la temperatura ambiente, l'umidità relativa, la pressione barometrica, utilizzando un controller ARDUINO e sensori per ciascun parametro ambientale misurabile, e le informazioni sono state registrate automaticamente in un file Excel. La stazione è stata alimentata da un sistema di energia solare in modo da poter essere utilizzata in qualsiasi posizione geografica che soddisfi le condizioni per una produzione efficiente di acqua dall'umidità atmosferica.

Sulla base dei parametri misurati, sono state ottenute l'umidità assoluta e la temperatura di rugiada, ed è stato sviluppato in Excel un modello predittivo della produzione di acqua in diverse condizioni ambientali e di flusso d'aria umido in m³/secondo, dimostrando così l'ipotesi che "Le tecnologie efficienti di energia solare-umidità ambientale permetteranno di ottenere acqua nelle aree aride della costa di Lima, Perù, nelle condizioni stabilite nella ricerca." Inoltre, sono stati sviluppati metodi sperimentali nella ricerca per misurare la produzione d'acqua per sistemi di 50 litri al giorno e 1,5 litri al giorno, così come un metodo per analizzare e studiare le condizioni meteorologiche per ottenere acqua dall'atmosfera, e dimensionare un sistema di energia solare per la stazione di produzione e monitoraggio dell'ottenimento d'acqua.

INTRODUCCIÓN

La energía solar es una fuente muy importante de vida y energía disponible en la superficie de la Tierra, también constituye una fuente de energía inagotable y no contaminante, además de ser fiable y ecológica, que se recibe de manera libre desde el Sol. Asimismo, puede ser empleada, entre otras aplicaciones, como fuente térmica para generar electricidad o para acelerar procesos físicos de transformación de la materia. Si bien existen otros tipos de energía renovables, como la eólica, la térmica, entre otras; la energía solar posee características especiales como su facilidad de implementación, su elevada disponibilidad, su permanencia en el tiempo y su ubicuidad en la superficie terrestre; esta última característica es especialmente atractiva como fuente de energía en cualquier parte del planeta.

Por otro lado, uno de los problemas más grandes para la subsistencia de la humanidad es la obtención de agua en cantidad y calidad suficiente para garantizar la vida de los seres vivos en la actualidad y en el futuro. Por ello, se hacen grandes esfuerzos de investigación y creatividad para lograr métodos eficientes de obtención de agua en las diversas regiones del mundo, empleando diversas técnicas y tecnologías [1].

Al respecto, la industria ha desarrollado diferentes alternativas de obtención de agua del medio ambiente, como equipos electromecánicos para la generación de agua con condensadores que emplean refrigerantes líquidos [2], equipos con tecnologías PELTIER [3], empleo de captadores de humedad de la niebla [4], entre otros. Cada uno de ellos requiere ciertas condiciones especiales que limitan su uso, como la disponibilidad de energía convencional.

En la costa de Lima, zona de estudio de la presente investigación, existen terrenos áridos carentes de energía convencional, sin presencia de niebla continua, sin redes de distribución de agua, ni redes de energía convencional, los cuales requieren contar con alguna alternativa de obtención de agua para su aprovechamiento, por lo que el riego para cultivos específicos de bajo consumo de agua es la forma más adecuada para que estas zonas sean aprovechadas. Por tanto, el riego permitiría la subsistencia de grupos humanos en la zona, su desarrollo y también el aprovechamiento de terrenos áridos.

La presente investigación tiene por propósito estudiar alternativas técnico-eficientes solar-humedad del ambiente para la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú, en la zona sur. Por ello, es necesario desarrollar un método de evaluación detallado y determinar en qué condiciones se tendría una solución energía solar-humedad del ambiente eficiente aplicable en las zonas áridas de la costa de Lima.

La metodología de investigación del presente estudio consistió en, primer término, en la revisión sistemática del estado del arte, la obtención de información meteorológica y de otras variables de forma anual registradas por el SENAHMI, NASA, entre otras instituciones reconocidas a nivel nacional e internacional. Seguidamente, se procede con la instalación de una estación de monitoreo para la realización de mediciones continuas y su registro durante las 24 horas de día, de parámetros atmosféricos y de volúmenes de agua producidos tanto con tecnología de equipos electromecánicos y con tecnología PELTIER. Entre los parámetros a medir considerados están la humedad relativa del ambiente, la temperatura, la presión atmosférica, los cuales permitieron determinar el volumen de agua litros/día en función de la energía consumida expresada en watts/hora, la producción de agua por kWh consumido litro/kWh, el rendimiento energético expresado en kW/litro. Las mediciones realizadas han permitido obtener datos de las variables climatológicas, así como determinar cómo se relacionan entre ellas y su relación con los volúmenes de producción de agua, además de cruzar la información experimentalmente con la información de fuentes confiables y el resultado de investigaciones previas a nivel internacional.

Para la investigación fue necesario desarrollar un modelo explicativo empleando una hoja de datos de Excel, para su estudio y comprensión de las variables intervinientes y su relación con la producción de agua. Las limitaciones del alcance del presente estudio de investigación están relacionadas con la temporalidad, basada en la necesidad de realizar una investigación dentro de un periodo razonable para la sustentación del grado de doctor; con la economía que restringe el gasto excesivo en equipamiento e instrumentos de costo elevado, y con relación al área de estudio, el cual se focalizará en la provincia de Cañete, ubicada en la zona sur de la costa de Lima.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

El problema a analizar se encuentra enmarcado dentro del programa de generación eléctrica, el subprograma de energía no convencional y la línea de investigación de paneles solares de la Universidad Nacional del Callao; así como en el marco de la política de la ONU, organización que considera al agua como fuente vital, limitada e insustituible, fundamental para el bienestar humano, por lo que existe una tendencia que indica que dos tercios de la población mundial podría vivir con escasez de agua para 2025 [5].

El agua constituye una dimensión esencial de la sostenibilidad de la vida en el planeta. En los ecosistemas áridos, la excesiva presión sobre el agua y sus impactos en los sistemas naturales amenazan la sostenibilidad integral en tales zonas. Reconducir dicha situación exige replantear el concepto de recursos hídricos y el de demandas. En ese orden de ideas, el agua es fundamental para la sostenibilidad y la reproducción de la vida en nuestro planeta, y constituye un elemento de supervivencia para todo ser vivo.

Asimismo, de acuerdo con el estudio del Banco Mundial, el 70% del agua que se extrae en el mundo se emplea en la agricultura. Para el 2050, se estima que la producción agrícola tendría un incremento de 70% debido al crecimiento de la población [6]. Por consiguiente, el uso del agua aumentaría al menos en una proporción similar. Por ello, la disponibilidad actual y futura se avizora limitada.

Por otro lado, alrededor del 20% de la población mundial vive en regiones que no tienen suficiente agua para sus necesidades. Con la población mundial que aumenta en 80 millones cada año, un tercio del planeta probablemente enfrentará escasez de agua para el 2025 [7].

Si bien existen diversos métodos para la obtención de agua como el bombeo desde los ríos, construcción de pozos, la desalinización de los mares, obras hidráulicas para el trasvase de ríos, entre otros; dichos métodos tienen en común la falta de ubicuidad y requieren de grandes inversiones en obras civiles, que se acrecientan

significativamente en función de la distancia entre el lugar de obtención de agua y la fuente de demanda.

Sin embargo, la atmósfera contiene 12 900 km³ de agua dulce, de los cuales 98% es vapor de agua y 2% de agua condensada (nubes) [8]. En consecuencia, parte del agua contenida en la atmósfera podría ser empleada para el consumo o las actividades humanas; para dicha transformación se emplearía la energía solar, principalmente en zonas no urbanas o rurales, donde sea eficiente su uso, debido a sus características de ubicuidad y facilidad de implementación de los sistemas de energía solar. Por esto, es importante explorar alternativas de obtención de agua independiente del lugar donde se requiera, como es el caso de la energía solar.

La energía solar constituye una alternativa para la obtención de agua del medio ambiente, en la medida que es una fuente inagotable de energía no contaminante, fiable y ecológica que se recibe de manera libre del Sol. De acuerdo con Energética Futura, empresa española especializada en sistemas solares, cada año la radiación solar aporta a la Tierra la energía equivalente a diez mil de veces la cantidad que consume toda la humanidad. Asimismo, la energía solar es ubicua, por lo que puede ser aprovechada en cualquier parte sobre la superficie de la tierra, con lo cual se vuelve un tipo de energía alternativa a la convencional que resulta fundamental para resolver grandes problemas o necesidades planteadas en la superficie terrestre [9].

El uso de energía solar se vuelve cada vez más eficiente y, en consecuencia, más asequible. Hoy en día se tiene una eficiencia energética promedio, definida como la relación entre la potencia suministrada y la potencia recibida, de 20%. Además, el costo de los paneles solares ha ido reduciéndose significativamente en los últimos años, desde 0.74 dólares/watt en 2013 a 0.18 dólares/watt el 2022. Asimismo, el suministro de energía anual media proporcionado por el Sol sobre cada metro cuadrado equivale al contenido energético de 100 litros de petróleo en las latitudes medias y hasta 230 litros de petróleo en las zonas desérticas [9] sin considerar los costos de transporte. Todo esto indica que, en la actualidad, en zonas sin suministro eléctrico convencional, la energía solar está resultando una alternativa muy atractiva.

Por lo mencionado anteriormente, se puede considerar que la energía solar constituye un elemento fundamental para el empleo de soluciones técnicas eficientes solar-

humedad del ambiente para la obtención de agua para riego en zonas áridas de la costa sur de Lima, con los propósitos de agricultura de bajo consumo de agua, como hidroponía o riego por goteo.

Con relación al tema investigado, existen en nuestro medio aún problemas por resolver como i) el planteamiento de soluciones técnicas alternativas acordes a cada ámbito, ii) la optimización del consumo energético, (iii) la mejora de la eficiencia de obtención de agua de los actuales sistemas deshumedecedores de ambiente [10], diseñados originalmente para emplear energía de redes eléctrica convencionales, (iv) la aún insuficiente cantidad generada por otros medios. Esto abre la posibilidad de un abanico amplio de que ameritaría una línea de investigación al respecto.

De acuerdo con un estudio realizado en Bahrain [10], la producción de agua diaria es de 20 litros por día a 30°C con una humedad relativa de 80% con un equipo electromecánico deshumecedor. Asimismo, mediante el uso de células Peltier, en un tiempo estimado de seis horas, se encontró que la máxima cantidad de agua producida fue de 300mL con el 70% de humedad relativa [11].

Teniendo en consideración la necesidad de agua en la costa de Lima para los propósitos indicados y requiriéndose contar con agua independiente de la ubicación, se genera la pregunta: ¿cuál es la forma eficiente en que la energía solar puede aplicarse en sistemas de extracción de agua de la atmósfera? Esta interrogante constituye el motivo de la presente investigación.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Principal

¿De qué manera las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente permiten la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú?

1.2.2 Específicos

- ¿De qué manera las tecnologías eficientes de energía solar permiten un adecuado rendimiento energético para la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú?

- ¿De qué manera las tecnologías eficientes de energía solar permiten la obtención de un volumen adecuado de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú, para cultivos de bajo consumo de agua?

1.3 Objetivos

1.3.1 Principal

- Determinar las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente para la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú.

1.3.2 Específicos

- Determinar de qué manera las tecnologías eficientes de energía solar permiten un adecuado rendimiento energético para la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú.
- Determinar de qué manera las tecnologías eficientes de energía solar permiten la obtención de un volumen adecuado de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú, para cultivos de bajo consumo de agua.

1.4 Justificación

Por medio de la justificación se demuestra que un estudio es necesario e importante [12]. En [13], la justificación de la investigación puede ser teórica, práctica o metodológica; en la presente investigación, adicionalmente, se presentará la justificación social, por su trascendencia ontológica y epistemológica.

1.4.1 Teórica

Según Ñaupas [14], la investigación tiene justificación teórica si contribuye a generar un nuevo conocimiento en el desarrollo de la teoría científica. También, cuando el propósito del estudio es confrontar una teoría o contrastar resultados. La presente investigación hará un análisis de las técnicas existentes, contrastando resultados para determinar el modo eficiente de aplicar la energía solar en la obtención de agua del medio ambiente en la costa de Lima.

1.4.2 Metodológica

La justificación metodológica permite en la medida que se aporta a la metodología observacional a través del uso de instrumentos de investigación que servirán para investigaciones similares [14], también cuando propone un nuevo método o estrategia para generar conocimiento válido.

En la presente investigación, se aplicará un procedimiento de levantamiento de información en forma sistemática mediante una estación de monitoreo basado en un controlador electrónico con interfaz de red Ethernet, la cual permitirá independiente de la ubicación proveer los registros continuos de los parámetros obtenidos en campo durante el periodo de estudio; esto constituye una metodología que puede servir para futuras investigaciones. Por otro lado, se realizará un análisis de la información para encontrar relaciones entre las variables y su impacto en la obtención de agua.

1.4.3 Práctica

Una investigación tiene justificación práctica si implica describir de qué modo los resultados de la investigación servirán para cambiar la realidad del ámbito de estudio [15], o cuando resuelve o contribuye a resolver un problema de la vida cotidiana. En la medida que la presente investigación contribuye con la toma de decisiones sobre la forma más conveniente para la obtención de agua de la humedad del ambiente en zonas áridas de la región Lima para propósitos de riego, tiene una justificación práctica.

1.4.4 Social

Se tiene una justificación social cuando la investigación contribuye a resolver un problema que afecta a la comunidad [14], también cuando genera beneficios y utilidades para la población. En el caso de la presente investigación, la obtención de agua para ser empleada por la comunidad en zonas áridas a través de programas sociales en la costa de la región Lima contribuye a la mejora de la calidad de vida de sectores sociales pobres o menos favorecidos.

1.4.5 Por su trascendencia

La presente investigación se justifica porque aborda problemas fundamentales para la vida como son el agua y el uso eficiente de la energía eléctrica cuyo impacto está en la contribución a mejorar la calidad de vida de la población [15].

1.5 Delimitantes de la investigación

1.5.1 Teórica

La presente investigación sólo está enfocada a la obtención de agua a través de tecnologías de energía solar-humedad del ambiente que pueda ser empleada para riego en sembríos de bajo consumo de agua, para volúmenes de producción menores a 50 litros diarios y para atender la demanda de riego en técnicas de cultivo hidropónico y riego por goteo.

1.5.2 Espacial

Su aplicación se circunscribe a la costa sur de Lima, en particular Cañete, en la zona donde la aplicación de otros métodos como colectores de niebla, captación de agua de fuentes cercanas, o el uso de energía eléctrica convencional no son viables.

1.5.3 Temporal

La presente investigación se realizó durante el año 2022.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes internacionales y nacionales

2.1.1 Internacionales

Pica, Munteanu, Pavel y Beleiu [16] analizan el efecto fotovoltaico y el arreglo de células fotovoltaicas que convierten la energía solar en energía eléctrica. En el modelo, las células fotovoltaicas se conectan en serie para alcanzar el voltaje deseado y en paralelo para obtener una corriente más alta (8-16 A). Las células fotovoltaicas se emplean en su punto de máxima potencia, y se observa que la curva voltaje corriente (V-I) de un panel fotovoltaico no es lineal y factores ambientales como la

temperatura o la irradiación solar traen consigo variaciones considerables en la característica y ubicación del punto de máxima potencia.

Este artículo presenta un método basado en el modelo matemático de un diodo para el seguimiento del punto de máxima potencia de un panel fotovoltaico o un campo fotovoltaico en diferentes condiciones meteorológicas utilizando únicamente los datos proporcionados por los fabricantes. El modelo ha sido validado con datos experimentales de un módulo fotovoltaico comercial. Esta investigación sirve para entender las bases teóricas de los paneles solares.

Por otro lado, Pica, Munteanu, Pavel y Beleiu [17] analizan la reducción de la eficiencia del panel solar debido al polvo adherido a la superficie. Por lo tanto, la función de limpieza es extremadamente importante para los paneles solares, especialmente para las unidades de generación de energía solar independientes. Un innovador dispositivo de limpieza de paneles se puede emplear para impulsar una leva para mantener la eficiencia del panel a pesar del polvo.

La idea en el diseño de levas modulares es diseñar una unidad de levas con una longitud especial y un mecanismo de combinación que se pueda ensamblar fácilmente para obtener cualquier longitud total, para adaptarse a cualquier dimensión de panel solar. Estas unidades de levas modulares se pueden fabricar mediante un proceso de moldeo por inyección de plástico que reducirá drásticamente el costo de producción y, por lo tanto, hará que el innovador dispositivo de limpieza de paneles solares sea más asequible. Esta investigación sirve para entender los mecanismos externos con el fin de aumentar la eficiencia en los paneles solares, dichos mecanismos servirían para mejorar la eficiencia de los paneles solares en el caso sea requerido.

En el artículo de Florea y Baltatanu [18] se hace una revisión del estudio de un panel fotovoltaico utilizando un software de simulación específico, denominado RET Screen International. Se analiza el mejor escenario para colocar un sistema fotovoltaico en un sitio específico con diferentes inclinaciones y se ha comparado los resultados entre sí y con un sistema fotovoltaico real instalado en Bucarest.

Las conclusiones están hechas para diferenciar y optimizar los sistemas de posicionamiento y mejorar el trabajo futuro de los sistemas fotovoltaicos.

Al-Abbadi et al. [19] presentaron un proyecto para investigar la viabilidad de extraer agua de la humedad del aire, en el cual se ha utilizado deshumidificadores para la extracción de agua. En las muestras de agua recolectadas se analizaron numerosas variables de forma individual y en combinaciones que incluyen las siguientes: cantidad de agua recolectada por hora versus ubicación geográfica, cantidad de agua recolectada por hora versus factores meteorológicos, idoneidad del agua recolectada para consumo humano potable, detección de la contaminación del aire en las áreas de recolección y la economía de este método de recolección de agua en comparación con otros métodos no convencionales.

Entre las conclusiones encontradas están las siguientes: (i) la eficiencia del deshumidificador utilizado es muy baja. Se espera esta eficiencia, ya que la superficie del condensador dentro del dispositivo utilizado es de solo 15 cm × 15 cm. (ii) Los resultados muestran que las ubicaciones cercanas a las costas tienen un mayor potencial para recolectar más agua de la humedad atmosférica. (iii) Los resultados también han demostrado que la humedad absoluta y no la humedad relativa es el factor con correlación directa con la cantidad de humedad del aire cosechable. (iv) Finalmente, este estudio puede considerarse como una puerta de acceso a estudios más completos sobre la recolección de agua de la humedad atmosférica en el Reino de Bahrein en el que se utiliza un sistema de producción a gran escala.

En el artículo de Kabil y Emad [20], se presenta un sistema de desalinización de agua de humidificación, deshumidificación (HD) con varias tecnologías para las necesidades de riego y bebida en áreas áridas remotas desde el punto de vista técnico y económico. Este estudio ha investigado una discusión detallada de desarrollos técnicos, aspectos económicos y sostenibles; los beneficios del nuevo diseño sobre aplicaciones tradicionales, desalinización y otros métodos de riego; los requisitos específicos y desafíos de implementación en regiones remotas y frías; las técnicas posibles de mejora del rendimiento y la fiabilidad.

Entre las conclusiones identificadas están las siguientes: (i) presentar una discusión técnica y económica para el riego y la desalinización del agua utilizando invernaderos asistidos por un sistema de desalinización por deshumidificación (SDAD). (ii) La producción de agua destilada de los sistemas (SDAD) mostró un efecto significativo

de mejora en comparación con los sistemas convencionales en las mismas condiciones operativas. (iii) El diseño del condensador y la velocidad del flujo de aire parecen ser el cuello de botella del proceso de deshumidificación y la productividad del agua dulce en el sistema GHHD. (iv) La integración del alambique solar con el invernadero hace que la destilación tenga lugar después del mediodía solar y durante la noche debido a la baja absorción de la irradiación solar, contrario a lo que sucede en los alambiques solares tradicionales.

Dorjiev et al. [21] analizan diferentes métodos para producir agua a partir del aire: pasivo (recogiendo precipitados, gotas condensadas, absorción, etc.) y activo (utilizando medios adicionales para aumentar la cantidad de aire que pasa a través de una unidad o cambia la diferencia de temperatura para la condensación de humedad por la acción de energía adicional).

Entre las afirmaciones del estudio están las siguientes: (i) cerca de la superficie de la tierra, la humedad absoluta promedio es de 11 g/m^3 , y en las regiones tropicales, este valor sube a 25 g/m^3 . (ii) Las mejores condiciones para la extracción de agua dulce del aire atmosférico (alta humedad y temperatura) se encuentran en países ubicados dentro de los 30 grados de latitud del ecuador, situación que corresponde al territorio peruano.

En la tesis de Olivares y Ramos [22], se utilizan celdas fotovoltaicas para brindar energía a un sistema de refrigeración por absorción base amoniaco-agua y Peltier.

Evalúa el comportamiento de la radiación solar para ambos sistemas de refrigeración solar. En [22], se obtuvieron 100 ml de hielo, cuantificando el comportamiento cuando se utilizan arreglos de 50, 100, 110, 150, 160, 210, 220, 260, 270, 320 y 370 Watts foto-voltaicos. El coeficiente de desempeño (COP), la eficiencia de transformación: Solar-fotovoltaica, fotovoltaica-Peltier, Solar-Peltier y Peltier Fotovolataica permiten su empleo en sistemas de refrigeración.

2.1.2 Nacionales

El objetivo principal de la tesis de Gonzales [23] fue el determinar la relación entre el coeficiente de desempeño de celda Peltier seleccionada, la cual permita extraer una

carga de refrigeración de 100 W, con las resistencias térmicas de sus focos frío y caliente.

Analiza el efecto Peltier en procesos de refrigeración y aire acondicionado para obtener el efecto refrigerante, con un dispositivo o celda Peltier. Finalmente, se encontró que el dispositivo tiene un bajo coeficiente de desempeño (COP). Aun así, se considera que puede ser utilizado en sistemas de refrigeración termoeléctricos, debido a que su principal ventaja es no utilizar gases refrigerantes.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Energía solar

Se obtiene de la radiación solar que llega a la Tierra en forma de calor, luz o rayos ultravioleta. Es un tipo de energía limpia y renovable, pues su fuente, el Sol, es un recurso ilimitado.

La energía solar puede aprovecharse de dos maneras: mediante la conversión térmica, que consiste en transformar la energía solar en energía térmica, y la conversión fotovoltaica, en la cual se emplean paneles solares para recolectar la energía luminosa y convertirla en eléctrica.

La energía proveniente del Sol ha sido aprovechada por los seres humanos desde tiempos antiguos de manera múltiples: ayuda al desarrollo sustentable, disminuye la contaminación y reduce el impacto ambiental.

Uno de los parámetros fundamentales para analizar la energía solar es la irradiancia, definida como la cantidad de radiación solar que impacta en una superficie. La irradiancia se mide en kW/m^2 .

2.2.2 Paneles Solares

Un panel solar es un elemento que permite usar los rayos del sol como fuente de energía. Lo que hacen estos dispositivos es recoger la energía térmica o fotovoltaica del astro y convertirla en un recurso que puede emplearse para producir electricidad o calentar algo. Las placas solares fotovoltaicas se clasifican en función de su potencia

pico (Wp), que pueden producir las placas en condiciones estándar (STC: irradiancia de 1 KW/m² a la temperatura de la célula de 25°C y distribución espectral con el estándar internacional de medida AM de 1,5 G). Donde AM es la masa de aire recorrida por la radiación solar que atraviesa la atmósfera, y el espectro estándar en la superficie de la Tierra se llama AM1.5G, (la G significa mundial e incluye la radiación directa y difusa).

Sin embargo, las condiciones reales de operación en el campo van a ser distintas a las anteriores, por lo que se deberá aplicar los correspondientes coeficientes correctores. Como se puede observar, la corriente generada por el panel se incrementa con la intensidad de radiación solar, mientras que el voltaje cae si aumenta la temperatura en los paneles solares, como se muestra a continuación.

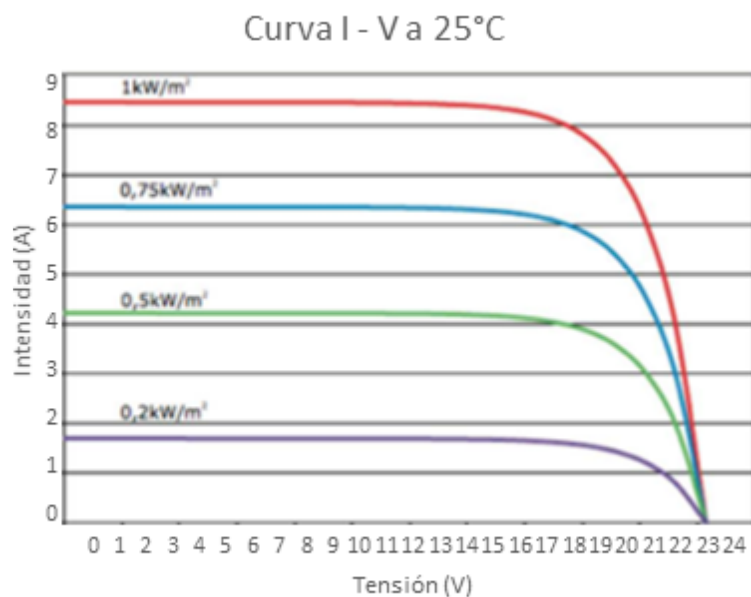


Fig. 1. Curvas del panel solar I-V en función de la irradiancia. Fuente: [24]

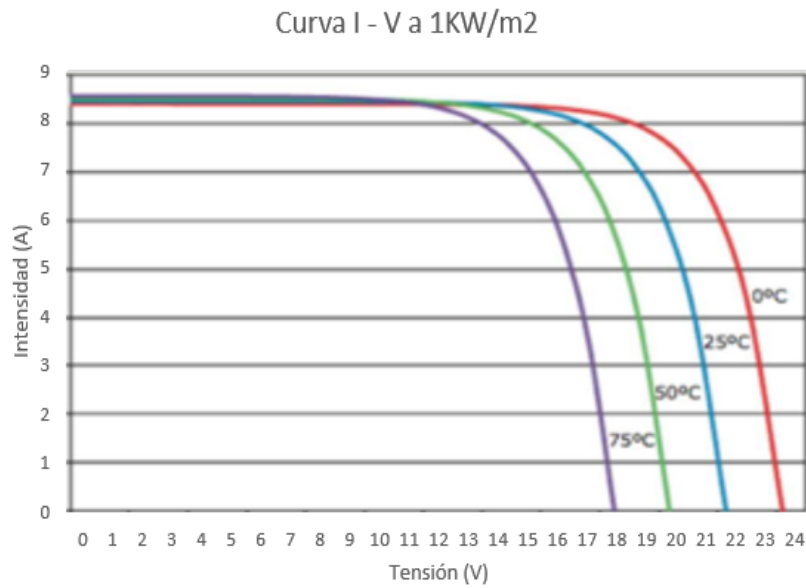


Fig. 2. Curvas del panel solar I-V en función de la temperatura. Fuente: [24]

2.2.3 Irradiancia e irradiación solar

La irradiancia solar es la potencia de la radiación solar recibida por unidad de área en un instante determinado en forma de radiación electromagnética y se expresa en W/m^2 , mientras que la irradiación solar es la energía por unidad de área (J/m^2 o Wh/m^2). La irradiancia solar varía a lo largo del día como se muestra en la figura a continuación [25, fig 3]. Con referencia al estándar de $1kWh/m^2$, si integramos el área bajo la curva y la potencia total obtenida la dividimos entre $1kWh/m^2$, obtendremos el número de horas de irradiación a dicha potencia de referencia que corresponde a las horas pico solar (HPS). Para el caso de la figura presentada corresponde a 4 HSP en el intervalo de 10:00 a. m a 2:00 p. m.

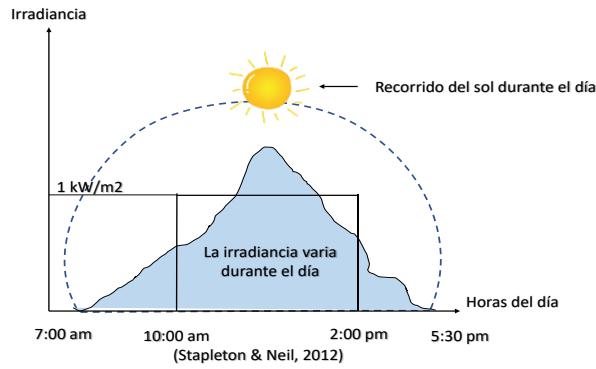


Fig. 3. Representación de las horas pico de sol (HSP) asociada a la irradiancia. Fuente: [25]

El nivel de irradiancia solar tiene relación directa con la corriente producida por un panel o arreglo de paneles solares, como puede observarse de las mediciones experimentales realizadas en la presente investigación durante el mes de enero del presente año, realizada para un panel solar con una potencia nominal de 120 W.

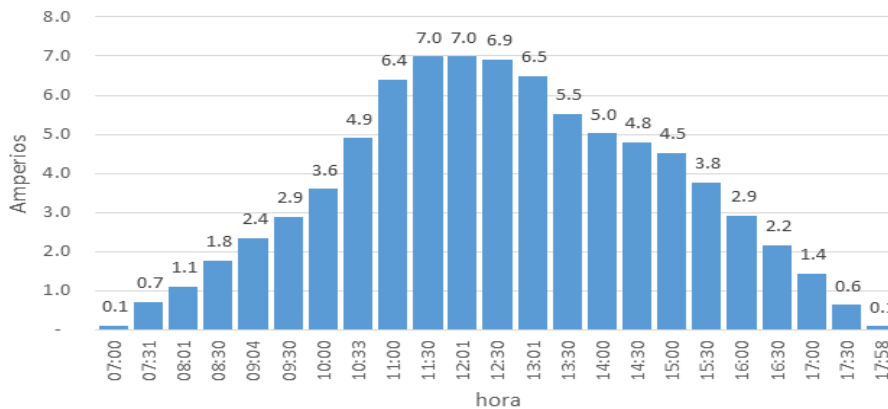


Fig. 4. Corriente de carga de un panel solar durante un día. Fuente: elaboración propia

2.2.4 Eficiencia de los paneles solares

Es la capacidad de conversión de energía luminosa a energía eléctrica ya sea silicio monocristalino (mono-Si) o silicio policristalino (poli-Si). Está determinada por la teoría desarrollada por Shockley y Queisser, llamada “teoría de balance”. Dicha eficiencia máxima posible es de 30% a 31%, cuando la radiación solar es de AM 1,5. La eficiencia que se tiene hasta el día de hoy en los paneles de silicio es del 24% a una

radiación solar de AM 1,5. Además, estas células pueden proporcionar aproximadamente 0.5 V y con una corriente de 35 mA/cm² [26].

2.2.5 Sistemas solares aislados o autónomos OFF GRID

Los sistemas OFF GRID son sistemas autónomos e independientes de la red eléctrica y están compuestos por un arreglo de paneles fotovoltaicos, un controlador de carga sistema de almacenamiento de corriente conformado por un banco de baterías y un inversor en el caso de requerirse corriente alterna para la carga.

Panel solar: arreglo de celdas solares de fibra texturizada, que permite entregar energía de forma altamente eficiente. Pueden generar tensiones de 12 V, 24 V o 48 V.

Controlador de carga: es un dispositivo que regula la carga del banco de baterías, trasladando la corriente de los paneles a las baterías; pueden emplearse controladores PWM o de máxima potencia.

Banco de baterías: el banco de baterías está constituido por un conjunto de baterías, cuya finalidad es almacenar la carga de corriente generada por los paneles solares y suministrar la corriente almacenada a la carga en el periodo del día que se disponga de suficiente irradiancia solar.

Esquema de conexión: un esquema típico de conexión de un sistema de energía solar se presenta a continuación.

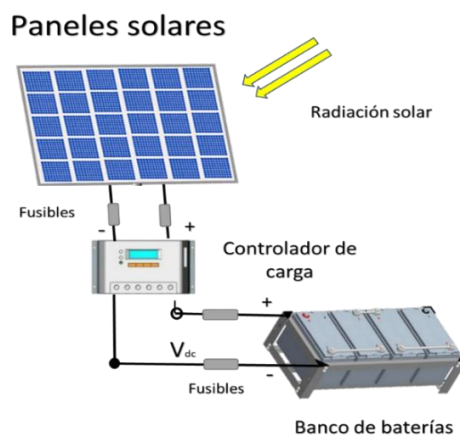


Fig. 5. Esquema de conexión de sistema de energía solar. Fuente: elaboración propia

2.2.6 Método empleado para el análisis en un sistema de energía solar

El método empleado en la presente investigación está basado en el uso de hoja de cálculo Excel, teniendo como referencia diversa bibliografía y metodología citada en el punto 4.2 de la presente tesis. La metodología se aplica al diseño de proyectos en el área de energías renovables, con acceso a bases de datos de la NASA [27], como el que se muestra a continuación, acerca de la radiación solar mensual durante el año 2022.

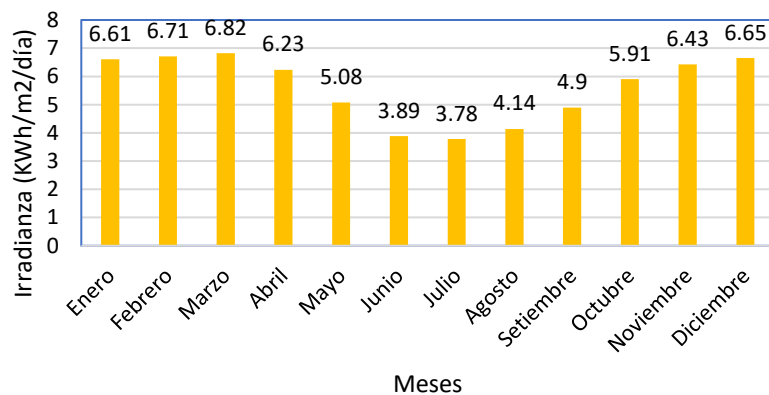


Fig. 6. Información de la irradiación solar mensual en Cañete (Sur de Lima). Fuente: [27]

2.2.7 Evolución de los costos de paneles solares en las últimas décadas

El costo de los paneles solares ha ido disminuyendo a lo largo del tiempo. En 1974, el precio por Watt era de US\$74, en 1994, el precio disminuyó a US\$5, el 2013 llegó a US\$ 0,74, y el 2016 a US\$0,49 [20]. En la actualidad, el precio por Watt varía en un rango de 0,21 a 0,28 dólares [28]. Porcentualmente, desde el año 2004 a la fecha, el precio se ha reducido al 4% en un periodo de 16 años.

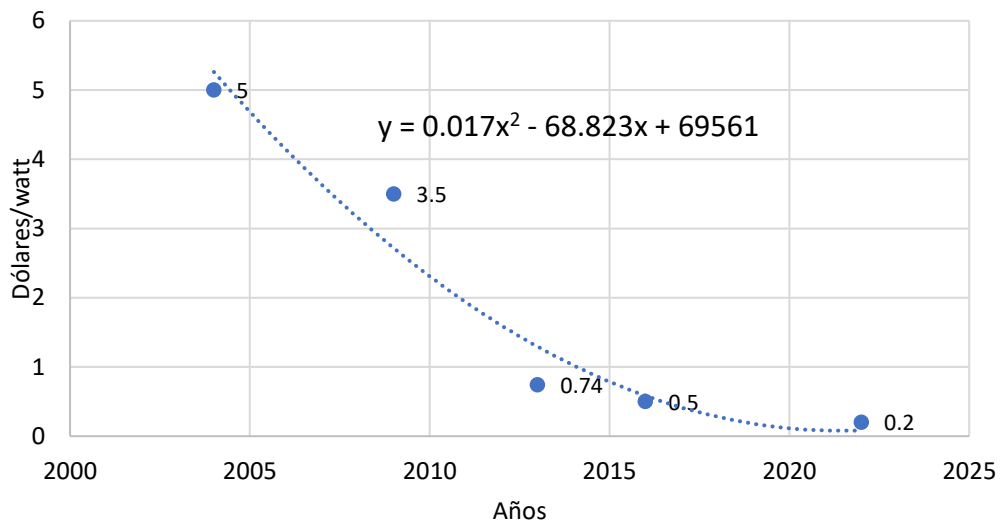


Fig. 7. Evolución del costo de paneles rango 2004-2022. Fuente: [26 y 28]

En los últimos seis años, el precio ha caído al 37%, como se muestra en la figura a continuación. Lo que hace prever que, en un futuro, el precio por Watt de los paneles solares permita mayores aplicaciones a costos económico-eficientes.

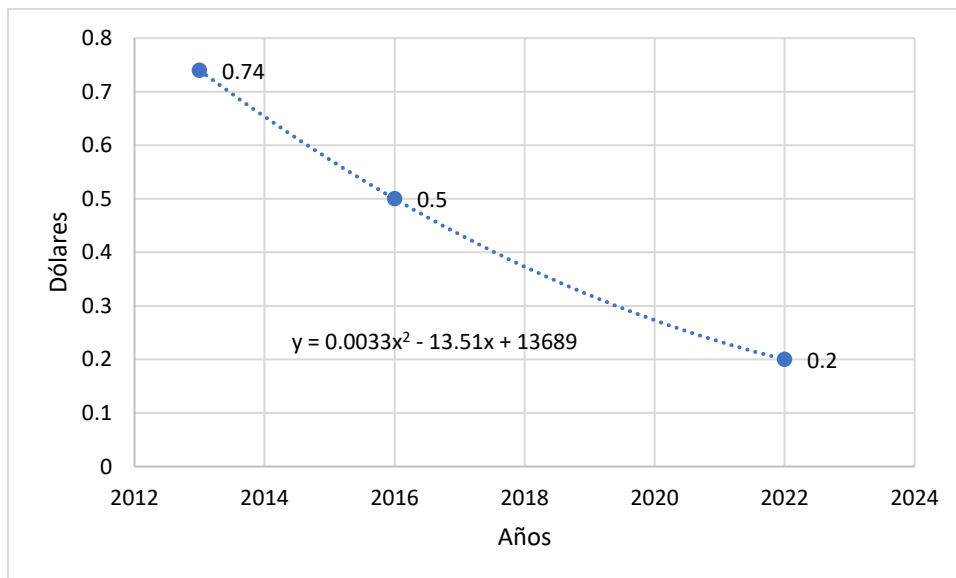


Fig. 8. Evolución del costo de paneles dólares/watt rango 2013-2022. Fuente [28 y 29]

2.2.8 Efecto Peltier

El efecto Peltier se produce en la unión entre dos conductores (A y B) distintos, al pasar una corriente eléctrica por ella y consiste en el enfriamiento o calentamiento de la superficie del material que depende exclusivamente de la composición y temperatura de la unión.

La potencia calorífica intercambiada en la unión entre A y B es la siguiente:

$$\dot{Q}_P = \pm \pi_{AB} J = \pm J T (\alpha_B - \alpha_A)$$

Donde π_{AB} es el coeficiente Peltier, definido como el calor intercambiado en la unión por unidad de tiempo y de corriente que circula a través de la misma:

$$\pi_{AB} \equiv \frac{\dot{Q}_P}{\int_S J \cdot dS} = T (\alpha_B - \alpha_A)$$

J: flujo de corriente eléctrica

S: superficie

T: temperatura absoluta (K)

α_A, α_B : coeficiente Seebeck de los materiales A y B, respectivamente [30].

La unión de dos materiales diferentes pueden ser un metal y un semiconductor.

De acuerdo con Azorín, es posible hacer un arreglo de semiconductor tipo P y N unidos por cobre tal como se muestra en [30, fig. 9] y conectados a una fuente de voltaje. El efecto obtenido es que al circular la corriente se generará una diferencia de temperatura entre las placas y, si se cambia la polaridad de la fuente, se tendrá un efecto inverso en las placas [31].

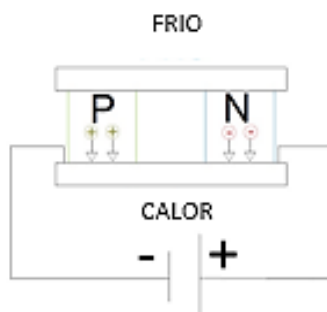


Fig. 9. Comportamiento básico de una célula Peltier. Fuente: [30]

A continuación, se muestra en [31, fig. 10] como, al unir varios bloques de semiconductores en serie, se produce en la parte superior de la celda una ausencia de cargas, mientras que en la parte inferior se produce un exceso de portadores de carga, lo cual provoca un aumento de temperatura en esa zona.

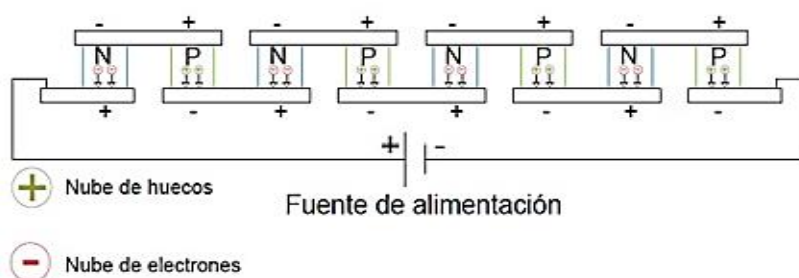


Fig. 10. Comportamiento de celdas Peltier en serie. Fuente: [31]

Entre las posibles aplicaciones en nuestro medio del efecto Peltier tenemos el caso de un sistema de climatización para automóviles [32].

Esta característica del efecto Peltier se emplea en sistemas de enfriamiento o calentamiento y también para deshumedecedores de ambiente que pueden ser empleados para obtención de agua, por ahora, en pequeñas cantidades (en el orden de 2.2 litros por día). La generación de diferencia de temperatura se emplea para llevar una masa de aire húmedo al punto de condensación al pasar de una zona caliente a

otra fría, y se llega a un punto que genera la precipitación del agua contenida en la masa de aire al obtener el 100% de humedad.

2.2.9 Parámetros que intervienen en la condensación para la obtención de agua de la atmósfera por condensación

La condensación del agua es un proceso físico que consiste en el paso del agua de forma gaseosa a forma líquida. Este proceso se lleva a cabo a una presión constante o a una altitud sobre el nivel del mar fija. Los parámetros a tener en cuenta son la temperatura (T), la humedad absoluta (HA) y la humedad relativa (HR).

- Humedad absoluta: es la cantidad de agua en mg que está contenida en un m³ de aire.
- Humedad relativa: es la relación porcentual entre los mg de agua en un m³ de aire a una determinada temperatura y la máxima cantidad máxima que aceptaría dicho m³ de agua a la misma temperatura. Puede ser obtenida dividiendo la presión parcial de vapor de agua en el aire entre el vapor de saturación a la misma temperatura, multiplicando por 100.

Para el cálculo de la HA en función de la humedad relativa (HR), se emplea la fórmula [19] que se indica a continuación.

$$AH \left(\frac{gm}{m^3} \right) = \frac{6.112 \times e^{\left[\frac{17.67 \times T}{T+243.5} \right]} \times RH \times 2.1674}{273.15+T}$$

Un ejemplo de la fórmula: para una humedad relativa (HR) de 100%, para diferentes temperaturas, se obtiene la siguiente figura, en la que se puede observar que para una temperatura de 30°C la humedad absoluta es 30.35 g por m³.

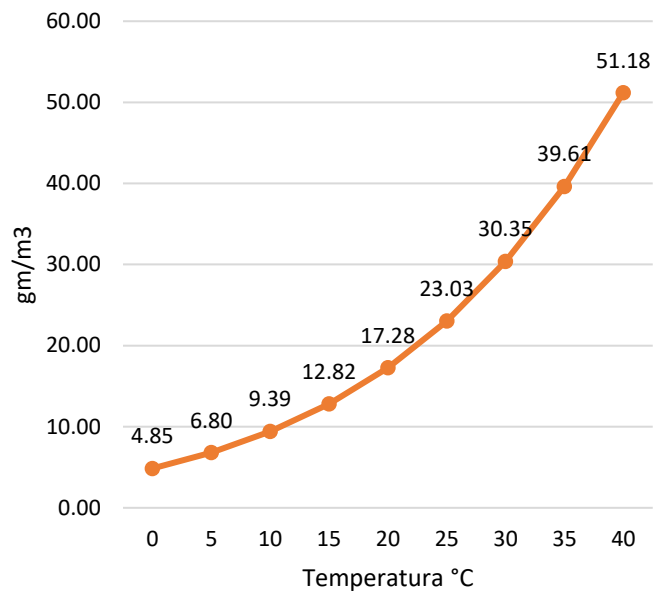


Fig. 11. Humedad absoluta (g/m³) de agua al 100% de HR. Fuente: [19]

En el gráfico siguiente, de acuerdo con la fórmula [33], se muestra una HR de 90%. Se puede contemplar que existe una relación entre el cambio en descenso de temperatura del aire húmedo y el punto de rocío para diferentes temperaturas del ambiente; además, se observa que el cambio en °C es constante a diferentes temperaturas del ambiente, para una humedad relativa fija.

$$Td = T + 35 \log \left(\frac{HR}{100} \right)$$

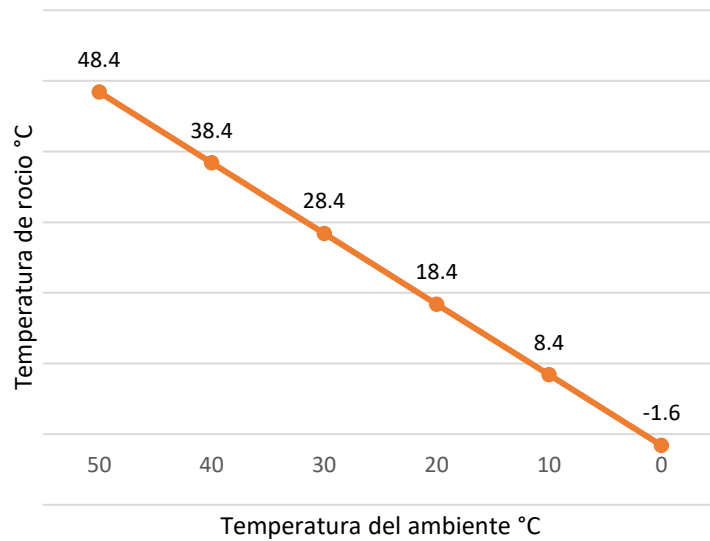


Fig. 12. Temperatura de punto de rocío a 90% de HR. Fuente: elaboración propia

En el caso de tener diferentes HR (90%, 80%, 70%, 60%, 50%, 40%), se observa que a menor humedad relativa para llegar al punto de rocío se requiere bajar más la temperatura de la masa de aire que se encuentra a la temperatura del ambiente, como se muestra la tabla a continuación.

TABLA I

Humedad absoluta (HA), temperatura de rocío (TR) en diferentes temperaturas ambientales (TA)

HR	0.9		0.8		0.7		0.6		0.5		0.4	
TA °C	TR °C	HA (gm/ m ³)	TR °C	HA (gm/m ³)	TR °C	HA (gm/m ³)	TR °C	HA (gm/m ³)	TR °C	HA (gm/m ³)	TR °C	HA (gm/ m ³)
50	48.4	77.14	46.6	70.82	44.6	64.21	42.2	57.23	39.5	49.82	36.1	41.88
40	38.4	47.20	36.6	43.06	34.6	38.74	32.2	34.23	29.5	29.48	26.1	24.45
30	28.4	27.81	26.6	25.19	24.6	22.48	22.2	19.67	19.5	16.74	16.1	13.68
20	18.4	15.72	16.6	14.13	14.6	12.49	12.2	10.81	9.5	9.08	6.1	7.29
10	8.4	8.48	6.6	7.55	4.6	6.61	2.2	5.65	-0.5	4.67	-3.9	3.68
0	-1.6	4.34	-3.4	3.83	-5.4	3.31	-7.8	2.79	-10.5	2.27	-13.9	1.75

Nota: resultado de los cálculos de Humedad absoluta (HA), temperatura de rocío (TR) para diferentes temperaturas del ambiente (TA).

En el caso de la costa de Lima, si tomamos como referencia la estación meteorológica de Cañete, para el año 2022, la humedad relativa mensual varió en el rango de 49% a 66%, mientras que la máxima fluctuó entre 97% a 100%. Por otro lado, la temperatura mínima mensual asociada varió entre 10.28°C a 24°C, mientras que la humedad relativa máxima mensual varió entre 97% a 100% con temperaturas asociadas de 18°C a 18.9°C.

De los rangos de humedad relativa y temperatura se prevé humedades absolutas ubicadas en la región del cuadrilátero de rojo, como se muestra en la figura a continuación.

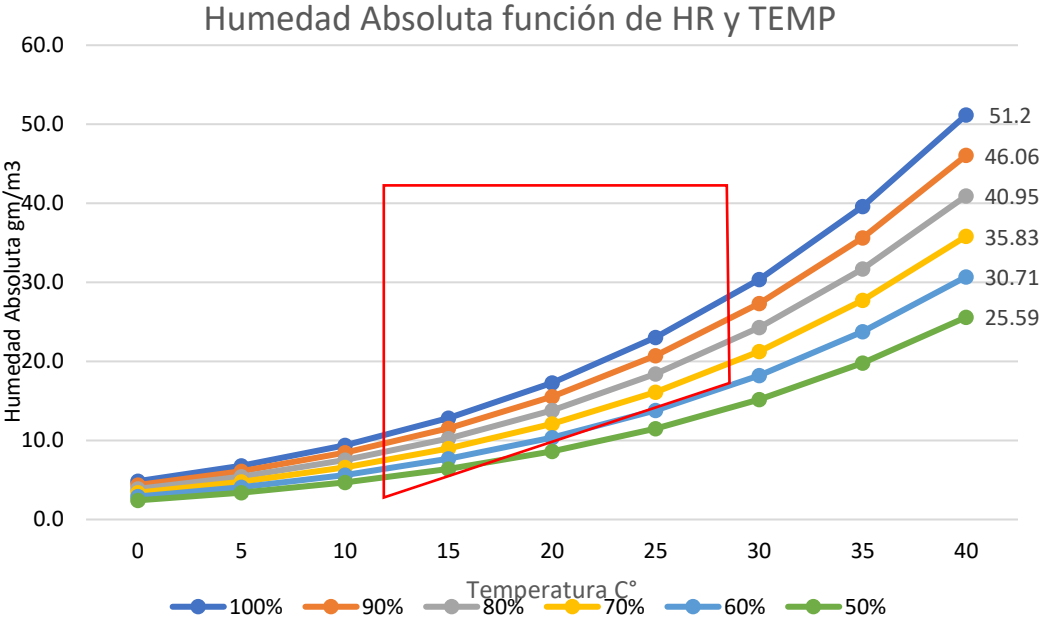


Fig. 13. Rango de humedad absoluta en la costa de Lima. Fuente: elaboración propia

En los estudios de obtención de agua es importante tener claro los conceptos de humedad específica y entalpía

- Humedad específica del aire

La humedad específica del aire húmedo es el mismo concepto de humedad absoluta, solo cambia de unidades. Se expresa en kg de vapor de agua dividido entre kg de aire seco. Es la razón de masa de vapor de agua a masa de aire seco, y se puede expresar mediante la siguiente fórmula [34]:

$$w = 0.622 * P_v / (P - P_v)$$

Donde:

w: es la humedad específica del aire húmedo en kg de vapor de agua / kg de aire seco.

P_v: es la presión de vapor del agua en el aire húmedo.

P: es la presión total del aire en el que se mide la humedad específica.

Constante 0.622: es la constante de relación de mezcla y se emplea para convertir la presión parcial de vapor de agua en la humedad específica del aire.

- Entalpía

La entalpía es una magnitud termodinámica que indica la cantidad de energía contenida en un sistema termodinámico a presión constante. Se representa con la letra "H" y su medida está en julios (J) o en calorías (cal).

Se define como la suma de la energía interna del sistema más el producto de la presión constante del sistema y su volumen [35], [36]:

$$H = U + pV$$

2.2.10 Sistema electromecánico de extracción de agua del medio ambiente

Todo sistema de obtención de agua del medio ambiente, en general, como se muestra en la [fig. 14], consta de los siguientes componentes [37]:

- Sistema de encaminamiento del aire: posee un ventilador y una cavidad que conduce el aire externo hacia el condensador donde es enfriado para proceder a la condensación del agua.
- Filtro de aire: elimina las impurezas y partículas del aire.
- Condensador: el condensador es un intercambiador de calor en el que el gas refrigerante circula mediante serpentines de metal rodeados por aletas que ayudan a disipar el calor al aire que se desea condensar. El aire se sopla a través de las aletas del condensador lo que provoca que se enfríe y se condense en líquido.

- Purificador: en el caso de que el propósito del sistema sea para obtener agua para consumo humano, el purificador se emplea para eliminar patógenos y microorganismos.
- Recipiente recolector de agua: depósito de recolección del agua producida.

La obtención de agua mediante sistemas electromecánicos es más eficiente en lugares de elevada temperatura y humedad [37].

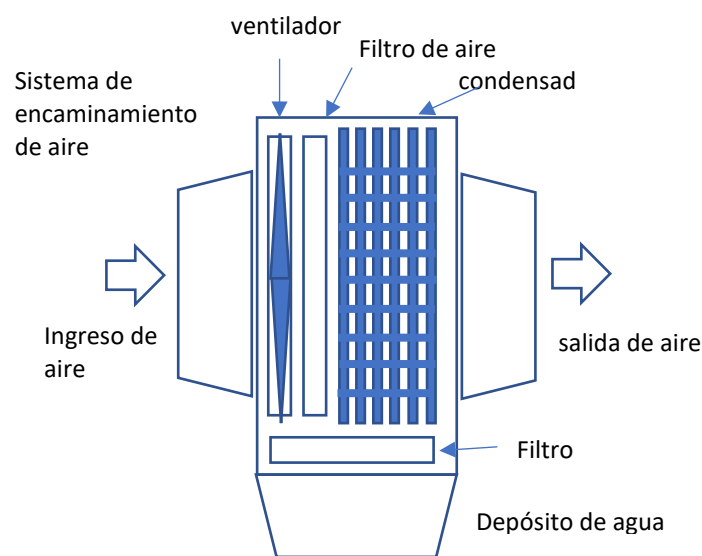


Fig. 14. Diagrama de un sistema electromecánico de extracción de agua del medio ambiente. Fuente: elaboración propia

2.2.11 Determinación de la cantidad de agua condensada en litros/día

Para la determinación de la cantidad de agua condensada en litros/día, debemos de tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Flujo de aire en m^3/min
- Humedad relativa
- Temperatura del ambiente

Para la determinación de la cantidad de agua producida por un determinado flujo de aire de entrada, primero se calcula la presión de saturación del flujo de aire y, a partir de ese resultado, se calcula el punto de rocío (Tri). Del flujo de entrada a la salida del sistema se fija una temperatura que evite el congelamiento del agua, por ejemplo, se define en 4.5°C, que equivale a la temperatura de rocío del flujo de salida que tiene una humedad relativa de 100%.

A manera de ejemplo, se calculará el volumen de agua producido por minuto para un flujo de aire húmedo de entrada al sistema con una velocidad de 1m³/minuto, a una temperatura de 21°C y una HR de 70%, empleando una hoja de cálculo Excel.

TABLA II

Cálculo de la presión de saturación

$\log_{10}(p) = A - B/(T+C)$	Ecuación de Antoine	
Donde:		
p = presión de vapor en mmHg		
T = temperatura en grados Celsius		
A, B y C = constantes específicas del agua, cuyos valores son:		
A	8.07131	
B	1730.63	
C	233.426	
T	21	C°
$\log_{10}(p) = A - B/(T+C)$	1.2692143	
Resultado		
Presión de vapor en mmH	18.5872141	mmH
Presión de vapor en atm	0.02445686	atm
Presión de vapor en bar	0.02478	bar

Nota: secuencia de cálculo para obtener la presión de saturación del vapor de agua.

TABLA III

Cálculo de la temperatura de rocío

CÁLCULO DE TEMPERATURA DE ROCÍO PARA HR		
Presión de vapor en bar	0.02478	Bar
Presión de vapor en atm	0.0245	Atm
Presión de vapor en mmH	18.5872	mmH
Humedad relativa	70%	
Presión a temperatura de rocío	13.01105	mmH

Temperatura de rocío de entrada	15.3	C°
Presión de vapor a TR	0.01735	Bar
<hr/>		
Temperatura de rocío de salida	4.5	C°
Presión de vapor a TR	0.00836	bar

Nota: secuencia de cálculo para obtener la temperatura de rocío del vapor de agua a una determinada temperatura.

TABLA IV

Cálculo del agua condensada en litros/día

CÁLCULO DE AGUA CONDENSADA		
Temperatura de ingreso	21	C°
Presión	0.02478	Bar
Humedad relativa ingreso	70%	
Temperatura de salida	4.5	C°
Presión	0.00836	Bar
Humedad relativa salida	100%	
Caudal de aire V	1	m ³ /min
Mcond=(w1-w2)*M_aire_seco		
w1=0.622 (Pv/P-Pv) entrada	0.011	Kg agua/Kg aire
w2=0.622 (Pv/P-Pv) salida	0.0052	Kg agua/Kg aire
M_aire-seco=Paire-seco*V*M_aire/RT	1.181	Kg aire seco/min
Mcond	0.0068	Kg agua/min
Mcond	6.8	ml/min
Mcond	406.3	ml/hora
Mcond	9.75	litros/día

Nota: secuencia de cálculo para obtener la cantidad de agua producto de la condensación

Luego de realizar el cálculo, el volumen de agua obtenida es de 9.75 litros/día.

2.2.12 Índice de producción de agua WFAR mediante equipos deshumedecedores y sistemas para la obtención de agua del medio ambiente

Para la determinación de un índice comparativo del nivel de producción de agua en diferentes lugares e intervalos de tiempo, se estableció condiciones de referencia: humedad relativa de 60%, temperatura del ambiente de 26.7°C y presión atmosférica de 1 atm, corresponde a una humedad absoluta de 15.3 g/m³. Como se menciona en

[37], el índice WFAR se obtiene del cociente de la humedad absoluta en un lugar determinado entre la humedad absoluta de referencia (15.3 g/m³). A fin de categorizar los lugares en los que puede ser obtener agua en forma eficiente aplicado la técnica de deshumidificación, se estableció la siguiente tabla.

TABLA V

Categorías de índice WFAR

Índice WFAR	Grado
1.00+	Excelente
0.76 a 0.99	Bueno
0.51 a 0.75	Regular
Menor de 0.51	Malo

Nota: indica la relación entre el valor de gr/m³ en una localidad dividido entre el estándar 15.3gr/m³. [36].

Por medio del índice WFAR se categorizó un conjunto de ciudades que se muestran a continuación.

Elev(m)	Index	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
42	0.44	0.08	0.09	0.16	0.31	0.46	0.82	1.12	0.99	0.64	0.36	0.18	0.1
54	0.47	0.08	0.1	0.17	0.3	0.52	0.82	1.11	1.12	0.68	0.41	0.21	0.11
1190	0.32	0.23	0.24	0.26	0.3	0.34	0.36	0.44	0.41	0.36	0.3	0.28	0.27
9	0.78	0.47	0.5	0.53	0.64	0.83	0.99	1.11	1.18	1.05	0.88	0.64	0.53
49	0.73	0.47	0.5	0.53	0.6	0.73	0.88	1.05	1.11	0.99	0.82	0.6	0.53
758	0.53	0.36	0.36	0.38	0.43	0.49	0.59	0.72	0.82	0.72	0.6	0.45	0.41
214	0.81	0.47	0.45	0.64	0.67	0.7	0.96	1.32	1.4	1.17	0.81	0.64	0.5
215	0.87	0.49	0.54	0.65	0.68	0.81	1.14	1.43	1.49	1.25	0.87	0.62	0.51
4	0.95	0.64	0.64	0.72	0.81	0.91	1.16	1.3	1.3	1.24	1.04	0.87	0.73
611	0.32	0.33	0.3	0.34	0.39	0.35	0.28	0.28	0.3	0.29	0.31	0.34	0.37
27	0.94	0.64	0.68	0.68	0.81	0.91	1.16	1.22	1.3	1.24	1.04	0.87	0.73
6	1.25	0.72	0.84	1.09	1.4	1.49	1.63	1.63	1.56	1.52	1.31	1	0.77
2233	0.5	0.38	0.37	0.4	0.46	0.52	0.6	0.64	0.64	0.6	0.53	0.46	0.43
14	1.2	0.79	0.86	1.08	1.26	1.42	1.48	1.5	1.44	1.4	1.29	1.01	0.85
544	0.9	0.68	0.67	0.66	0.8	0.85	1.1	1.18	1.19	1.18	0.99	0.82	0.68
14	1.33	1.18	1.18	1.22	1.29	1.41	1.45	1.44	1.44	1.45	1.38	1.32	1.22
15	1.37	1.1	1.23	1.37	1.56	1.53	1.37	1.38	1.42	1.47	1.45	1.31	1.21
920	0.97	0.77	0.78	0.84	0.97	1.1	1.1	1.05	1.1	1.07	1.05	0.97	0.87
834	0.9	0.88	0.88	0.88	0.99	1.05	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.94
3	1.33	1.26	1.4	1.46	1.41	1.39	1.34	1.3	1.25	1.2	1.3	1.37	1.34
7	1.25	1.2	1.3	1.3	1.3	1.25	1.23	1.22	1.17	1.21	1.25	1.3	1.25
7	1.38	1.33	1.5	1.5	1.5	1.51	1.34	1.26	1.27	1.26	1.34	1.42	1.33
Equator													
1099	0.49	0.68	0.64	0.49	0.49	0.35	0.31	0.31	0.3	0.37	0.49	0.6	0.68

Fig. 15. Categorías de índice WFAR para un grupo de ciudades. Fuente: [37]

Para el caso de Lima en la estación meteorológica de Cañete del SENAMHI, la humedad absoluta en promedio mensual varía entre 16.41 y 11.02 g/m³, según información obtenida a partir de Mapa de estaciones meteorológicas [38] que corresponden a un índice WFAR de 1.07 a 0.72.

2.2.13 Análisis de máquina de producción de agua de la humedad del ambiente

De acuerdo con un reporte de [37], se tiene una máquina de producción de agua CanDew 2500 TM con una producción promedio de 2500 litros/día para la ciudad de Freeport Bahamas durante un año.

TABLA VI

Producción de agua de la humedad del ambiente de la máquina CanDew 2500 TM

MES	EN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
ENTRADA												
T. aire entrada	30	20	22	23	25	27	28	28	27	26	23	21

HR	80	73	69	65	74	74	74	74	79	70	73	73
(HA) D. vapor gr/m3	24.3	12.6	13.4	13.4	17.0	19.1	20.1	20.1	20.3	17.0	15.0	13.4
P. de vapor mmH	31.7	17.5	19.8	21.0	23.7	26.7	28.3	28.3	26.7	25.1	21.0	18.6
PUNTO DE ROCÍO												
ENTRADA												
P. de vapor a Tr en mmH	25.4	12.8	13.6	13.7	17.5	19.7	20.9	20.9	21.1	17.6	15.3	13.6
T. rocío	26.2	15.0	16.1	16.1	20.1	22.0	22.9	22.9	23.0	20.1	17.9	16.0
P. vapor a TR en bar	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
	4	7	8	8	3	6	8	8	8	3	0	8
R. de H. Kg_ag/Kg_a. sec	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	2	1	2	2	5	7	8	8	8	5	3	1
SALIDA												
T. aire salida	13	5	5	5	9.2	12	13.4	13.4	13.1	9.6	6.3	5
HR	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
D. vapor gr/m3	11.3	6.8	6.8	6.8	8.9	10.7	11.6	11.6	11.4	9.2	7.4	6.8
P. de vapor mmH	11.1	6.49	6.49	6.49	8.67	10.4	11.4	11.4	11.2	8.91	7.11	6.49
	79	8	8	8	8	66	75	75	52	5	4	8
PUNTO DE ROCÍO												
SALIDA												
P. de vapor a Tr en mmH	11.2	6.5	6.5	6.5	8.7	10.5	11.5	11.5	11.3	8.9	7.1	6.5
T. rocío °C	13.0	5.0	5.0	5.0	9.2	12.0	13.4	13.4	13.1	9.6	6.3	5.0
P. vapor a TR en bar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
R. de H. Kg_ag/Kg_a. sec	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CONDENSADOR												
Caudal de aire m3/seg	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
Caudal de aire m3/min	204.	204.	204.	204.	204.	204.	204.	204.	204.	204.	204.	204.
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P. de vapor a TR bar	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
	49	87	87	87	16	40	53	53	50	19	95	87
R. de H. Kg_ag/Kg_a. sec	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	94	54	54	54	73	88	97	97	95	75	60	54
Kg aire seco/min	236.	241.	240.	240.	239.	238.	238.	238.	238.	239.	240.	240.
	8	0	7	7	4	7	3	3	3	4	1	7
PRODUCCIÓN DE AGUA												
M_agua/min	2.9	1.3	1.5	1.5	1.8	1.9	1.9	1.9	2.0	1.8	1.7	1.5
M_agua ml/min	2933	1283	1464	1467	1820	1910	1950	1950	2025	1786	1687	1450
M_agua ml/hora	1759	7699	8783	8802	1092	1146	1169	1169	1215	1071	1011	8700
	88	7	3	2	14	15	98	98	08	53	94	2
M_agua litros/hora	176	77	88	88	109	115	117	117	122	107	101	87
M_agua litros/día	4224	1848	2108	2113	2621	2751	2808	2808	2916	2572	2429	2088
M_agua litros/mes	1267	5543	6324	6337	7863	8252	8423	8423	8748	7715	7286	6264
	11	8	0	6	4	3	9	9	6	0	0	2
WFAR Index	1.6	0.8	0.9	0.9	1.1	1.2	1.3	1.3	1.3	1.1	1.0	0.9

Nota: producción de agua del equipo CanDew 2500 TM en la localidad de Freeport Bahamas. [37].

Se detalla los parámetros de entrada: flujo de aire (3.4m/s), temperatura, humedad del ambiente, presión atmosférica 1.013 bar y temperatura del aire de salida que varía desde 5°C hasta 13.4°C, tal como se muestra en la [37, tabla VI].

A partir de esta publicación, se tiene información de referencia importante que servirá para analizar y caracterizar el modelo de predicción de producción de agua desarrollado como parte de la presente tesis.

En la siguiente tabla, se observa que existe una correlación directa elevada entre la densidad de agua/m³ de aire húmedo y la producción de agua.

De la tabla se puede observar que existe una alta correlación ($R^2 = 0.9218$) entre densidad de vapor de agua en g/m³ y la producción de agua en litros/día. Dicha relación se muestra en la gráfica a continuación.

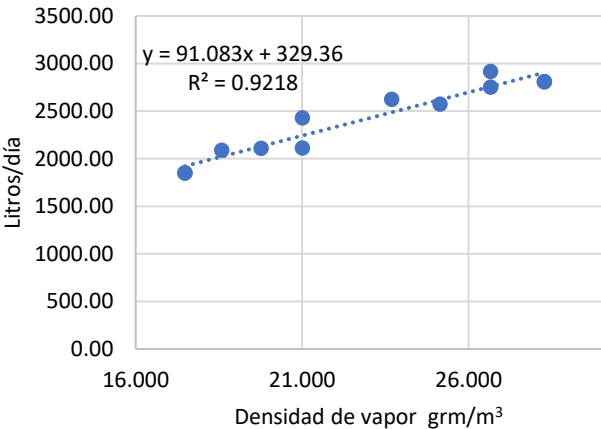


Fig. 16. Relación entre la densidad de vapor de agua y la producción de agua en litros/día. Fuente: elaboración propia

Asimismo, se puede observar la relación que existe entre la temperatura de entrada o temperatura del ambiente, la temperatura de rocío y la temperatura del aire húmedo de salida, como se muestra en la figura a continuación.

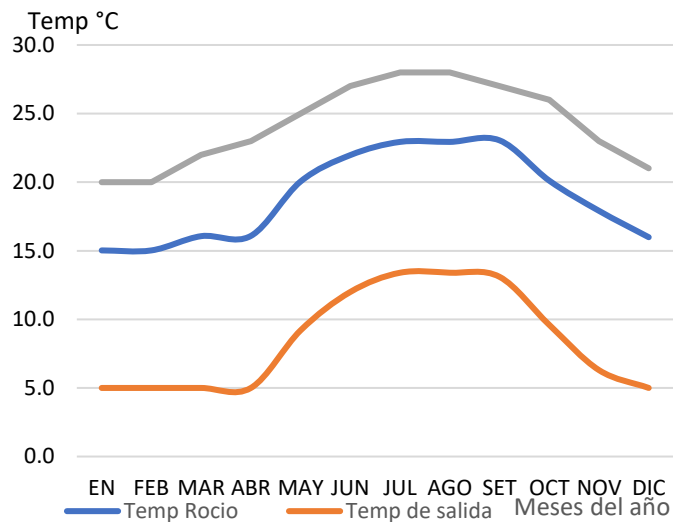


Fig. 17. Diferencia de temperatura de entrada, temperatura de punto de rocío y temperatura del aire de salida. Fuente: [37]

2.2.14 Métodos de extracción de humedad del medio ambiente

Existen diferentes métodos para obtener agua de la atmósfera, los que pueden ser clasificados de acuerdo con la figura mostrada a continuación.

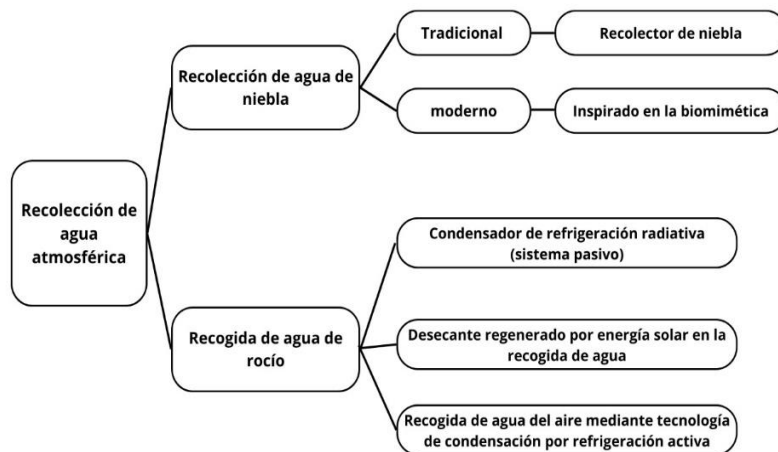


Fig. 18. Técnicas de captación de agua atmosférica. Fuente: [39]

- Obtención de agua de la niebla

El colector de niebla comprende una malla expuesta a la intemperie sobre la cual la niebla es impulsada por el viento. Se utilizan dos postes sobre cables de sujeción para

sostener la malla y para suspenderla se emplean cables. Las gotas de agua atrapadas por la malla se acumulan y drenan por gravedad en los canales del sistema de recolección de agua. Los colectores típicos tienen normalmente postes de 6 m de alto con una separación de 12 m, y poseen una malla que cubre los 4 m superiores del colector, lo que proporciona 48 m² de área de recolección de agua, que, para una máxima eficiencia, los colectores de niebla deben colocarse perpendicularmente al viento predominante. Normalmente, los colectores de niebla producen de 150 a 750 litros de agua al día, dependiendo del sitio. El costo de una unidad de colectores de niebla de 48 m² es de US\$400, según el país y los materiales [39].

- Obtención de agua mediante sistemas de condensación activa

Los sistemas de condensación activa que utilizan el ciclo Rankine inverso convencional funcionan de la misma manera que un deshumidificador, donde el paso de aire húmedo que pasa por un serpentín enfriado por un refrigerante hace que el vapor de agua se condense. La tasa de producción de agua depende principalmente de la humedad absoluta y la temperatura del aire. Se han descrito versiones de la tecnología en varios artículos académicos y patentes.

De acuerdo con estudios realizados, el agua obtenida por sistemas deshumedecedores era de calidad suficiente para el consumo humano. Con una entrada de energía de 160 vatios y una tasa de flujo de aire de 0.00623 m³/s, se informó que la cantidad de agua recolectada era tan alta como 1025 ml al día [39].

- Obtención de agua mediante enfriamiento TEC

La aplicación de enfriamiento termoeléctrico (TEC) está siendo investigada activamente como un enfoque alternativo al ciclo de Rankine convencional para la recolección de agua. Por ejemplo, [40] construyó un prototipo que contiene 10 componentes semiconductores Peltier, en el cual el disipador juega un papel importante en el enfriamiento.

Para mejorar el rendimiento de enfriamiento, los investigadores han introducido un disipador de calor interno en el lado frío para aumentar la tasa de enfriamiento y, por lo tanto, la tasa de condensación. Durante una ejecución de 10 horas, el TFWG (thermoelectric fresh water generator) con disipadores de calor internos mostró una

mejora del 81% en la cantidad de agua recolectada en comparación con el TFWG sin los disipadores de calor.

2.2.15 Costa de Lima y niveles de humedad

La costa peruana se extiende en altitud hasta los 500 m s. n. m. aproximadamente. Tiene unos 2250 km de longitud, aunque el litoral alcanza los 3080 km y tiene un ancho variable.

La costa peruana es moderadamente accidentada, en ocasiones las elevaciones presentan un microclima por la alta humedad invernal entre los 150 y 600 m s. n. m., lo que genera la llamada vegetación de las lomas, como en el caso de las lomas de Lachay. A pesar de la desertificación, hay alta humedad atmosférica, lo que produce una ligera sensación de frío, aunque la temperatura raramente baja de los 12°C.

La costa central, donde se ubica la capital de Perú, Lima, posee características climáticas de orden desértico: con escasez de lluvias durante todo el año. El clima es templado-cálido, ausente de extremo frío, pero también carente de extremo calor. Presenta elevada concentración de humedad llegando al 100% en algunas épocas del año. En Lima, los veranos son calurosos, áridos y nublados, mientras que los inviernos, frescos, secos y ventosos. Durante el año, la temperatura varía de 15°C a 27°C [41].

La zona de interés del presente estudio está focalizada en las zonas áridas de la costa de Lima próximas al mar, carentes de vegetación por la falta de fuentes y recurso hídricos próximos.

2.2.16 Estación de mediciones y monitoreo electrónico

Para la investigación fue necesario implementar una estación de monitoreo basado en una tarjeta IDE que emplea como controlador ARDUINO, y tiene asociado sensores de presión atmosférica, temperatura, humedad y medidor de volumen de agua producido diariamente en forma continua con registros grabados cada hora, durante el periodo de días de evaluación.

2.2.17 Fundamentación filosófica

La filosofía, entendida como el conjunto de reflexiones sobre la esencia, las propiedades, las causas y los efectos de las cosas naturales, referidas al hombre y el universo, posee diversos ejes que están presentes en todo conocimiento:

- Eje ontológico

Desde el punto de vista ontológico, se justifica la investigación en la medida que su aplicación potencial tendrá un uso por parte de la comunidad en el riego de zonas áridas, generando cambios de usos y costumbres en la comunidad al contar con opciones de cultivo potencial en zonas tradicionalmente abandonadas por tener la categoría de eriaza.

- Eje epistemológico

En [42], la epistemología estudia la teoría de los fundamentos y métodos del conocimiento científico. La presente investigación, a través de la experimentación y análisis, procurará nuevo conocimiento y los fundamentará mediante métodos para validar los mismos.

- Eje metodológico

En el eje metodológico, la presente investigación desarrolla en forma sistemática metodologías para las mediciones y el análisis de la producción de volúmenes de agua en función de las variables del medio ambiente y las condiciones del sistema empleado.

- Eje axiológico

La investigación emplea métodos que toman en cuenta la no contaminación ni daño al ser humano considerando valores básicos para la vida y la convivencia base de la axiología.

- Eje heurístico

En el eje heurístico, la presente investigación desarrolla técnica y métodos orientados a encontrar y solucionar problemas de difícil solución óptima o satisfactoria.

- Eje doctrinario

En el eje doctrinario, la presente investigación contribuye a generar una corriente de aplicación de la ciencia en un marco de pensamiento y acciones conservacionistas de protección de la naturaleza y del medioambiente, al utilizar energías renovables y elementos no contaminantes.

- Eje humanístico

En el eje humanístico, la presente investigación contribuye a la solución de un problema fundamental para la subsistencia de la humanidad como es la disponibilidad de agua.

2.3 Marco conceptual

El marco conceptual permite formar un concepto de la investigación a ser abordada. De acuerdo con [43], el marco conceptual sustenta a la investigación, ya que parte de la postura del investigador, describe algunas características que favorecen el desarrollo de un buen estudio, y ayuda al investigador a aclarar sus intenciones, para establecer el tipo de relación que busca entre las variables de interés y ponerla a prueba de la mejor manera con el fin de asegurar la calidad teórico-metodológica planteada. En [42], se define “formar concepto” como *“determinar algo en la mente después de examinadas las circunstancias”*.

En la presente investigación, en la línea del marco conceptual, se realizará un análisis de diferentes opciones, alcances y propósito de generación de agua aplicables a zonas áridas de la costa de Lima a través de diversos mecanismos empleando energía solar. El enfoque del estudio estará orientado solucionar el problema de obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima y su posible aplicación en cultivos o técnicas de cultivo de baja demanda de agua.

Para el estudio, se realizarán mediciones, se estudiarán los diversos parámetros que influyen en la obtención del agua de la humedad del ambiente como la temperatura,

la humedad relativa, la presión, así como la energía obtenida de los paneles solares. Todo ello con la finalidad de demostrar las hipótesis.

La presente investigación, además de la dimensión técnica de eficiencia o rendimiento energético de la solución técnica energía solar-humedad del ambiente, posee una dimensión social, cuya finalidad es posibilitar en las zonas rurales aisladas, carentes de energía convencionales y donde no existan otras fuentes de provisión de agua, disponer de una alternativa para provisión de agua para riego por goteo para cultivar plantas.

Para analizar las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente para la obtención de agua con diferentes equipos y tecnologías PELTIER y equipamiento electromecánico con condensador, se realizará la comparación de los equipos teniendo en cuenta lo siguiente: (i) rendimiento relativo litros por kilowat-hora, (l/kWh) denominado en la presente tesis como LIKH, (ii) gasto energético por litro de agua producido kWh/litro, definido como KIHLIT.

Para demostrar que el volumen de agua obtenido por la solución técnica energía solar-humedad del ambiente es suficiente para el propósito requerido, se analizará el requerimiento de agua de ciertos cultivos, como la sábila, y técnicas de cultivos que podrían cultivarse en zonas áridas de la costa de Lima.

Mediante la presente investigación, se pretende evidenciar la posibilidad de empleo en el corto y mediano plazo de la solución técnica planteada, cuya aplicación contribuirá a mejorar la calidad de vida del poblador rural en la medida que la obtención de agua abre la posibilidad de convertir terrenos estériles en terrenos aprovechables en un futuro, para ciertos cultivos que requieran bajo consumo de agua.

Conceptualmente, la solución planteada al problema e interrogante: ¿de qué manera las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente permitirán la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima Perú?, se pretende explicar a través de [fig. 19], en la cual se puede observar que el agua se puede obtener de medio ambiente (1) a partir de la variable humedad con los indicadores humedad absoluta (g/m^3) y humedad relativa (%); para lo cual se va emplear un sistema de

energía solar (2) con indicadores irradiancia (W/m^2) e irradiación (Wh/m^2). Para tal propósito se va a realizar un análisis de diferentes sistemas deshumecedores (3) tipificado por los indicadores (i1) producción de agua: litros por día (litros/día) y (i2) consumo de energía ($Wh/Litro$), con tecnología electromecánica con condensador y equipos con tecnología Peltier. La finalidad es evaluar las condiciones de producción de agua por día y el consumo de energía en $Kh/día$.

Se desea demostrar que el agua obtenida serviría para técnicas de riego de bajo consumo, como cultivo de sábila mediante riego por goteo y cultivo hidropónico. Además, en el modelo se tiene como aplicación específica dos casos de uso: (i) riego por goteo para cultivo de sábila y (ii) hidroponía para el cultivo de arándanos. La demanda de agua en términos de $ml/día$ o litros al mes por planta depende del tipo de planta (4) y la técnica de cultivo (5).

A continuación, se muestra el concepto de aplicación del sistema eficiente de energía solar-humedad de ambiente que puede ser empleado para agricultura de bajo consumo de agua en la costa peruana, dada las condiciones de humedad y temperatura de la zona, lo cual se representa en [fig. 19].

Cabe resaltar que el propósito de la presente tesis no es desarrollar el sistema de riego, ni demostrar costo eficiencia para la aplicación en zonas rurales, sino demostrar la posibilidad del empleo del sistema.

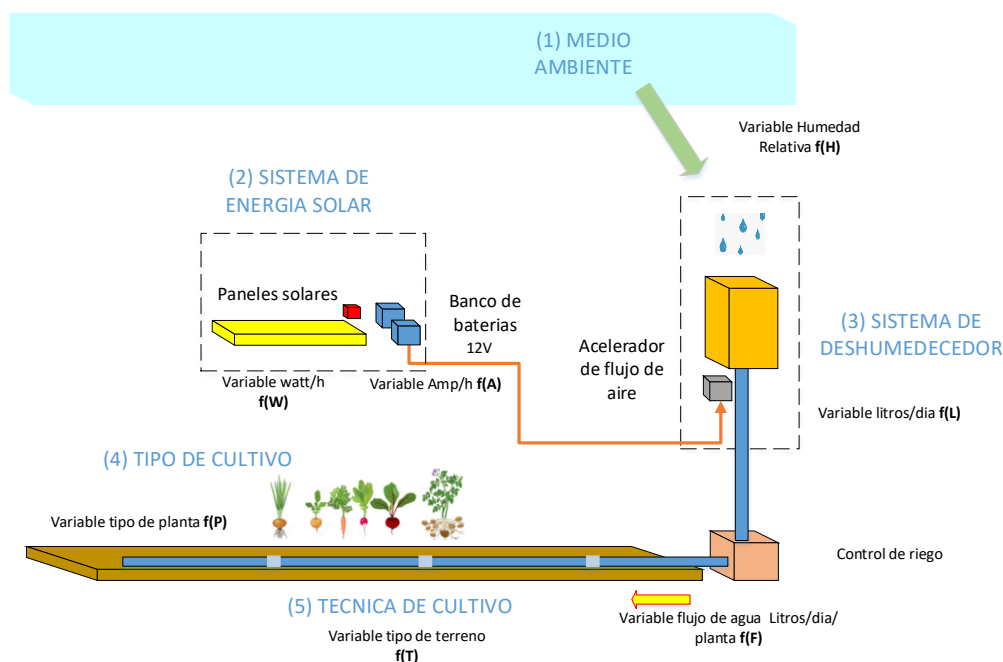


Fig. 19. Sistema de energía solar-humedad del ambiente para la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú, – esquema general. Fuente: elaboración propia

2.4 Definición de términos básicos

- Deshumecedor de ambiente: aparato que extrae la humedad del ambiente, empleando sistemas de refrigeración y condensación del aire.
- Energía solar: es una fuente renovable de electricidad que procede del sol. Como sabemos, el sol emite energía en forma de radiación y es la tecnología conocida, como celdas solares o células fotovoltaicas, la encargada de convertir esta radiación en energía utilizable.
- HVAC: es un sistema de aire acondicionado, las siglas provienen de una suma de palabras en inglés heating ventilation and air conditioning (aire acondicionado, ventilación y calefacción).
- Humedad absoluta: cantidad de agua en gramos que contiene un metro cúbico de aire seco.
- Humedad relativa: la humedad relativa (RH) es la relación entre la presión parcial del vapor de agua y la presión de vapor de equilibrio del agua a una temperatura dada.
- Índice WFAR: indicador de capacidad potencial de producción de agua en una determinada zona geográfica en función de la humedad absoluta.
- Irradiancia: es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética y se expresa en Kw/m^2
- Irradiación: es la energía del sol recibida durante un periodo que puede ser un día o periodos más largos. Para el diseño de sistemas de energía solar se emplea $kWh/m^2/día$.
- KIHLLIT: para la presente investigación, se define el KIHLLIT como el costo energético en Kilowatt-hora para producir un litro.
- LIKH: para la presente investigación, se define el LIKH como la unidad de producción de litros por kilowatt hora.

- Paneles solares: un panel solar es un dispositivo que aprovecha la energía del sol para generar electricidad. Constan de multitud de celdas, llamadas células fotovoltaicas, que convierten la radiación solar en electricidad. Se genera electricidad debido al 'efecto fotovoltaico' que provoca la energía solar (fotones), generando cargas positivas y negativas en dos semiconductores próximos de distinto tipo, lo que determina un campo eléctrico que producirá corriente eléctrica.
- Peltier: es una bomba de calor activa de estado sólido que transfiere calor de un lado del dispositivo al otro, con consumo de energía eléctrica, dependiendo de la dirección de la corriente.
- IDE: es un sistema de software para el diseño de aplicaciones que combina herramientas del desarrollador comunes en una sola interfaz gráfica de usuario (GUI).
- TEC: técnica de enfriamiento termoeléctrico, empleando celular semiconductoras Peltier.
- Ventilación - Air conditioning: sistema de ventilación calefacción, ventilación y aire acondicionado.
- WFAR: sistemas de obtención de agua del medio ambiente.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis general y específicas

3.1.1 General

Las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente permiten la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú.

3.1.2 Especificas

- Las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente permiten un adecuado rendimiento energético para la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú.

- Las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente permiten la obtención de un volumen adecuado de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú, para cultivos de bajo consumo de agua.

3.1.3 Operacionalización de variables

a) Definición conceptual de variables

Las variables relevantes intervienen directamente en el problema y conllevan a la demostración de la hipótesis, objeto del estudio. Las variables consideradas en la presente investigación son las siguientes:

- Variables independientes:

Variable X1 = energía solar, caracterizado por los indicadores: (i1) la irradiancia solar (W/m^2) y (i2) la irradiación solar (Wh/m^2).

Variable X2 = humedad del ambiente, caracterizado por los indicadores: (i1) la humedad relativa (%), (i2) la humedad absoluta gramos de agua por metro cúbico de aire seco (g/m^3) e (i3) temperatura del ambiente.

- Variable dependiente:

Variable Y = obtención de agua del ambiente en la costa de la región Lima, Perú, caracterizada por los indicadores: (i1) producción de agua litros/día, (i2) energía consumida watts-hora/litro e (i3) índice WFAR.

b) Operacionalización de variables

Las variables intervinientes del estudio son de naturaleza numéricas y continuas, las cuales nos permitirán, a partir de mediciones, obtener datos que serán tabulados, ordenados y procesados; están definidas por sus indicadores que se detallan a continuación:

TABLA VII

Operacionalización de variable independiente 1: energía solar

Variable independiente 1: energía solar				
Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Tipo de variable

La energía solar se obtienen a partir de la radiación solar que llega a la tierra en forma de calor, luz o rayos ultravioleta.	Los valores de irradiancia e irradiación son obtenidos de información disponible en web de la NASA	irradiancia solar (potencia)	W/m ²	Cuantitativa continua
		irradiación solar (energía)	Wh/m ²	Cuantitativa continua

Nota: operacionalización de la variable independiente 1: energía solar, indicando las dimensiones, los indicadores y el tipo de variable.

TABLA VIII

Operacionalización de variable independiente 2: humedad del ambiente

Variable independiente 2: humedad del ambiente				
Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Tipo de variable
La humedad del ambiente se debe al vapor de agua que se encuentra presente en la atmósfera. La cantidad de vapor de agua que puede absorber el aire depende de la temperatura y su magnitud de la humedad relativa, lo que se traduce en humedad absoluta	Los valores son obtenidos en base a mediciones realizadas diariamente una estación implementada para la presente investigación y de información diaria del SENAMHI	Humedad absoluta	gramo de agua /m ³ de aire seco	Cuantitativa continua
		Humedad Relativa	% porcentaje	Cuantitativa continua
		Temperatura	°C	Cuantitativa continua

Nota: operacionalización de la variable independiente 2: humedad de ambiente, indicando sus características más importantes.

TABLA IX

Operacionalización de variable dependiente 1: obtención de agua del medio ambiente

Variable Dependiente 1. Obtención de agua del medio ambiente				
Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Tipo de variable
Agua obtenida de la humedad de la atmósfera en	Los valores de la variable son obtenidos en base a mediciones	Agua producida	Indicador 1• Litros/día.	Cuantitativa continua
		Rendimiento	Indicador 2 KWh/litro	Cuantitativa continua

condiciones de eficiencia	realizadas por estación implementada y comparadas con un modelo de predicción en Excel	Capacidad de producción de agua WFAR	Indicador 3 índice (numérico)	Cuantitativa continua
---------------------------	--	--------------------------------------	-------------------------------	-----------------------

Nota: operacionalización de la variable dependiente 1: obtención de agua del medio ambiente indicando sus características más importantes.

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Diseño de investigación

La presente investigación es aplicada tecnológica, descriptiva. El enfoque es cuantitativo, que se define como “la búsqueda de un conocimiento sistemático, comprobable y comparable, medible cuantitativamente y replicable. Procura la explicación de los fenómenos y eventos del mundo natural y social, y la generalización de las conclusiones” [44]. Tiene por finalidad es generar nuevo conocimiento y ponerlo en práctica para favorecer a la sociedad, de acuerdo con los datos empleados.

El diseño de la investigación es teórico no experimental, no controla, no manipula o alterar la variable, sino que se basa en la observación, la interpretación y las interacciones para llegar a una conclusión basada en el acceso a fuentes confiables de información y mediciones periódicas durante un año de las variables del estudio: (i) energía solar, que mediante la radiación y el empleo de paneles solares se traducirá en potencia generada y corriente almacenada; (ii) humedad del ambiente, el cual se medirá con sensores de humedad, posibilitando la obtención de la humedad relativa; (iii) obtención de agua del medio ambiente, para la cual se medirá la cantidad de litros obtenidos durante el día y la potencia requerida para la obtención de la cantidad de agua diaria.

4.2 Método de investigación

El método de la presente investigación es inductivo-deductivo, lo constituyen los procedimientos sistematizados y las herramientas que se utilizan para obtener y analizar los datos, cuya característica y esencia es la replicación y objetividad. Para

la presente investigación, se implementará un prototipo de sistema generador de agua con un sistema medición basado en un controlador IDE (Integrated Development Environment) fundamentado en un microcontrolador ARDUINO con una unidad de memoria SD y sensores de temperatura, presión, humedad relativa y volumen de agua obtenido, de tal forma que permita el registro de las mediciones por muestreo durante las 24 horas del día. Se especificará los instrumentos de medición y se describirá el procedimiento a seguir para la recolección de datos y su posterior análisis.

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

La población o universo es el conjunto de registros de medidas que caracterizan a las variables definidas en la presente tesis en la operacionalización de variables: irradiancia (KW), irradiación (KWh), humedad relativa (%), humedad absoluta (g/m^3), volumen de agua producido (litros), rendimiento (litros/Kwh), capacidad de producción de agua WFAR durante el año 2022. Dicha población (conjunto de registro de medidas) sobre las que se va a realizar la investigación, que posteriormente luego de un procesamiento estadístico y análisis, permitirá demostrar las hipótesis.

Si bien las variables adoptan durante el intervalo de observación de un año, un universo muy elevado, no es práctico el registro de todo el universo de valores ni es necesario tener todos los valores para demostrar la hipótesis. En términos prácticos y por cuestiones de recursos, costos, facilidad de implementación y tiempo en la investigación se define una muestra que sea suficiente para representar el comportamiento de la variable durante el periodo de estudio, la cual se indica a continuación.

4.3.2 Muestra

Como se explicó en la sección de población, las variables adoptan valores muy elevados durante el periodo de observación, dependiendo de la frecuencia de muestreo por lo cual se adoptó criterios para definir el tamaño de muestra.

En principio consideramos las herramientas disponibles y las fuentes de información de instituciones referentes de prestigio (SENAMHI y NASA) sobre las variables

observadas, cuya frecuencia está disponible en periodos de una hora durante todos los días del año. Así mismo la tarjeta IDE ARDUINO, posee memoria limitada, por lo, se definirá una frecuencia de muestreo de 10 minutos por muestra y una frecuencia de registro de cada hora para las variables humedad relativa, temperatura, presión barométrica, volumen de agua producido. Ello en la medida que la información disponible de la NASA y SENAMHI posee una frecuencia de una hora. Para el año 2022, considerando un registro cada hora se tiene 8760 registros para cada variable. Valor que corresponde al tamaño de muestra que para este caso coincide con la población.

4.4 Lugar de estudio

En la presente investigación, se analiza las variables independientes: (a) energía solar con los indicadores irradiancia (W/m^2) e irradiación (Wh/m^2) de generación eléctrica, y (b) humedad del ambiente, y la variable dependiente: (c) obtención de agua en condiciones ambientales definidas. Por razones de seguridad y practicidad, para el estudio de la variable (c) se ha implementado una estación de medición y monitoreo en el domicilio del autor ubicado en el distrito de Miraflores, provincia de Lima, Perú; lo cual permitirá establecer relaciones de comparación entre la técnica de obtención de agua empleando sistema electromecánico WFAR y Peltier, así como verificar el volumen de producción de agua durante el periodo de estudio en diferentes horas del día para diferentes condiciones ambientales.

El estudio correspondiente a la generación de energía eléctrica y las condiciones ambientales para la producción de agua (a y b) se ha realizado en el distrito Imperial, allí existen zonas sin energía eléctrica de fácil acceso para el investigador, además de disponerse de información meteorología del SENAMHI.

4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

La técnica empleada consiste en medir la producción de agua en litros/día, generada por el sistema energía solar-humedad del ambiente, con base en mediciones periódicas de los parámetros del sistema, mediante sensores e instrumentos

electrónicos asociados a una unidad electrónica basada en la estación de monitoreo implementada (controlada por el dispositivo Arduino). Es decir, la medición de las variables de la investigación se realizó mediante instrumentación electrónica.

El procedimiento para el registro de información es el siguiente:

a. Para las variables medibles con la estación de trabajo

- Este tipo de registro se realizó automáticamente mediante sensores conectados al IDE Arduino, el cual, mediante el programa residente, capturó las medidas de los sensores cada 10 minutos, obtuvo el promedio durante cada hora y registro los datos en una plantilla de archivo Excel.
- Los datos registrados en forma ordenada en la tabla pueden ser accedidos mediante una PC con conexión a red, debido a que la estación de medida dispone de un puerto de red ethernet.

b. Para las variables obtenidas de instituciones referentes

La obtención de información y su registro se realizó en forma manual tanto para la información obtenida de la NASA sobre la irradiancia y la irradiación en el ámbito de estudio como la información sobre la humedad relativa y la temperatura generada del SENAMHI a través de las páginas: <https://power.larc.nasa.gov/> y <https://www.senamhi.gob.pe/site/descarga-datos/pdf/tutorial-para-la-descarga-de-datos.pdf>.

Los instrumentos empleados para la recopilación de datos, su organización y su posterior procesamiento son los siguientes:

- Archivo digital de registro de datos:

Registra los datos de manera ordenada y sistemática, permite la revisión en cualquier momento de los datos, lo cuales son guardados en una unidad de memoria por la estación de mediciones implementada con el dispositivo Arduino, en formato CSV el cual es transformado en hoja de cálculo Excel para su procesamiento y análisis.

- Archivo de fichas bibliográficas:

Recogen únicamente las referencias bibliográficas de los documentos que se han consultado para la realización de este trabajo científico. En ellas se registra o consigna todos los datos precisos para su localización y su correcta referencia ulterior en el trabajo. Permite la anotación de las ideas extraídas de los trabajos leídos.

Indispensable para la redacción de la introducción, el marco teórico y la discusión de los trabajos, así como sirve como referencia en el análisis estadístico de datos.

4.6 Análisis y procesamiento de datos

La información para la presente investigación fue obtenida de la NASA, SENAMHI y de la estación experimental implementada para el presente estudio durante el año 2022. El análisis estadístico y procesamiento de datos se realizó empleando MS Excel, herramienta ofimática que permite registrar datos en tablas y gráficos, además de realizar operaciones estadísticas de las cuales se emplearon las siguientes durante el desarrollo de la tesis:

- Regresión: modela matemáticamente la variable desconocida o dependiente y la variable conocida o independiente como una ecuación lineal.
- Coeficiente de determinación de fórmula: el coeficiente de determinación compara los valores reales y calculados, y los rangos con valor de 0 a 1. Si el resultado es 1, hay una correlación perfecta en la muestra, es decir, no existe diferencia entre el valor calculado y el valor real obtenido.
- Coeficiente de correlación: valor entre 0 y 1 que cuantifica la intensidad de la relación lineal entre dos variables en un análisis de correlación.
- Función de densidad de la distribución normal de las variables: permite obtener la media y desviación estándar de la variable observada.

La herramienta informática permitió manipular datos numéricos y de texto, analizar información, generar reportes, entre otros.

Para el analizar el comportamiento de las variables se hizo en dos periodos: diario y anual. Para el caso diario, los datos empleados son registros cada hora, mientras que para el caso anual se tomó el promedio mensual de los registros de cada variable. Para determinar la correlación entre variables, se optó por analizar los registros obtenidos durante un día, debido a que el trabajar con promedios mensuales no permite tener una adecuada precisión de la operación. Adicionalmente, se obtuvo la desviación estándar de cada variable tanto anual como diario.

El análisis y el procesamiento de datos han permitido obtener tablas y gráficos que se presentan a partir del capítulo IV, en particular en la discusión de resultados y que ha

hecho posible corroborar las hipótesis y llegar a las conclusiones de la presente investigación.

4.7 Aspectos éticos en investigación

La presente investigación se realizó de acuerdo con el Código de ética de investigación de la Universidad Nacional del Callao, respectándose estrictamente los principios éticos del investigador de la UNAC (artículo 8).

En la presente investigación se ha considerado el empleo de soluciones técnicas que no afectaran el medio ambiente, sino por el contrario, al emplear energía renovable, está en la línea de la no contaminación y la sostenibilidad del medio ambiente.

V. RESULTADOS

5.1 Resultados descriptivos

. Entre los resultados descriptivos obtenidos tenemos los siguientes:

- i) Método de medición de agua obtenida de forma diaria para producción de volúmenes medianos (sistemas electromecánicos),
- ii) Método de medición de agua obtenida de forma diaria para producción de volúmenes pequeños (Peltier),
- iii) Método para el análisis y estudio de las condiciones meteorológicas en el ámbito de la investigación,
- iv) Comparación de rendimiento de extractores de humedad con tecnología con condensador con refrigerante y tecnología Peltier,
- v) Modelo en Excel para el estudio de los procesos de generación de agua,
- vi) Determinación del requerimiento de agua de riego por goteo en sábila y sistemas hidropónicos para arándanos, y
- vii) Dimensionamiento de Sistema de energía solar para la obtención de agua.

A continuación, se describen estos resultados:

5.1.1 Método de medición para la producción de volúmenes medianos de agua producidos (sistemas electromecánicos)

El método se explica en tres partes: (i) la implementación de la estación de medición, (ii) la calibración y el (iii) registro y procesamiento de información.

- Implementación de estación de medición de producción de agua a partir de la unidad del ambiente, empleando tecnología electromecánica con condensador.

Se construyó una estación de producción de agua a partir de la humedad del ambiente alimentado con energía solar. La estación consta de un equipo WFAR AW30 de 660 watts de potencia, 220VAC a 60Hz, capacidad de 3 0L/día a 30°C y HR 80%. Posee un cilindro de PVC de 8 pulgadas de diámetro y 1 metro de altura en el cual se realiza la medición del volumen de agua producido durante 24 horas a partir de la altura del agua llenada en el tubo por unidad de tiempo.

La estación dispone de un microcontrolador Arduino [fig. 20] encargado de realizar las mediciones y enviar la información a una laptop a través de un puerto ethernet.



Fig. 20. Controlador Arduino para el sistema de medición. Fuente: implementación propia

Para medir la temperatura y humedad relativa posee un sensor DTH22 [45, fig. 21), el cual tiene un rango de medición de temperatura de -40°C a 80°C con una precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y para la humedad de 0 a 100% RH con precisión de 2% RH.

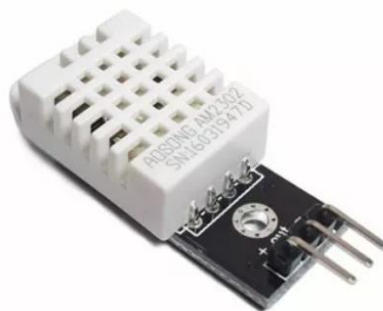


Fig. 21. Sensor de temperatura y humedad del ambiente. Fuente: [45]

La presión barométrica y temperatura del ambiente se obtiene a través del sensor BMP 180 [46, fig. 22).

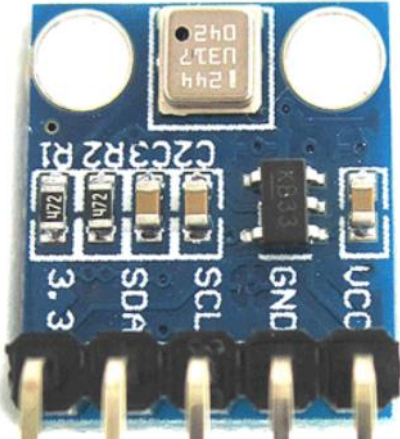


Fig. 22. Sensor de presión barométrica. Fuente: [46]

En la parte superior del cilindro se tiene un sensor de distancia con ultrasonido HC-SR04 [47, fig. 23] con un rango de medida de 2 a 450 cm, medida que sirve para determinar el nivel del agua acumulada en el cilindro.

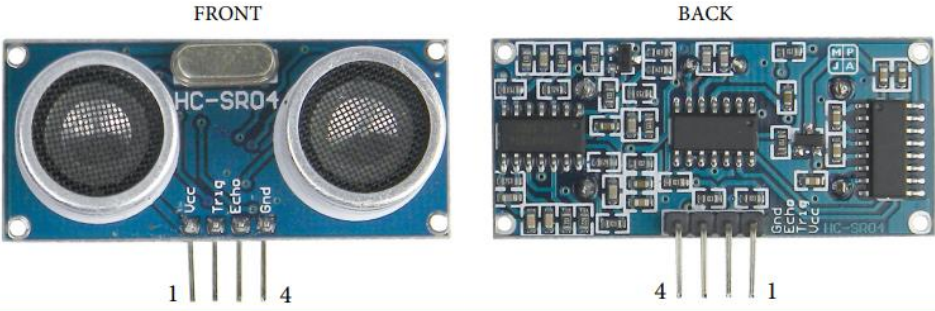


Fig. 23. Sensor de distancia mediante ultrasonido. Fuente: [47]

A continuación, se muestra en [fig. 24] el sensor de ultrasonido instalado en la parte superior del tubo donde se recolecta el agua obtenida por el equipo WFAR. La información de los sensores se obtiene en forma continua cada segundo, se registra cada 10 minutos y se guarda en un archivo Excel.



Fig. 24. Dispositivo de captación y medición de volumen obtenido de agua mediante sensor de distancia por ultrasonido. Fuente: implementación propia

El esquema completo comprende: (i) un tubo PVC de 8 pulgadas de diámetro y altura 1.10 m con una capacidad de 35.6 litros; (ii) una unidad de sensado y medición, (iii) una laptop de registro de mediciones y (iv) un equipo WFAR AW-30 para obtener agua del medio ambiente, tal y como se muestra en [fig. 25].

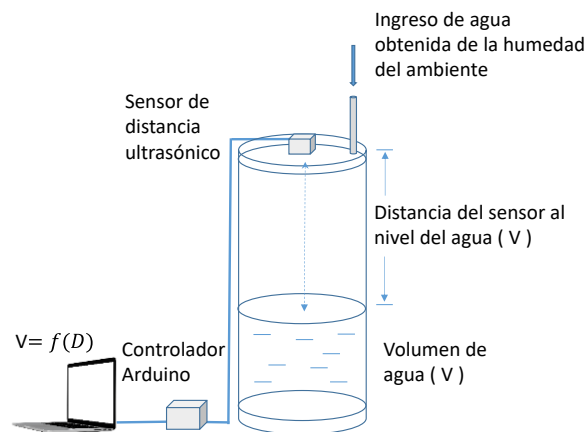


Fig. 25. Sistema de medición del agua obtenida de la humedad del ambiente. Fuente: elaboración propia

El equipo WFAR [fig. 26] empleado tiene un rango de operación de 5°C a 38°C, 220VAC, 660W con refrigerante R407c/500 g y dimensiones 350x510x605 mm y peso de 31 kg.



Fig. 26. Sistema de medición para obtener agua del mediamente con equipo WFAR electromecánico.
Fuente: implementación propia

- Medición de cantidad de agua obtenida mediante sensor ultrasónico

La medición del volumen de agua producido se realiza con el sensor ultrasónico, el cual mide la distancia entre la tapa del tubo colector (en la que se ubica el sensor) y el nivel del agua del tubo colector. Dicha distancia está en función del volumen de agua colectada. El programa que mide y registra la capacidad fue calibrado para proporcionar medidas de volumen de agua del tubo PVC distancia. La función de medición se obtuvo en forma experimental, la cual se muestra en [fig. 27].

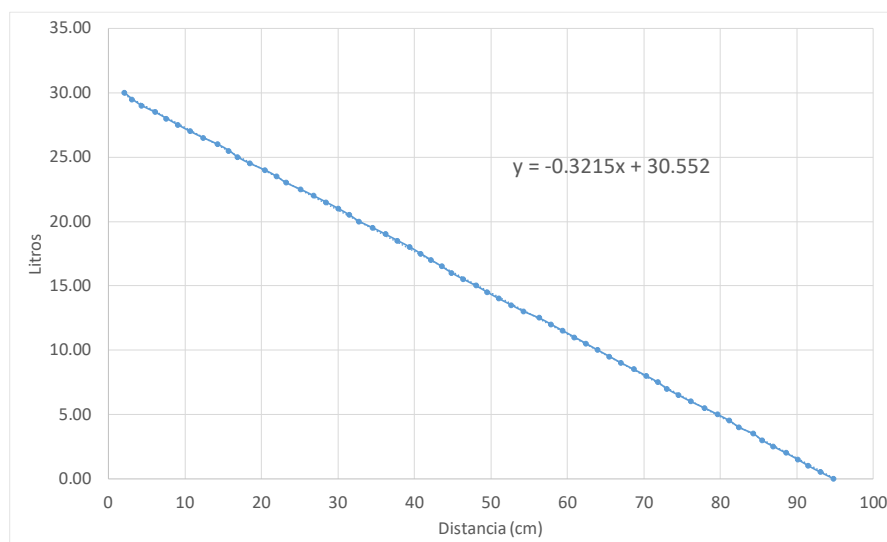


Fig. 27 Relación distancia volumen de agua en litros. Fuente: elaboración propia

La curva resultante de la calibración distancia-capacidad en litros tiene la ecuación:

$$Y = -0.3215X + 30.55$$

Donde el eje horizontal (x) representa la distancia del nivel del agua con respecto al sensor y el eje vertical (y) representa la cantidad de litros del depósito.

- Registro y procesamiento de información

El registro de información se realizó mediante un script de programación en Arduino a través del cual la información periódica obtenida de los sensores se registró en una memoria SD con la finalidad de que un programa de comunicación permitiera desde una PC acceder a una interfaz web para obtener la información en formato compatible con el software Excel, para su posterior análisis mediante funciones de gráfico y estadísticas. A continuación, se muestra la pantalla del programa que permite la visualización de la lectura de los parámetros de medición con la opción de descarga de archivo con la información registrada.

Monitor del Sistema v1.0

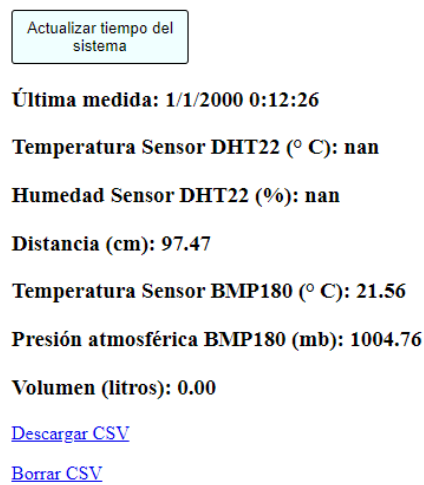


Fig. 28. Imagen de la pantalla de visualización del programa de lectura y descarga de información basado en el IDE Arduino. Elaboración propia

Resultado: método de medición y registro de volumen de agua asociado a parámetros medioambientales, empleando la técnica de .de medición de volumen de agua producido en función de la distancia, con el uso de sensor ultrasónico y sensores de temperatura, humedad relativa y presión barométrica.

5.1.2 Método de medición para producción de volúmenes pequeños de agua (Peltier)

- Implementación del sistema de medición de producción de agua a partir de la humedad del ambiente empleando tecnología Peltier

Los volúmenes de agua producido con la tecnología PELTIER son bastante menores que en la técnica electromecánica, por lo cual para este propósito se empleó una balanza electrónica marca CAS modelo PR11-30ED de 220 VAC a 60Hz, con capacidad de medición de hasta 15Kg y precisión de 1gr.

El sistema de medición [fig. 29] consta de la balanza electrónica que dispone un puerto serial RS232 a través del cual envía la medida del peso al controlador basado en un IDE Arduino con sensor de presión atmosférica, temperatura del ambiente y humedad, para medir las condiciones ambientales de producción de agua.



Fig. 29. Sistema de medición para obtener agua del medioambiente con equipo Peltier. Fuente: implementación propia

- Medición de cantidad de agua obtenida mediante peso del agua con balanza electrónica

Luego de la implementación del sistema de obtención de agua de la atmósfera, basado en tecnología PELTIER, se procedió a realizar mediciones durante 24 horas y se obtuvo los siguientes resultados:

Capacidad/hora: 20 ml

Temperatura sensor 1: 26.66°C

Temperatura sensor 1: 25.75°C

Humedad relativa: 56.75

Presión atmosférica: 1000.03 bar

Humedad absoluta: 14.33 g/m³

Temperatura de rocío: 17.38°C

De acuerdo con las mediciones realizadas cada hora durante un día se obtuvo la siguiente tabla.

TABLA X

Mediciones realizadas durante 24 horas con tecnología Peltier

Item	hora	Vol	cap/h	tem	HR	pres	HA	TR
0	06:06:59	0.000						
1	07:06:59	0.015	0.015	26.1	58.5	1000.0	14.3	17.3
2	08:05:59	0.029	0.016	26.0	58.8	1000.4	14.4	17.4
3	09:06:00	0.044	0.024	26.2	58.0	1000.8	14.2	17.2
4	10:06:00	0.058	0.003	26.7	56.7	1000.8	14.3	17.4
5	11:06:00	0.074	0.023	27.6	54.7	1000.6	14.5	17.6
6	12:06:00	0.091	0.017	27.2	55.6	1000.1	14.5	17.6
7	13:06:00	0.109	0.015	27.0	56.7	999.6	14.6	17.7
8	14:06:00	0.126	0.015	27.5	55.7	999.0	14.7	17.8
9	15:05:59	0.142	0.018	27.6	55.5	998.6	14.7	17.9
10	16:06:00	0.155	0.015	27.5	54.7	998.4	14.5	17.6
11	17:06:59	0.168	0.013	27.5	54.9	998.7	14.5	17.6
12	18:06:00	0.184	0.020	27.3	54.9	999.1	14.4	17.4
13	19:06:00	0.201	0.017	26.7	55.9	999.6	14.2	17.2
14	20:07:00	0.218	0.017	26.5	56.5	1000.2	14.2	17.2
15	21:06:00	0.234	0.014	26.6	56.7	1000.9	14.3	17.3
16	22:06:00	0.251	0.018	26.2	58.1	1001.2	14.3	17.4
17	23:06:00	0.265	0.014	26.3	57.5	1001.4	14.2	17.3
18	00:06:00	0.283	0.018	26.0	58.3	1001.3	14.2	17.2

19	01:06:00	0.301	0.018	26.1	57.4	1000.9	14.1	17.1
20	02:07:00	0.318	0.017	25.8	58.7	1000.4	14.1	17.1
21	03:06:59	0.333	0.015	25.8	59.0	999.8	14.2	17.2
22	04:06:00	0.349	0.016	26.4	57.4	999.6	14.3	17.3
23	05:06:00	0.367	0.019	26.6	56.2	999.5	14.1	17.2
24	06:06:00	0.386	0.019	26.6	55.7	999.8	14.0	17.0

Nota: mediciones realizadas con equipo Peltier indicando la hora (hora), el volumen de agua producido (Vol), la capacidad producida por hora (cap/h), la temperatura (tem), la humedad relativa (HR), la presión atmosférica (pres), los cuales se emplearon para calcular la humedad absoluta (HA) y la temperatura de rocío (TR).

A partir del grafico de la cantidad de agua colectada durante un periodo de 24 horas, se obtiene la curva que se presenta a continuación.

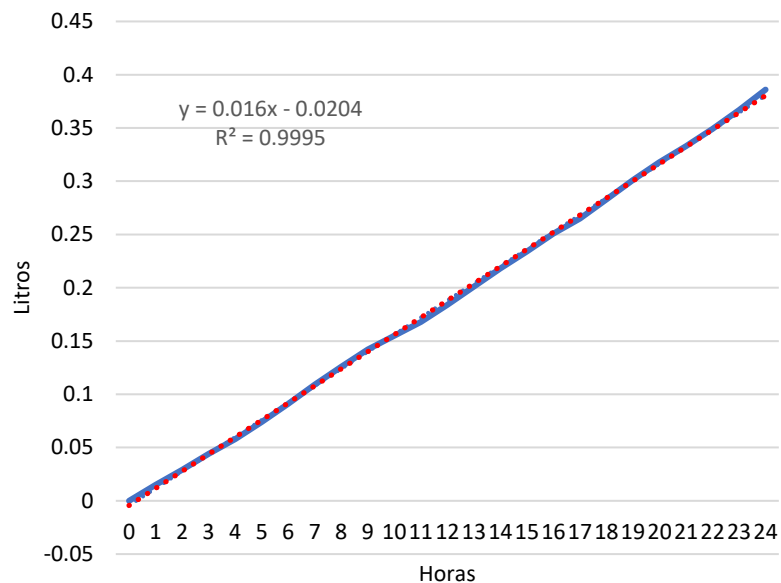


Fig. 30. Producción de agua Peltier. Fuente: elaboración propia

Donde la producción de agua en el periodo de 24 horas tiene la siguiente función.

$$Y = 0.016X + 0.0204$$

Y: volumen de agua en litros

X: horas del día

- Registro y procesamiento de información

El registro de información se realizó mediante un programa desarrollado en Python, el cual lee a través del puerto serial USB de la computadora la información enviada por el controlador Arduino, por cuyo intermedio la información periódica obtenida de los sensores genera un archivo compatible con el software Excel, para su posterior análisis mediante funciones de gráfico y estadísticas. El promedio de medidas diario es de 386 mL.

Resultado: método de medición de volumen de agua obtenido para pequeños volúmenes de producción menores a 15 litros diarios, empleando balanza electrónica y sensores de presión atmosférica, temperatura y humedad relativa.

5.1.3 Método para el análisis y estudio de las condiciones meteorológicas en el ámbito de la investigación

Para la obtención de agua del medio ambiente, es importante estudiar las condiciones meteorológicas del ámbito de investigación, en este caso, la costa sur de Lima. La información principal empleada para la presente investigación corresponde a la estación meteorológica Cañete y, de forma complementaria, se tiene también la estación de San Borja pertenecientes al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)

Estación meteorológica Cañete

Departamento: Lima Provincia: Cañete Distrito: Imperial

Latitud: 13°4'28.82" Longitud: 76°19'49.46" Altitud: ESTACION116 m s. n. m.

De acuerdo con la información obtenida de SENAMHI [38], durante el año 2022, con la frecuencia de una hora en forma continua, se tiene los resultados siguientes:

- Humedad relativa anual de la estación de Cañete

De los datos obtenidos de la estación de monitoreo ambiental, se puede observar que la humedad relativa mínima es 49% (mes de marzo) y la humedad relativa máxima alcanza el 100%.

TABLA XI

Humedad relativa mínima y máxima

MES	HR MIN %	TEMP °C	HR MAX %	TEMP °C
Ene-00	56	27	99	20
Feb-00	55	28	100	19
Mar-00	49	29	97	19
Abr-00	56	27	99	20
May-00	60	26	100	16
Jun-00	64	20	100	15
Jul-00	68	22	100	14
Ago-00	71	18	100	14
Set-00	64	19	97	14
Oct-00	62	21	98	14
Nov-00	57	25	100	18
Dic-00	56	26	100	17

Nota: registros tomados de la estación de monitoreo del SENAMHI [37], durante el año 2022, referidas a la temperatura con la humedad relativa, donde se puede observar que las temperaturas bajas generan elevada humedad relativa y viceversa.

Con relación a la humedad relativa mínima se puede observar que esta llega al 49% en el mes de marzo con una temperatura de 29.1°C.

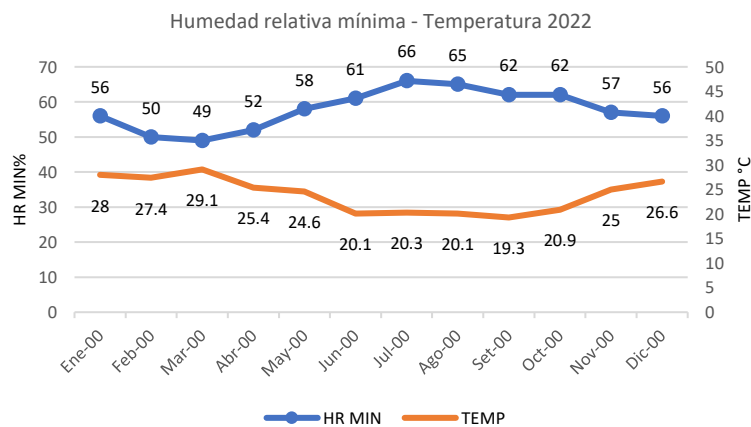


Fig. 31. Humedad relativa mínima y la temperatura durante el año 2022 de la estación Cañete.
Fuente: [38]

Con relación a la humedad relativa máxima, se puede observar que esta llega al 100% en los meses de febrero, mayo, junio, julio, agosto, noviembre y diciembre, con temperaturas que varían de 18°C a 28°C.

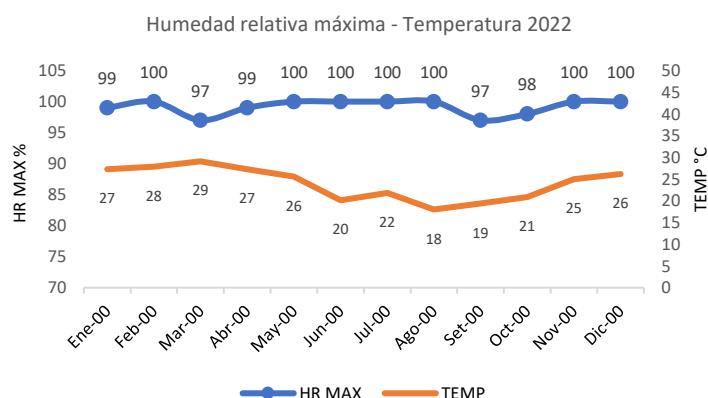


Fig. 32. Humedad relativa máxima con temperatura durante el año 2022 de la estación Cañete.

Fuente: [38]

- Humedad absoluta anual de la estación Cañete

De la revisión de información diaria tomada de la estación meteorológica de Cañete, la humedad absoluta varía durante los meses del año, la mínima es de 9.2 mg/m³ en junio y la humedad absoluta máxima es 17.4 mg/m³ en diciembre, tal como se muestra en la tabla a continuación.

TABLA XII

Humedad absoluta mínima y máxima

MES	HA mg/m ³ MIN	TEMP °C	HA mg/m ³ MAX	TEMP °C
Ene-00	13.0	24.7	17.0	24.9
Feb-00	12.6	26.7	16.8	23.2
Mar-00	12.0	26.1	17.2	27.5
Abr-00	11.5	23.4	15.6	25
May-00	9.5	11.3	14.2	22.5
Jun-00	9.2	10.4	13.2	17
Jul-00	10.0	11.9	12.4	15.1
Ago-00	10.1	11.8	12.2	14.7
Set-00	9.2	10.6	12.1	20.6
Oct-00	9.6	11.4	12.4	15
Nov-00	9.9	12.5	15.5	18.8
Dic-00	12.4	15.5	17.4	20.3

Nota: humedad absoluta máxima y mínima obtenida para diferentes temperaturas de registros tomados de la estación de monitoreo del SENAMHI [38], durante el año 2022, donde se puede observar que las temperaturas altas generan mayor humedad absoluta y viceversa.

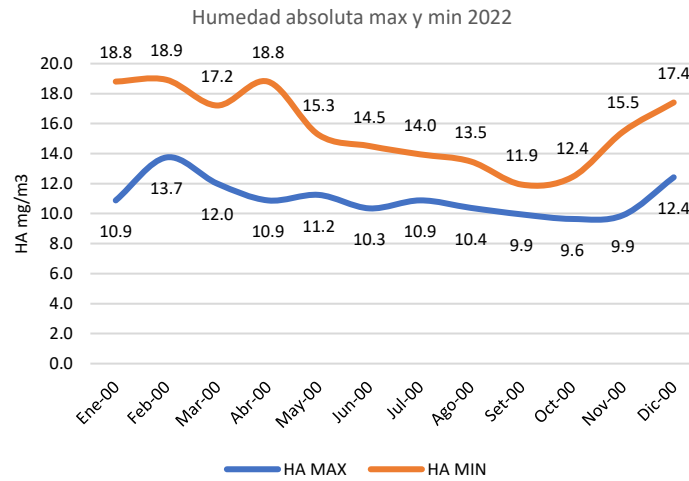


Fig. 33. Humedad absoluta mínima y máxima durante el año 2022 de la estación Cañete. Fuente: [38]

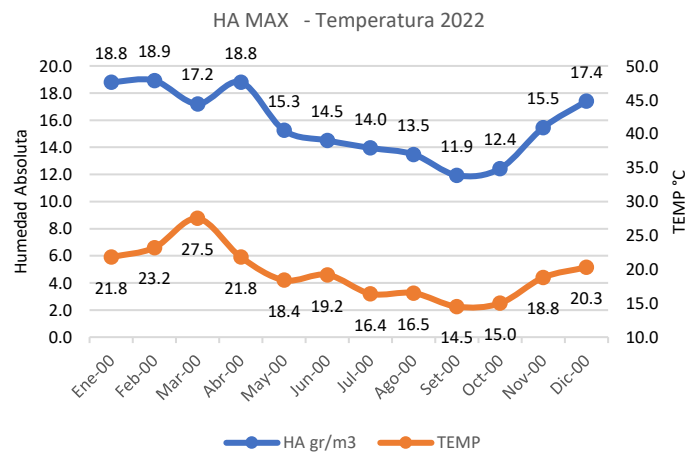


Fig. 34. Humedad absoluta máxima con temperatura durante el año 2022 de la estación Cañete. Fuente: [38]

- Humedad absoluta y relativa con la temperatura anual de la estación Cañete

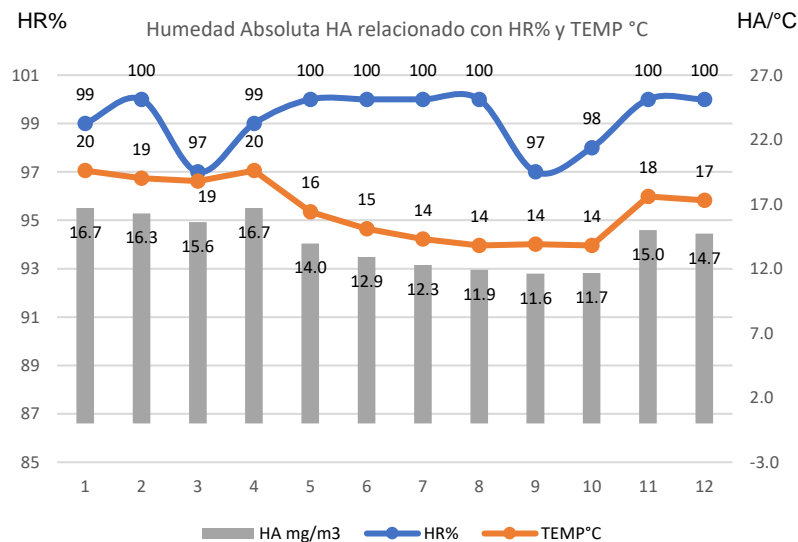


Fig. 35. Humedad absoluta máxima, humedad relativa y temperatura durante el año 2022 de la estación Cañete. Fuente: [38]

- Humedad absoluta promedio mensual y recurso de agua del aire (WFAR) en la estación Cañete durante 2022.

TABLA XIII

Índice WFAR estación Cañete 2022

MES	HA PROM	WFAR	CALIF.
Ene-00	16.4	1.07	Excelente
Feb-00	16.1	1.05	Excelente
Mar-00	15.3	1.00	Excelente
Abr-00	16.4	1.07	Excelente
May-00	13.3	0.87	Bueno
Jun-00	12.4	0.81	Bueno
Jul-00	12.1	0.79	Bueno
Ago-00	11.8	0.77	Regular
Set-00	11.0	0.72	Regular
Oct-00	13.2	0.86	Bueno
Nov-00	13.4	0.87	Bueno
Dic-00	15.1	0.99	Bueno

Nota: valores de índice WFAR obtenidos a partir de los registros de temperatura y humedad relativa durante el año 2022, publicados por el SENAMHI [38].

El índice de agua WFAR obtenido en promedio es de 0.9, el cual se encuentra dentro del rango considerado como bueno de acuerdo con [37].

Resultado: Método de análisis y estudio de condiciones meteorológicas para la obtención de agua del medio ambiente.

5.1.4 Comparación de rendimiento de extractores de humedad con tecnología condensador con refrigerante y tecnología Peltier

En la presente tesis, se analiza el rendimiento energético y la producción de agua de extractores de humedad con tecnología de condensador con refrigerante y tecnología Peltier.

Para realizar la comparación de los equipos se ha definido: (i) rendimiento relativo litros por Kilowatt-hora (l/kWh), denominado en la presente tesis como Likh; (ii) gasto energético por litro de agua producido kWh/Litro, definido como Kihlit, y el costo FOB (referencial) de los equipos.

Se muestran, a continuación, el análisis de equipos comerciales extractores de humedad del ambiente de tecnología de condensador con refrigerante en el rango de 30ml a 90 litros por día en relación con su costo, tomando en consideración la marca, el modelo, los litros día producido, la potencia kW, los kW-día, el rendimiento relativo litros/kWh (likh), el gasto energético kWh/Litro (kihlit) y el costo del equipo generador de agua en dólares americanos (USD).

TABLA XIV

Equipos con tecnología de condensador con refrigerante

Marca	Modelo	litros día	Potencia KW	KW-día	Rendimiento relativo Litro/kWh (likh)	COSTO ENERGETICO kWh/Litro (kihlit)	Costo del generador de agua dólares
MOUNTO	DH-80W	37.85	0.75	18	2.1	0.476	900
CHKAWAI	AW-35	35	0.66	16	2.21	0.453	400
DEYE	DYD-F20A	20	0.33	8	2.53	0.396	105
PREAIR	LGR145	68.6	1.13	27	2.54	0.394	620
YOTREE	YCD-58E	58	0.9	22	2.69	0.372	386
H2O TEK	RDP-56L/D-424	56	0.8	19	2.92	0.343	735

FURUIDA	FL-S90P	90	1.2	29	3.13	0.32	480
TOJJE	DJ-581E	58	0.65	16	3.72	0.269	275
MSSHIMEI	MS-9090	90	1	24	3.75	0.267	400
ONE DRY	A-ONE90L	90	0.99	24	3.79	0.264	1519
JAMES	DJ-50DP	50	0.55	13	3.79	0.264	485

Nota: tabla comparativa de diversos equipos comerciales electromecánicos con compresor, con relación a litros día producido, potencia consumida (KW), energía diaria (KW-día), rendimiento relativo Litro/kWh (likh), costo energético kWh/Litro (kihilit) y costo del generador de agua en dólares. Los datos fueron obtenidos de las páginas web de los proveedores.

En este grupo es posible encontrar en el mercado equipos con rendimiento relativo en litros por Kilowatt-hora (l/kWh) de 3.02 Likh y un costo energético kWh/Litro, promedio de 0.35 Kihilit en relación con su costo (Anexo X: equipamiento). Cabe mencionar que, de acuerdo con [37], el costo energético era de 4kWh por litro.

Puede observarse que la producción de agua tiene una relación directa con la potencia tal como se observa en [fig. 36].

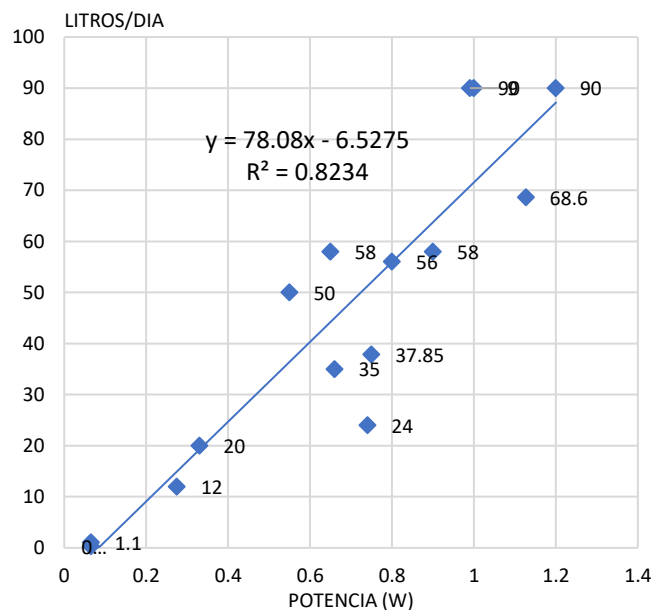


Fig. 36. Relación potencia (W) litros/día vs condensador con refrigerante. Fuente: elaboración propia

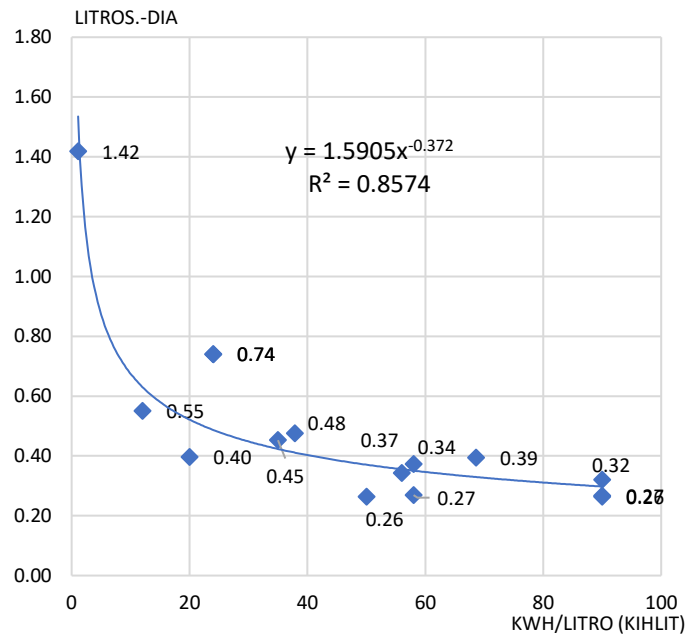


Fig. 37. Relación rendimiento litros/día costo del generador de agua vs costo USD vs condensador con refrigerante. Fuente: elaboración propia

Se muestra, a continuación, el análisis de equipos comerciales extractores de humedad del ambiente de tecnología Peltier en el rango de 30 ml a 2.2 litros por día. Es posible encontrar en el mercado equipos con un rendimiento relativo en litros por Kilowatt-hora (l/kWh) de 1.16 Likh y un costo energético kWh/Litro, de 0.86 Kihlit.

TABLA XV

Equipos con tecnología Peltier

Marca	Modelo	litros día	Potencia KW	KWh -día	Rendimiento relativo Litro /KWh (likh)	COSTO ENERGETICO KWh/Litro (kilith)	Costo del generador de agua dólares
S/M	GVEZ0012	2.2	0.09	2.2	1.02	0.982	45
Envitek	DH075GE-A1	0.75	0.04	1.0	0.78	1.280	40
Cecotec	BigDry 2500	0.75	0.05	1.2	0.63	1.600	71
XAXAZON	DH-CS02	0.8	0.04	1.0	0.78	1.280	47
OEM	WB-EDH22-001	0.3	0.023	0.6	0.54	1.840	30

VAVSEA	B089LSHFQ1	0.3	0.023	0.6	0.54	1.840	30
TROTEC	1105000010	0.3	0.023	0.6	0.54	1.840	49
ProBreeze	5060596023857	0.45	0.036	0.9	0.52	1.920	51
TROTEC	1105000002	0.22	0.02	0.5	0.46	2.182	44
Invitop	XROW-600 ^a	0.25	0.023	0.6	0.45	2.208	51
veedai/OEM	ETD850	0.6	0.068	1.6	0.37	2.720	35

Nota: tabla comparativa de diversos equipos comerciales Peltier, con relación a litros día producido, potencia consumida (KW), energía diaria (KW-día), rendimiento relativo Litro/kWh (likh), costo energético kWh/Litro (kihlit) y costo del generador de agua en dólares. Los datos fueron obtenidos de las páginas web de los proveedores.

A continuación, se muestra la relación entre la cantidad generada de agua por día del medio ambiente con tecnología Peltier y su costo en dólares americanos.

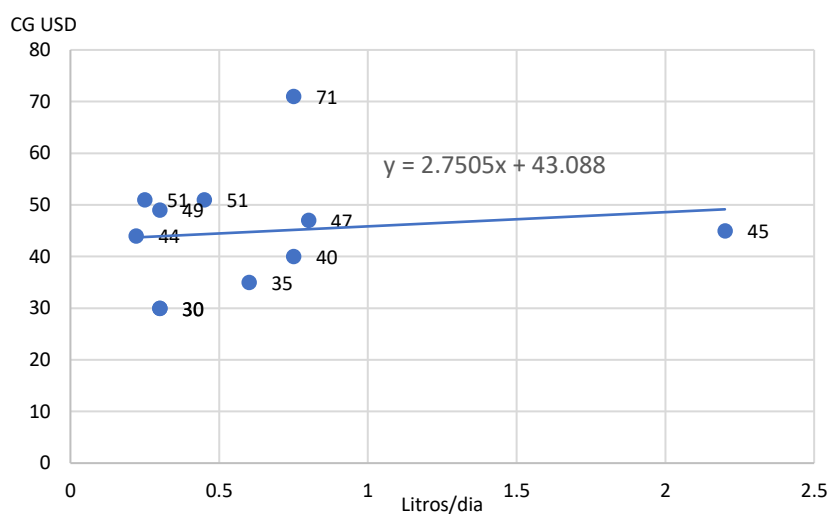


Fig. 38. Relación rendimiento litros/día del generador de agua vs costo en dólares americanos con tecnología Peltier. Fuente: elaboración propia

Se puede observar, a continuación, que existe una relación lineal entre la cantidad de agua producida por día y la potencia del equipo.

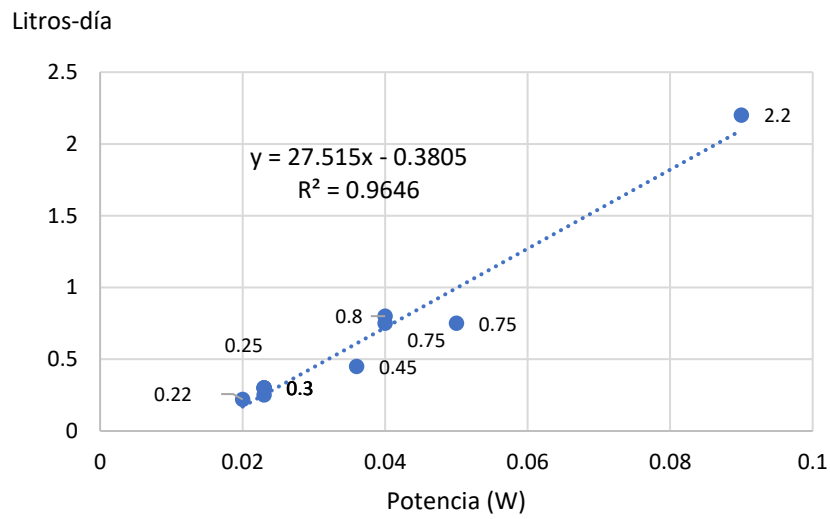


Fig. 39. Litros/días producidos vs potencia (W) – Peltier. Fuente: elaboración propia

Seguidamente, se muestra la relación entre el costo energético y la cantidad de agua generada por día.

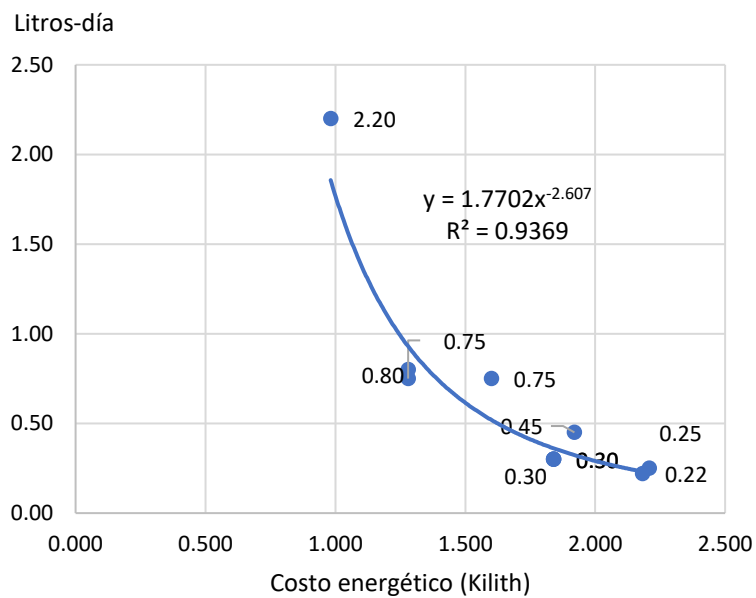


Fig. 40. Litros/días producidos vs costo energético (Kilith) – Peltier. Fuente: elaboración propia

Como puede observarse, la tecnología de condensador y refrigerante es más eficiente en comparación con la tecnología Peltier en términos de producción de agua y costo energético. Del conjunto de equipos evaluados, se observa que el caso de la tecnología de condensador con refrigerante en equipo, en el que se encontró un mejor rendimiento, posee 3.79 litro/kWh (likh), mientras que en el caso de tecnología Peltier del grupo observado solo se obtuvo 1.02 Litro /kWh (likh). Asimismo, de los equipos revisados, los equipos de tecnología de condensador y refrigerante tienen menores costos energéticos (0.264 kWh/Litro kilith) en comparación con los equipos de tecnología Peltier (0.982 kWh/Litro kilith).

Resultado: tablas y gráficos comparativos de la tecnología WFAR electromecánica y equipos de tecnología Peltier, permiten determinar que los equipos WFAR, basados en tecnología Peltier, son menos eficientes que los equipos que usan la tecnología electromecánica con condensador.

5.1.5 Modelo en Excel para el estudio de los procesos de generación de agua

Para el análisis y comprensión del fenómeno de producción de agua ante diferentes condiciones del medio ambiente para un sistema WFAR, se desarrolló el presente modelo.

Para determinar la aplicabilidad del modelo, se ha considerado las siguientes condiciones: a) que el aire húmedo ingresa al sistema con una HR de 73% a una temperatura de 20°C, con una densidad de vapor (humedad absoluta) igual a 12.61 g/m³ y una presión de vapor de 17.473 mmHg, b) con un caudal de 4m³/min equivalente a 0.0666667 m³/s. Para estas condiciones la temperatura de rocío es 15°C y la entalpía de entrada es 48.205 joules. Las condiciones de salida del sistema se han fijado a temperatura de 5°C y HR de 100% que posee una densidad de vapor de agua (humedad absoluta) de 6.8 g/m³, una presión de vapor de agua de 6.498 mmHg y una entalpía de salida de 16.525. La cantidad de agua obtenida en el sistema está en función de la diferencia de densidad de vapor de agua entre la entrada y la salida, y directamente proporcional a la diferencia de temperatura: cuanto mayor sea la diferencia mayor será la cantidad de agua obtenida. Sin embargo, la temperatura de salida no puede ser próxima a 0 porque se aproxima al punto de congelamiento y, por otro lado, a temperaturas menores a 5°C se incrementa la viscosidad cinemática, por

lo que la recomendación [37] es no bajar de 5°C. Pero el nivel de temperatura se puede regular en función de la potencia disponible del equipo y las condiciones de entrada del aire húmedo.

En las condiciones descritas, el volumen producido de agua es de 1847.93 litros por día, que corresponde al caso de una máquina WFAr CanDew-2500™. El resultado obtenido es muy similar al presentado en [37], cuyo valor es 1863 y la diferencia es 0.8%, lo cual puede ser atribuido a los decimales de los coeficientes empleados.

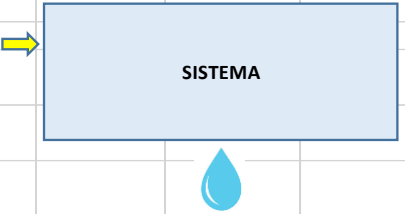
densidad aire kg/m ³	1.1839		Cpvapor kj/kg*°C	1.8		Lamda kj/kg	2.5	
Cpaire kj/kg*°C	1.005							
ENTRADA						SALIDA		
Temp aire	19.6	°C				Temp aire	10	°C
Humedad relativa	87.5	%				Humedad relativa	100	%
Densidad de vapor (HA)	14.77	gr/m3				Densidad de vapor (HA)	9.39	gr/m3
Presion de vapor	17.044	mmHg				Presion de vapor	9.159	mmHg
PUNTO DE ROCIO ENTRADA			Condiciones en el condensador			PUNTO DE ROCIO SALIDA		
P. de vapor	14.914	mmHg	Caudal de aire	0.066666667	m3/seg	Presion de vapor	9.159	mmHg
Temp de rocio	17.5	°C	Caudal de aire	4	m3/min	Temp de rocio	10.0	°C
P. vapor a TR en bar	0.01988	bar	Masa aire seco/min	4.711	Kg aire seco/min	P. vapor a TR en bar	0.01221	bar
Rel. de Humedad	0.0126	Kg_ag/Kg_a . seco	Caudal Kg de agua	0.078926667	Kg/seg	Rel. de humedad	0.007689	agua/Kg aire
Entapia de entrada	52.7555	Joules				Entapia de salida	30.5500	Joules
Producción de agua	litros/día	ml/hora	ml/min	Kg agua/min	Eficiencia			
agua	33.44	1393.37	23.2	0.0232	36%			

Fig. 41. Modelo de estimación de volumen de producción de agua. Fuente: elaboración propia

Resultado: modelo en Excel para el estudio de los procesos de generación de agua.

5.1.6 Determinación del requerimiento de agua de riego por goteo en sábila y sistemas hidropónicos para arándanos.

- Riego por goteo

El riego por goteo es una técnica que se usa para hacer más eficiente el empleo de agua para la agricultura, es especialmente útil en situaciones de escasos recursos hídricos como son las zonas eriazas, donde gracias a esta es posible cultivar sábila [48]. En dicha técnica, el riego es localizado y consiste en aplicar a la zona radicular de cada planta el agua en forma de gotas, a través de pequeños goteros. De acuerdo con [49], la eficiencia del riego por goteo puede llegar al 90%, mientras que el riego por gravedad es de 40%. La cantidad de agua requerida dependerá de cada tipo de cultivo.

Entre las plantas que más se adaptan a zonas eriazas en nuestro medio y que pueden ser empleadas para fines industriales o alimenticios están la tuna y la sábila. Para la presente investigación se eligió la sábila que, de acuerdo con estudios realizados, tras la aplicación de 0.5 litros por planta cada 7 días (71ml/día) con el riego por goteo, permite obtener mayor largo, ancho y grosor de la hoja y altos rendimientos en el cultivo de esta planta [48].

En la medida que el requerimiento de la sábila es de aproximadamente 2 litros mensuales, es posible que un sistema de energía solar-humedad del ambiente para la obtención de agua pueda ser sostenible como sistema de riego por goteo. Asimismo, es considerada una planta que contribuye al cuidado de la salud y belleza del ser humano [50].



Fig. 42. Cultivo de sábila mediante riego por goteo. Fuente: [50]

- Hidroponía, uso eficiente el agua para el cultivo de plantas

De acuerdo con [51], el cultivo hidropónico logra un ahorro de hasta un 95% de agua.

Según una entrevista realizada a Enrique Lulli, experto peruano en cultivo hidropónico y gerente general de la empresa Hidroponika, el consumo de agua de una planta de arándanos con cultivos hidropónicos es de 166 ml por día en Lima, contrastando con 1.5 litros a 3 litros de cultivo en tierra [52]. Esto representa un ahorro de agua de 89% a 94%, lo que incrementa la posibilidad de suministro de agua para riego, empleando agua obtenida del medio ambiente. Los cultivos hidropónicos pueden lograr hasta un 95% de ahorro de agua, ya que son hasta 10 veces más productivos en el mismo espacio, son libres de contaminantes y no requieren terrenos fértiles [53].



Fig. 43. Cultivo hidropónico de arándanos. Fuente: Enrique Lulli (dueño de la empresa Hidroponika S.A.C.).

Resultado: determinación del requerimiento de agua de riego por goteo en sábila (71ml/día) litros/mes) y sistemas hidropónicos para arándanos (166ml/día).

5.1.7 Dimensionamiento del sistema de energía solar para la obtención de agua

Para el dimensionamiento del sistema de energía solar, se ha empleado la siguiente metodología [54] que consta de 6 pasos:

- Paso 1. Estimación de la demanda de energía diaria (DE): el consumo total diario de energía se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$DE = \sum_{i=1}^n Ni * Pi * Hi$$

Donde:

Ni: cantidad de equipos

Pi: potencia de equipo

Hi: horas de funcionamiento del equipo

A partir de los consumos parciales, se tiene el resultado de la demanda de energía como se presenta a continuación.

TABLA XVI

Estimación del consumo

DEMANDA DE ENERGÍA DIARIA						
Equipo	Tipo	Cantidad	Potencia	Horas	Sub Total	Unidad
1	WFAR	1	660	12	7920.0	Wh
2	Unidad de control	1	1.2	24	28.8	Wh
3	Bomba 4 amp 12 V	4	48	1	255.4	Wh
4	Demanda Energía				8204.2	Wh
5	Rendimiento de inversor				0.95	núm.
6	Rendimiento de baterías				0.95	núm.
7	Energía max día				9090.48	Wh

Nota: detalle del cálculo de la demanda de energía diaria a partir de los parámetros de consumo y características del equipamiento del sistema de energía solar.

La potencia máxima de carga es de 709.2 vatios y la energía máxima demandada es 9090.5 watts-hora.

- Paso 2. Cálculo del ángulo óptimo de inclinación de los paneles: para el cálculo del ángulo óptimo se tomó como referencia la latitud de la ubicación de los paneles solares, se aplica la fórmula siguiente:

$$B = 3.7 + 0.69\varnothing$$

Donde:

B: ángulo de inclinación del panel

\varnothing : latitud del lugar

Por otro lado, de acuerdo con la información obtenida de la NASA [27], en el ámbito de estudio se tiene que, para el año 2021 (último año con información disponible), el

nivel de irradiancia para los diferentes meses del año el más crítico es el mes de junio, con el valor de 3.23 kW-h/m²/día y con un promedio anual de 5.43 kWh/m²/día.

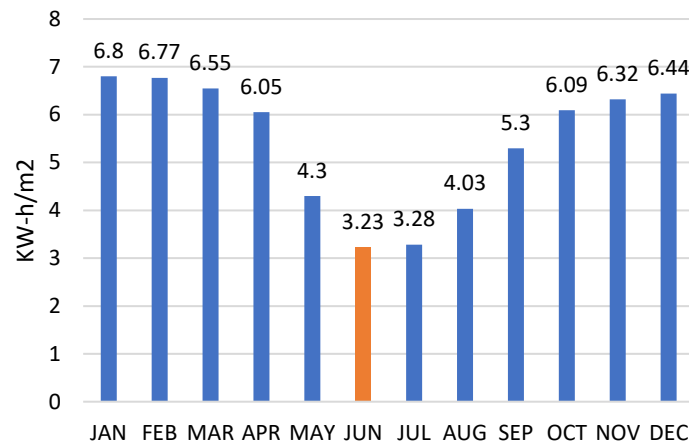


Fig. 44. Irradiación en el ámbito de estudio. Fuente: Fuente: [27]

Con los datos de la NASA y el cálculo de la inclinación del panel se obtiene la siguiente tabla:

TABLA XVII

Angulo óptimo

ÁNGULO ÓPTIMO – CONDICIONES		
Ítem	Parámetro	
1	Latitud	13.1
2	Angulo de inclinación óptima	12.7
3	irradiación horizontal KWh/m2/día	3.2
4	irradiación opt KWh/m2/día (Irrop)	3.3

Nota: Datos de cálculo del ángulo óptimo de inclinación de los paneles solares y la diferencia de irradiancia entre el panel horizontal y el inclinado.

- Paso 3. Dimensionado del generador fotovoltaico: el generador fotovoltaico consta de un arreglo de paneles solares de 24 voltios, cuya característica se indica a continuación en [TABLA XVIII]. La cantidad de paneles es obtenida de la división de la potencia pico necesaria entre la potencia del panel, adoptándose el criterio de que si el valor del decimal es mayor de 0.5 se aproxima al entero mayor, caso contrario al entero menor.

TABLA XVIII

Generador fotovoltaico

GENERADOR FOTOVOLTAICO – PANELES SOLARES		
Ítem	Parámetro	
1	Perdidas generales	0.75
2	Potencia pico necesaria Wp	2,746.4
3	Potencia de panel (W)	450.0
4	Imax panel (A)	8.7
5	ISC (A)	9.3
6	Numero de paneles	6.1
7	Panel seleccionado:	JAM72520

Nota: características técnicas del generados de energía solar.

- Paso 4. Dimensionado del sistema de acumulación: el sistema acumulador consta de un banco de baterías de 12 voltios en serie para brindar el voltaje de 24 voltios y en paralelo para brindar la corriente necesaria, en total 6 baterías de 200 Amp como se muestra en la tabla a continuación.

TABLA XIX

Capacidad en baterías

CAPACIDAD EN BATERÍA		
Ítem	Parámetro	
1	Días de autonomía	1
2	Demanda tota l (DT) Wh	9090.5
3	Grado de descarga de la batería (DOD)	0.6
4	Demanda bruta (CB) Wh	15 150.8
5	Voltaje de banco de baterías (Vb)	24.0
6	Capacidad con baterías de CTb Amph	631.3
7	Capacidad de batería unitaria Amph	200.0
8	Número de baterías en ramas	4.0
9	Total, de baterías	8.0

Nota: características técnicas del banco de baterías

- Paso 5. Dimensionado del regulador: se está considerando un factor de seguridad de 20%, y se obtiene un requerimiento de 90 Amp, pero se elige un regulador de 100 Amp.

TABLA XX

Dimensionado del regulador

REGULADOR DE CARGA		
Ítem	Parámetro	
1	Factor de seguridad	1.2
2	Potencia pico de panel	450.0
3	Voltaje del panel	24.0
4	Corriente del regulador	90.0
5	Regulador seleccionado: Easun-cargador Solar 4880	

Nota: características técnicas del regulador de carga.

- Paso 6. Dimensionado del inversor: para el regulador se ha considerado una tolerancia de 25% adicional, con lo cual la potencia requerida del inversor es 886.5 vatios, y se eligió el inversor PV30 de 1kW. Los datos relacionados con el inversor se muestran a continuación.

TABLA XXI

Dimensionado del inversor

INVERSOR		
Ítem	Parámetro	
1	Tolerancia	0.25
2	Potencia máxima de carga W	709.2
3	Potencia pico transitoria	2,127.6
4	Potencia requerida	886.5
5	Potencia de inversor W	1000.0
6	Inversor seleccionado:	PV30 1KW-3KW

Nota: características técnicas del inversor

El sistema de energía solar completo se muestra a continuación.



Fig. 45. Sistema de energía solar. Fuente: elaboración propia

Resultado: dimensionamiento de un sistema de energía solar para atender la demanda de energía para la producción de agua en un sistema hidropónico o de riego por goteo.

5.1.8 Modelo de tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente para la obtención de agua con el propósito de investigación.

Como resultado del estudio para la obtención de agua de la atmósfera se tiene el siguiente sistema propuesto:

- Equipo WFAR con compresor para obtener agua de la atmósfera: el equipo a emplear depende de las necesidades de producción de agua, es decir, la demanda. Para el presente estudio se empleó el equipo WFAR generador atmosférico de agua AW30 con una potencia de consumo de 660W a 220 VAC.
- Equipo de monitoreo de parámetros: módulo de adquisición de datos basado en IDE Arduino o ESP32, con sensores de humedad relativa, temperatura del ambiente, sensor de volumen en litros de producción de agua, con función de data logger (registro de datos). Los dispositivos empleados en el presente estudio son ARDUINO MEGA, sensor de temperatura y humedad relativa DTH22, sensor de presión atmosférica BMP 180, sensor ultrasónico de distancia HC-SR04, tarjeta interfaz de red para Arduino.

- Sistema de energía solar: sistema conformado por paneles solares, controlador de carga, banco de baterías e inversor. Los paneles solares (6) del estudio son JAM72S20, el controlador de carga (1), Easun-cargador solar 4880, banco de baterías con 6 baterías HTB12-200, 1 inversor PV30 1KW-3KW.
- Metodología: la metodología consiste en los procedimientos sistematizados descritos en la presente investigación, basada en la búsqueda de información de fuentes confiables y el empleo de un controlador IDE (Integrated Development Environment) asociado a sensores de temperatura, presión, humedad relativa y volumen de agua obtenido para el registro de datos requeridos por la investigación.



Fig. 46. Modelo de tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente para la obtención de agua con el propósito de investigación. Fuente: elaboración propia

5.2 Resultados inferenciales

Un resultado inferencial se refiere al obtenido a partir de la experiencia realizada en el análisis de datos de variables y sus relaciones que permiten comprobar teorías, crear nuevas o inferir nuevas aplicaciones de la teoría existente en algún lugar específico en el ámbito o lugar objeto de la investigación.

5.2.1 Resultados inferenciales del método de medición de agua obtenidos en forma diaria para producción de volúmenes medianos.

De acuerdo con las mediciones realizadas, el volumen promedio es de 30 litros diarios, el cual arroja una medida de 49.98 cm del sensor a 0 litros y una medida de 18.78 cm a 30 litros. Es decir, para 31.2 cm, se tiene una medida de 30 litros. En la medida que el sensor tiene una precisión de medida de 3 mm, el error de medición es de 1%. Si consideramos un error máximo de medida de 1%, el método se hace atractivo para sistemas de producción de agua superiores a 30 litros diarios.

5.2.2 Resultados inferenciales del método de medición de agua obtenidos en forma diaria para producción de volúmenes pequeños.

El método que se utilizó puede ser empleado para experimentos de volúmenes pequeños de producción de agua. De acuerdo con los cálculos realizados, se tiene una precisión de lectura de 1 ml. Este método elimina el problema de la precisión del sensor ultrasonido, pero el rango de medición en los equipos con precisión de 1gr del mercado tienen limitaciones de peso a un máximo de 15Kgr para costos asequibles, por lo que no se pueden emplear para medir grandes volúmenes de producción de agua.

Según las mediciones realizadas durante el día, la capacidad producida por el deshumecedor Peltier es de 386 ml. En la medida que la precisión de medida de la balanza empleada es de 1gr, el error de medida cometido para la medición del volumen producido diario es 0.3%. Considerando un error de medida máximo de 1%, el método puede ser atractivo para sistemas que produzcan 100 mL diarios.

5.2.3 Resultados inferenciales del método para el análisis y el estudio de las condiciones meteorológicas en el ámbito de la investigación

- Relación entre temperatura y humedad relativa en el ámbito de estudio

La temperatura del ambiente y la humedad relativa están fuertemente relacionadas en forma inversa como se muestra en [fig. 47], siendo la correlación simple -0.9733 y una correlación R² de 0.9473. Se observa que, el día de ejemplo, la máxima humedad relativa es 92.6% y la mínima 65,1%, mientras que la temperatura varía de un máximo de 30.78°C a un mínimo de 17.55°C.

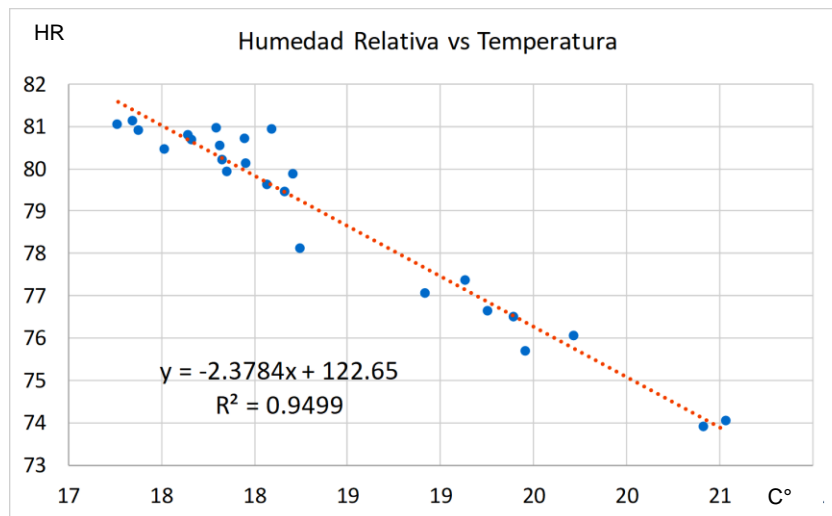


Fig. 47. Relación temperatura y humedad relativa. Fuente: elaboración propia

- Relación entre la temperatura del ambiente y temperatura de rocío en el ámbito de estudio con elevada correlación inversa.

La temperatura de rocío tiene una relación directa con la temperatura del ambiente y la humedad relativa, con una correlación R^2 de 0.972. Como se indicó en el marco teórico, la temperatura de rocío depende de la humedad relativa y la temperatura. Si la humedad relativa es muy elevada, solo es suficiente bajar unos pocos grados para llegar al punto de condensación del agua, como se puede observar en [tabla i], donde para una temperatura de 30°C es suficiente bajar a 28.4°C, es decir, solo 1.6°C de diferencia.

En la medida que la humedad relativa varía durante el día, se observa que la temperatura de rocío seguirá la forma de la curva de la temperatura del ambiente, acercándose cuando la humedad relativa aumente y alejándose cuando disminuya, como se observa a continuación.

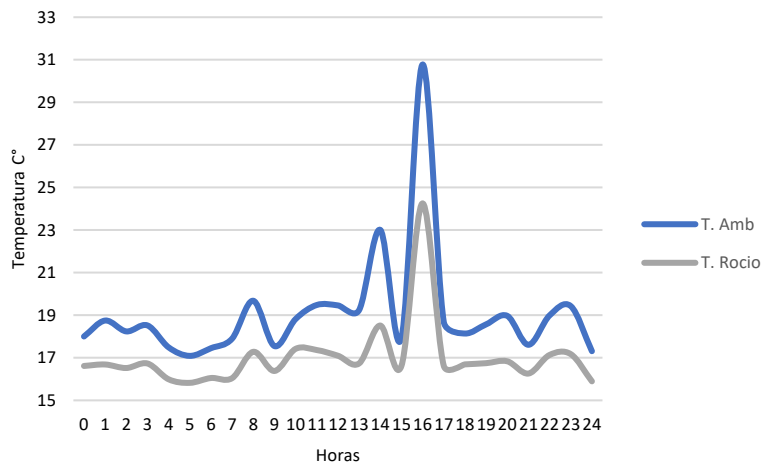


Fig. 48. Temperatura de ambiente y temperatura de rocío. Fuente: elaboración propia

- Densidad de vapor de agua (humedad absoluta) en el ámbito de estudio

La densidad de vapor depende de la humedad relativa y la temperatura. De acuerdo con información de la NASA para el 2021, durante los 12 meses del año se tiene una correlación directa de 0.92 entre la temperatura y la humedad absoluta, y una correlación directa de 0.98 entre la humedad relativa y la humedad absoluta.

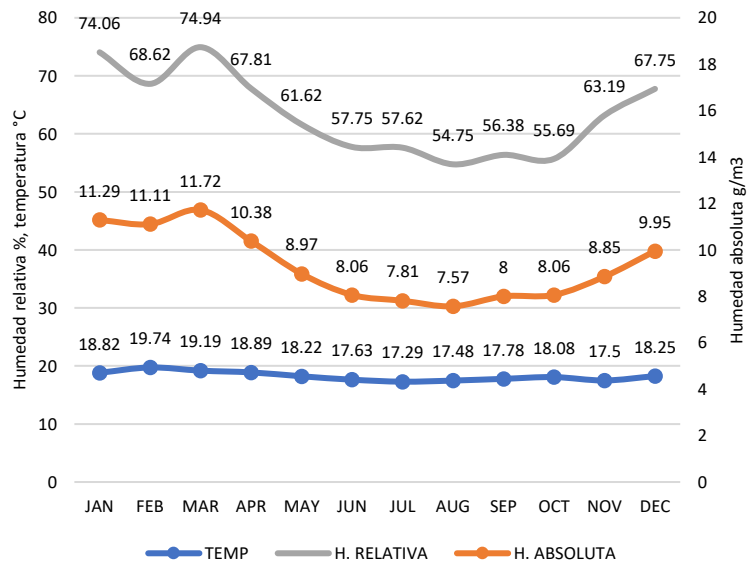


Fig. 49. Relación entre la H. absoluta. H. relativa y temperatura. Fuente: elaboración propia

Se puede observar que el valor promedio de humedad absoluta en el 2022 fue de 9.31 g/m³ con una variación de 21% por encima del valor promedio y 19% por debajo.

- Presión atmosférica en el ámbito de estudio

La presión atmosférica se mantiene casi constante, con un promedio de 1000 mBar y una variación porcentual de 0.13% por encima y 0.16% por debajo, como se muestra a continuación.

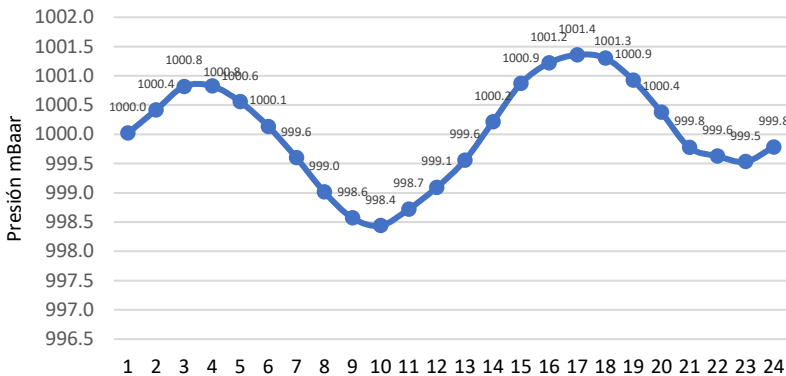


Fig. 50. Variación de la presión atmosférica en 24 horas. Fuente: elaboración propia

5.2.4 Resultados inferenciales de la comparación de rendimiento de extractores de Humedad con tecnología de condensador con refrigerante y tecnología Peltier

Luego del análisis realizado en la sección 5.1.4 podemos inferir que los equipos electromecánicos poseen mejor rendimiento de producción de agua en litros/kWh (Likh) llegando a 3.79 litro/KWh. Lo que en la actualidad lo hace más ventajoso que la tecnología Peltier que alcanza , para los propósitos de producción de agua a partir de la humedad del ambiente.

5.2.5 Resultados inferenciales del modelo en Excel para el estudio de los procesos de generación de agua

El modelo desarrollado emplea las variables del medio ambiente es útil para el estudio de los procesos de generación de agua, de forma sencilla y clara; constituye una herramienta para ser empleada por investigadores de diferentes áreas del

conocimiento para realizar estudios referidos a la obtención de agua del medio ambiente.

5.2.6 Resultados inferenciales de la determinación del requerimiento de agua de riego por goteo en sábila y sistemas hidropónicos para arándanos.

De acuerdo con el análisis realizado, la producción de agua mediante el sistema electromecánico WFAR permite atender la demanda de agua de cultivos hidropónicos y riego por goteo. Un sistema implementado en Lima con una producción diaria promedio de 30 litros durante todo el año es capaz de atender eficientemente la demanda de agua de 420 plantas de sábila o 193 plantas de arándanos.

Debido a la escasez de agua a nivel mundial, el modelo investigado puede servir para atender la demanda de riego tecnificado de otros cultivos además de los mencionados.

5.2.7 Resultados inferenciales del dimensionamiento de sistema de energía solar para la obtención de agua

Los sistemas de energía aplicados a la obtención de agua del medio ambiente para riego tecnificado son sistemas de energía de baja potencia y no requieren de autonomía de varios días con ausencia de insolación, en la medida que las plantas no son sensibles a la carencia diaria de agua.

5.3 Otros resultados

Se han obtenido resultados relacionados con el alcance de la investigación, los cuales se comentan a continuación

La presente investigación ha revisado la teoría y ha realizado la experimentación práctica relacionada con la generación de agua de la humedad del ambiente, y con base en ello ha generado un modelo que permite entender los procesos de generación de agua en función de las condiciones de entrada: temperatura, humedad relativa y flujo de aire húmedo en m^3/s , modelo que puede servir a futuras investigaciones relacionadas con el objeto de la presente investigación.

Se plantea, a lo largo del desarrollo de la tesis, una metodología para el estudio de los fenómenos y variables y sus relaciones referidas con la producción de agua; en

especial, los métodos de medición de agua producida para medianos volúmenes basados en sensores ultrasónicos y para medición de pequeños volúmenes basado en el peso del volumen de agua producido con el empleo de balanza de precisión de 1gr, que permite medir producciones de 1 ml de agua.

La presente tesis posee y cumple con una justificación práctica en la medida que la implementación de riego por goteo y cultivos hidropónicos se aplica a cultivos de bajo consumo de agua.

Se tiene una justificación social en la medida que aporta en la solución de resolver un problema que afecta a la comunidad: la escasez de agua. Esta solución técnica puede implementarse a través de programas sociales aplicados a la mejora de la calidad de vida de sectores sociales pobres o menos favorecidos.

La presente investigación aborda problemas fundamentales para la vida, como son el agua y el uso eficiente de la energía eléctrica, cuyo impacto está en la contribución a mejorar la calidad de vida de la población.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con las mediciones con la investigación realizada, se ha observado que la costa sur de Lima posee un adecuado potencial para la producción de agua de la atmósfera, como se puede ver en los valores de índice WFAR obtenidos, durante el año 2022, los cuales se muestran en la siguiente gráfica con su distribución normal.

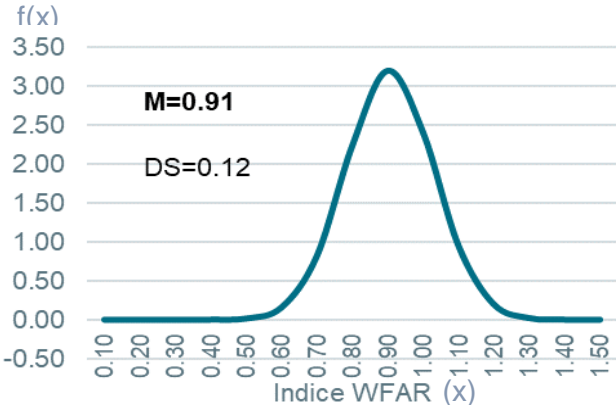


Fig. 51. Función de densidad del índice WFAR anual 2022. Fuente: [38]

El índice promedio anual WFAR es 0.91 bueno, de acuerdo con la clasificación (0.76 a 0.99) considerada *good* establecida por The Association Home Appliances in Handbook HVAC System and Equipment, en [36]. Esto indica que las condiciones en el ámbito de estudio son óptimas para la obtención de agua del medio ambiente.

Asimismo, con relación a la humedad absoluta, parámetro que tiene relación directa con el volumen de agua producido, se observa que, durante el año 2022, el valor medio es 13.88g/m^3 y los valores de humedad absoluta son buenos, estos resultan adecuados para la obtención de agua y próximo al valor óptimo 15g/m^3 [37], como se muestra en la gráfica a continuación.

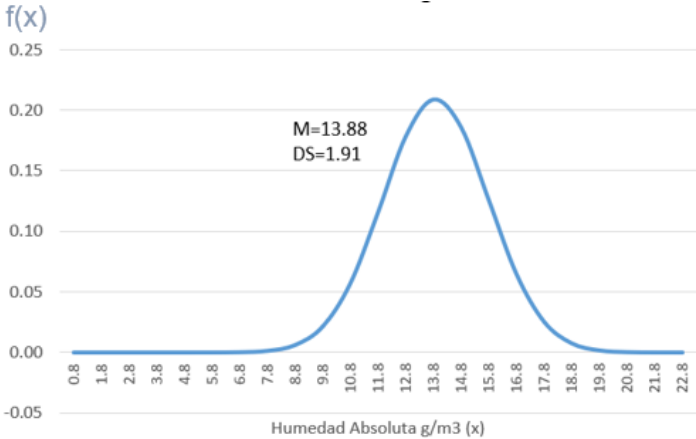


Fig. 52. Función de densidad de humedad absoluta anual g/m^3 2022. Fuente: [38]

Por la ubicación geográfica del ámbito de estudio, cercana al mar y la latitud cercana al Ecuador, se puede conseguir en todos los meses del año humedades relativas máximas y próximas al 100%, como se puede observar en la siguiente figura.

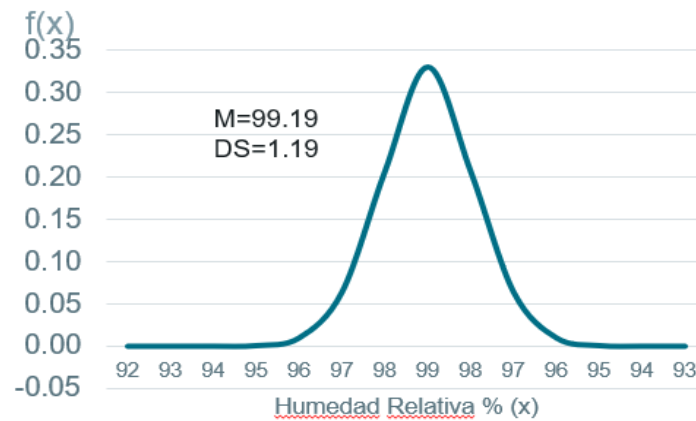


Fig. 53. Función de densidad de humedad relativa max % anual 2022. Fuente: [38]

Las temperaturas a lo largo del año 2022, cuyo promedio es 16.67°C, se representan a continuación.

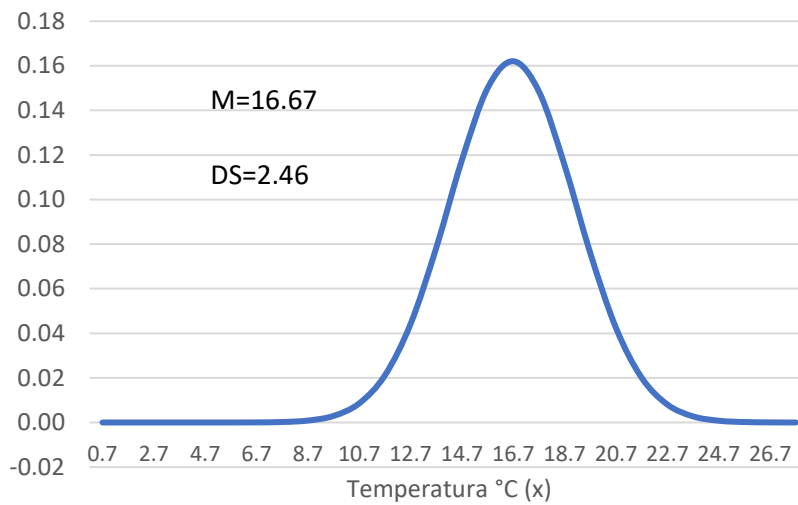


Fig. 54. Función de densidad de la temperatura para HR max % anual 2022. Fuente: [38]

Asimismo, la irradiación solar, tomada de la NASA en el ámbito de estudio, resulta adecuada, tal como se muestra en la gráfica a continuación.

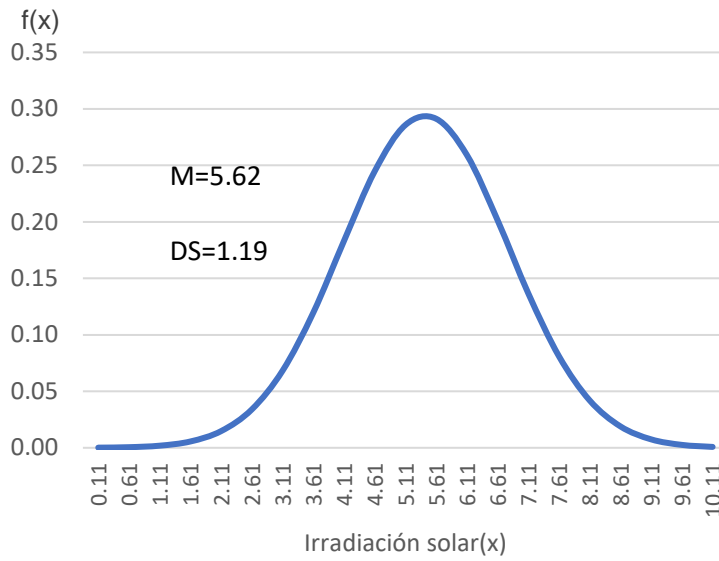


Fig. 55. Función de densidad de la Irradiación solar anual 2022. Fuente: [38]

La irradianza solar en el ámbito de estudio durante el año 2022 se muestra a continuación:

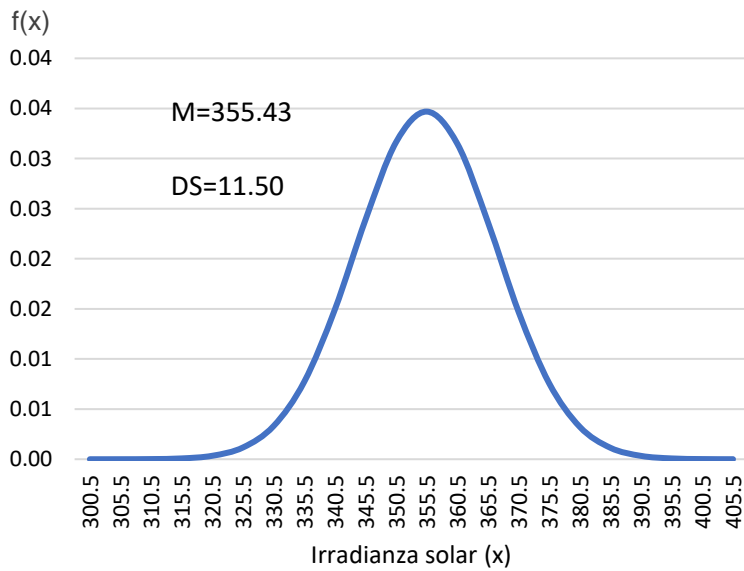


Fig. 56. Función de densidad de la irradianza solar anual 2022. [38]

6.1 Contratación y demostración de la hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis, es necesario, en primer término, indicar los valores promedio obtenidos durante el año para cada una de las variables:

TABLA XXII

Valores promedio de las variables en estudio

Variable independiente 1: energía solar		
Dimensión	Indicador	Valor
Irradianza (potencia/m ²)	KW/m ²	355.43
Irradiación solar (energía/m ²) día	KWh/m ² /día	5.66
Variable independiente 2: humedad del ambiente		
Dimensión	Indicador	Valor
Humedad absoluta	g/m ³	13.8
Humedad relativa	Porcentaje	85
Temperatura	Grados centígrados	18.8
Variable dependiente 1: obtención de agua del medio ambiente		
Dimensión	Indicador	Valor
Agua producida	L/día	30
Rendimiento Litros/KW	KWh/litro	0.52

Nota: valores promedio de las variables de estudio que permiten constatar las premisas establecidas en las hipótesis.

Contratación y demostración de hipótesis general:

- *Las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente permiten la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima Perú.*

De acuerdo con los resultados obtenidos con base en las mediciones realizadas en la estación de trabajo, se permitió realizar experiencias de obtención de agua mediante equipo de condensación electromecánica de 650W (30 litros diarios) con un costo energético de 0.52 kWh/L (Kihlit) equivalente a 2.0 L/kWh (likh) y equipo con tecnología Peltier de 45W (0.350 litro diario) con un costo energético de 3kWh/L equivalente a 0.32 Litros/kWh (likh).

TABLA XXIII

Comparación de resultados obtenidos entre tecnología WFAR electromecánica con condensador y tecnología PELTIER

INDICADOR	ELECTROMECAÁNICA	PELTIER
Potencia KW	0.65	0.045
Horas-día	24	24
Wh-día	15.60	1.08
Litros/día	30	0.35
kWh/litro	0.52	3.1
Litros/KWh	1.92	0.32

Nota: tabla comparativa que demuestra que, en la actualidad, la tecnología WFAR electromecánica con condensador es más eficiente que la tecnología Peltier para el propósito de obtención de agua del medio ambiente.

Los resultados obtenidos confirman la hipótesis general, en la medida que la tecnología WFAR electromecánica es más eficiente (1.92 litros/kWh) que la tecnología Peltier (0.36 litros/kWh). La comparación muestra que la tecnología electromecánica (compresor) es 5.3 veces más eficiente, para la obtención de agua en el ámbito de estudio evaluado durante el año 2022.

Contrastación y demostración de hipótesis específicas

- *Las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente permiten un adecuado rendimiento energético para la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú.*

La energía solar promedio en el ámbito de estudio es de 5.43kWh/m²/día, valor que está por encima del mínimo especificado por la Norma DGE de Especificación Técnica del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes para Especificación Rural, la cual establece que la condición mínima para instalar paneles solares es contar con una energía solar promedio de 3.5kWh/m²/día.

- *Las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente permiten la obtención de un volumen adecuado de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú.*

Luego de las mediciones obtenidas, revisión y análisis de información del SENAHMI, se encontró lo siguiente:

- El volumen de agua de 30 litros diarios obtenido resulta adecuado para la aplicación en riego por goteo e hidroponía en zonas donde no existen ríos, manantiales o suministro de agua doméstica. De acuerdo con las pruebas realizadas, se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA XXIV

Volumen de agua obtenido y su relación con el cultivo de plantas de sábila y arándanos

Planta	Sábila		Arándanos	
Requerimiento	0.100	litros diarios	0.166	litros diarios
Producción WFAR electromecánico	30	litros diarios	30	litros diarios
Producto	420	Plantas	180	Plantas

Nota: tabla que indica el potencial uso de la tecnología de energía solar-humedad del ambiente para la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú, para aplicaciones de agricultura.

- Las condiciones climatológicas en el ámbito de estudio son adecuadas y permiten garantizar una producción de agua durante todo el año.

TABLA XXV

Índice de producción de agua WFAR con tecnología electromecánica con condensador, para las condiciones ambientales: temperatura, humedad relativa, humedad absoluta y su calificación

PERIODO	AÑO 2022											
IND.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
TEMP	22.7	22.8	22.3	22.7	17.6	16.2	16.2	15.0	15.2	16.1	18.1	21.2
HR	82.1	80.5	79.0	82.1	88.7	89.9	89.9	92.3	84.9	82.4	86.9	82.2
HA	16.4	16.1	15.3	16.4	13.3	12.4	12.4	11.8	11.0	13.2	13.4	15.1
WFAR	1.07	1.05	1.00	1.07	0.87	0.81	0.81	0.77	0.72	0.86	0.87	0.99
CAUF.	E	E	E	E	B	B	B	B	R	B	B	B

Nota: tabla que indica las condiciones favorables que se tienen en el ámbito de estudio para la obtención de agua del medio ambiente.

c) Estimación de resultados mediante el modelo generado

De acuerdo con el modelo de estimación de producción de agua aplicado, se tiene una producción diaria promedio de 30 litros/día durante el año 2022 y un índice WFAR promedio 0.9 con calificación buena de acuerdo con los estándares internacionales.

TABLA XXVI

Producción de agua durante el año 2023 de acuerdo con el modelo de estimación aplicado

MES	EN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
ENTRADA												
T. aire entrada	22.7	22.8	22.3	22.7	17.6	16.2	16.2	15	15.2	16.1	18.1	20.77
HR	82.1	80.5	79	82.1	88.7	89.9	89.9	92.3	84.9	82.4	83.75	85.45
(HA) D. vapor gr/m3	16.6	16.4	15.6	16.6	13.3	12.4	12.4	11.8	11.0	11.3	12.9	15.4
P. de vapor mmH	20.6	20.7	20.1	20.6	15.0	13.8	13.8	12.7	12.9	13.7	15.5	18.3
PUNTO DE ROCIO ENTRADA												
P. de vapor a Tr en mmH	16.9	16.7	15.9	16.9	13.3	12.4	12.4	11.8	11.0	11.3	13.0	15.7
T. rocío	19.5	19.3	18.5	19.5	15.7	14.5	14.5	13.8	12.7	13.1	15.3	18.2
P. vapor a TR en bar	0.023	0.022	0.021	0.023	0.018	0.016	0.016	0.016	0.015	0.015	0.017	0.021
R. de H. Kg_ag/Kg_a. sec	0.014	0.014	0.013	0.014	0.011	0.010	0.010	0.010	0.009	0.009	0.011	0.013
SALIDA												
T. aire salida	13	13	12	14	8	5	6	5	5	5	7	12
HR	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
D. vapor gr/m3	11.3	11.3	10.7	12.1	8.3	6.8	7.3	6.8	6.8	6.8	7.7	10.7
P. de vapor mmH	11.17 9	11.17 9	10.46 6	11.93 4	7.997	6.498	6.967	6.498	6.498	6.498	7.467	10.46 6
PUNTO DE ROCIO SALIDA												
P. de vapor a Tr en mmH	11.17 9	11.17 9	10.46 6	11.93 4	7.997	6.498	6.967	6.498	6.498	6.498	7.467	10.46 6
T. rocío °C	13.0	13.0	12.0	14.0	8.0	5.0	6.0	5.0	5.0	5.0	7.0	12.0
P. vapor a TR en bar	0.014 9	0.014 9	0.013 9	0.015 9	0.010 6	0.008 6	0.009 2	0.008 6	0.008 6	0.008 6	0.009 9	0.013 9
R. de H. Kg_ag/Kg_a. sec	0.009 4	0.009 4	0.008 8	0.010 1	0.006 7	0.005 4	0.005 8	0.005 4	0.005 4	0.005 4	0.006 3	0.008 8
CONDENSADOR												
Caudal de aire m3/min	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
P. de vapor a TR bar	0.014 90	0.014 90	0.013 95	0.015 91	0.010 66	0.008 66	0.009 29	0.008 66	0.008 66	0.008 66	0.009 95	0.013 95

R. de H. Kg_ag/Kg_a. sec	0.009	0.009	0.008	0.010	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.006	0.008
Kg aire seco/min	4.698	4.700	4.705	4.698	4.721	4.727	4.727	4.731	4.737	4.735	4.723	4.706	4.706
PRODUCCION DE AGUA													
M_agua/min	0.023	0.022	0.022	0.020	0.021	0.023	0.021	0.021	0.017	0.019	0.022	0.021	0.021
	3	4	0	2	5	6	7	1	9	2	3	0	0
M_agua ml/min	23.3	22.4	22.0	20.2	21.5	23.6	21.7	21.1	17.9	19.2	22.3	21.0	21.0
M_agua ml/hora	1396.	1341.	1318.	1214.	1290.	1415.	1302.	1267.	1074.	1149.	1335.	1259.	1259.
	8	2	2	7	4	4	9	8	3	1	4	6	6
M_agua litros/hora	1.4	1.3	1.3	1.2	1.3	1.4	1.3	1.3	1.1	1.1	1.3	1.3	1.3
M_agua litros/dia	34	32	32	29	31	34	31	30	26	28	32	30	30
M_agua litros/mes	1006	966	949	875	929	1019	938	913	774	827	962	907	907
WFAR Index	1.1	1.1	1.0	1.1	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	1.0	1.0

Nota: tabla que indica los parámetros requeridos para el estudio de producción de agua, durante todos los meses del año 2022, y la cantidad de agua obtenida.

De lo mencionado anteriormente, se puede comprobar la hipótesis enunciada.

6.2 Contrastación de resultados con otros estudios similares

De acuerdo con el estudio Water Collection from Air Humidity in Bahrain [10] con un equipo deshumedecedor de 220-240 Volts, 50 Hz y potencia de entrada de 330W, se obtiene 10 litros por día, lo que equivale a 1.26 litros/kWh (Likh) que corresponde a 0.79 kWh/litro, con temperaturas promedio de 36°C y humedad relativa promedio de 50%. En contraste con lo obtenido en la presente investigación que son 1.92 litros/kWh a 0.52 kWh/L (Kihlit) con una temperatura promedio de 18.8°C y 85% de HR.

VII. CONCLUSIONES

- *Las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente permiten la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú.* La evaluación realizada durante el año 2022 con el equipo AW30 electromecánico y un sistema de energía solar ha permitido la obtención de 30 litros de agua diario en promedio con un equipo electromecánico de 650W, [TABLA XXIII].
- *Las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente permiten un adecuado rendimiento energético para la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú.* La solución desarrollada con base a tecnología electromecánica durante el año 2022 se tuvo un rendimiento de 0.53 kWh/L

(KIHLLIT), de acuerdo con [TABLA XXIII], contrastando con la tecnología PELTIER cuyo rendimiento fue de 3.3 kWh/L (KIHLLIT) [TABLA XXIII].

- *Las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente permiten la obtención de un volumen adecuado de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú. TABLA XXVI.* Para cultivos de bajo consumo, como es el caso de sábila, planta que requiere en promedio 0.5 litros cada 7 días para su desarrollo óptimo. Con una producción de 30 litros de agua al día, se podría dar suministro continuo a 420 plantas de sábila. En el caso de arándano 180 plantas [TABLA XXIV].
- La costa de Lima presenta buenas características en promedio para la obtención de agua del medio ambiente con un índice WFAR anual de 0.9, Durante los intervalos de enero a mayo y noviembre a diciembre, dicha zona presenta un índice WFAR de 0.8 a 1, las cuales son calificadas como buenas; mientras que en el periodo de junio a octubre el índice es de 0.7, calificadas como regular [TABLA XXV] .
- El presente estudio puede ser considerado como un punto de partida para la realización de estudios de investigación para la obtención de agua del medio ambiente en el Perú, en lugares de elevada humedad relativa y alta temperatura como es la costa norte del Perú.
- Con relación a los paneles solares, estos han experimentado una reducción de costos significativa desde su aparición en 1974 con un costo de 74 dólares el vatio, pero, en la actualidad, con un valor de 0.20 dólares americanos el vatio [TABLA VIII], por lo que se hace evidente una reducción de precio significativa en los últimos años. Asimismo, se espera con mejoras tecnológicas un incremento de rendimiento de los paneles solares al doble del actual, lo que hará más asequible la solución planteada en un futuro cercano.

VIII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios en la costa norte del Perú, donde la temperatura alcanza 30°C con una humedad relativa de 80% y una densidad

de vapor de agua de 24.3g/m^3 , lo que corresponde a un índice WFAR de 1.5, catalogado como excelente [37].

- Se recomienda continuar con los estudios de obtención de agua del medio ambiente, y buscar nuevas zonas con mejores condiciones que la costa de Lima, tanto para la obtención de agua como para el uso de energía solar aplicados a equipos electromecánicos de compresor WFAR.
- Se recomienda realizar estudios para mejorar la eficiencia de equipos con tecnología PELTIER.
- Se recomienda realizar una investigación multidisciplinaria con especialistas en ingeniería mecánica eléctrica y físicos para incrementar la eficiencia de producción de agua obtenida de la humedad del ambiente.
- Se recomienda iniciar una línea de investigación que aborde el uso de la energía solar para el desarrollo humano, donde se desarrollen investigaciones orientadas a resolver problemas fundamentales con la obtención de agua del medio ambiente y la seguridad alimentaria del país.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] T. Smedley, "Las fascinantes tecnologías que logran obtener agua potable del aire". *BBC News Mundo*. [En línea]. Disponible en <https://www.bbc.com/mundo/vert-fut-45658999> (accedido el 21 de septiembre de 2022).
- [2] ACCAIRWATER, "Products". [En línea]. Disponible en https://www.accairwater.com/products?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwrcKxBhBMEiwAIVF8rB3os7uuhzp662vt5aztOKXfKPid_0kjKswgJ6RuTE81wGcz_lylaxoC9zgQAvD_BwE (accedido el 21 de septiembre de 2022).
- [3] V. P. Joshi, V. S. Joshi, H. A. Kothari, M. D. Mahajan, M. B. Chaudhari, y K. D. Sant, "Experimental Investigations on a Portable Fresh Water Generator Using a Thermoelectric Cooler", *Energy Procedia*, vol. 109, pp. 161-166, mar., 2017. [En línea]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217301078>.
- [4] S. Bakker, "Atrapar la niebla para tener agua en el desierto de Lima". *El País*. [En línea]. Disponible en https://elpais.com/elpais/2016/08/01/planeta_futuro/1470047619_925392.html (accedido el 21 de septiembre de 2022).
- [5] Naciones Unidas. "Decenio internacional para la acción 'El agua fuente de Vida' 2005-2015". [En línea]. Disponible en https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml#:~:text=Hoy%20en%20d%C3%ADa%20m%C3%A1s%20de,escasez%20de%20agua%20para%202025 (accedido el 22 de septiembre de 2022).
- [6] Banco Mundial. "Gestión de recursos hídricos: Panorama general". World Bank. [En línea]. Disponible en <https://www.bancomundial.org/es/topic/waterresourcesmanagement> (accedido el 22 de septiembre de 2022).
- [7] A. E. Kabeel y E. M. S. El-Said, "Water production for irrigation and drinking needs in remote arid communities using closed-system greenhouse: A review", *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 18, no. 2, pp. 294-301, jun., 2015. [En línea]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221509861500004X>.

- [8] A. Bautista-Olivas, et al., "Atmospheric humidity as optional source of 109ico109 for domestic use", *Agrociencia*, vol. 45, no. 3, abril, 2011.
- [9] Energética Futura. "¿Cuánta energía se puede extraer de la radiación solar?" BLOG del autoconsumo energético actual y del futuro. [En línea]. Disponible en <https://energeticafutura.com/blog/cuanta-energia-se-puede-extraer-de-la-radiacion-solar/> (accedido el 23 de septiembre de 2022).
- [10] N. A. Dahman., K. J. Al Juboori, E. A. BuKamal, F. M. Ali, K. K. AlSharooqi y S. A. Al-Banna, "Water Collection from Air Humidity in Bahrain", *E3S Web of Conferences*, vol. 23, no. 03001, pp. 1-15, nov., 2017. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172303001> (accedido el 23 de septiembre de 2022).
- [11] J. Chávez, "Generador de agua mediante el uso de celdas Peltier y energía solar", *Revista de Ingeniería Innovativa*, vol. 3, no. 11, pp. 22-29, junio, 2019.
- [12] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, y M. del P. Baptista Lucio, *Metodología de la investigación*, 6.^a ed. México D. F.: Mc Graw Hill Education, 2014.
- [13] C. A. Bernal, *Metodología de la investigación*, 3.^a ed. Colombia: Pearson Educación, 2010.
- [14] H. Ñaupas Paitán, E. Mejía Mejía, E. Novoa Ramírez, y A. Villagómez Paucar, *Metodología de la investigación: cuantitativa – cualitativa y redacción de la tesis*, 4^a ed. Bogotá: Ediciones de la U, 2014.
- [15] M. Dzul, "La justificación y antecedentes de la investigación", en Aplicación básica de los métodos científicos. [En línea]. Disponible en https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI_Lectura/licenciatura/documentos/LECT98.pdf (accedido el 25 de septiembre de 2022).
- [16] C. Pica, R. Munteanu, S. Pavel y H. Beleiu, "Modeling of Photovoltaic Panels, Lasi, Rumania, 2018", en *Proceedings of the 2018 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM)*, Brasov, Romania, 2018, pp. 873-878.
- [17] C. Pica, R. Munteanu, S. Pavel y H. Beleiu, "Modular 109ico109no f a cylindrical cam assembly for solar-panel clean system", en *Proceedings of the 2016 IEEE 16th*

International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), Okinawa, Japón, 2016, pp. 1-5.

- [18] C. Florea y S. Baltatanu, "Simulation of a photovoltaic panel's energy performances", en *Proceedings of the 2013 19th International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS)*, Bucharest, Romania, 2013, pp. 558-563.
- [19] N. A. Al-Abadi, et al., "Water Collection from Air Humidity in Bahrain", en *Proceedings of the 2017 IEEE 4th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, Manama, Bahrain, 2017, pp. 1-6.
- [20] M. Kabil y E. Emad, "Water production for irrigation and drinking needs in remote arid communities using closed-system greenhouse", en *Proceedings of the 2015 IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, Roma, Italia, 2015, pp. 1773-1778.
- [21] S. S. Dorjiev, et al., "Extraction of Fresh Water from Atmospheric Air", en *Proceedings of the 2018 IEEE 12th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)*, Moscú, Rusia, 2018, pp. 1-5.
- [22] J. Olivares y E. Ramos, "Caracterización de sistemas de refrigeración 'absorción y peltier' y optimización de geometrías en transmisores de calor", en *Memorias del XX Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica*, Aguascalientes, México, 2012, pp. 1-8.
- [23] R. Gonzales, "Sistema de refrigeración con efecto Peltier y superficies extendidas, para enfriamiento sensible de aire. Caso de estudio: dimensionamiento de una carga térmica de 100 W de refrigeración", tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 2018.
- [24] I. Aguaded, "Diseño de una instalación solar fotovoltaica para el suministro de energía eléctrica de una vivienda aislada, tesis de fin de grado, Universidad de Sevilla, Andalucía, España, 2018. [En línea]. Disponible en <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/2317pub.pdf> (accedido el 25 de septiembre de 2022).
- [25] J. Beltrán. "Metodología de diseño para instalaciones solares residenciales en la ciudad de Medellín". [En línea]. Disponible en <https://docplayer.es/85980030->

Metodologia-de-diseno-para-instalaciones-solares-residenciales-en-la-ciudad-de-medellin-jesse-mauricio-beltran-soto.html (accedido el 4 de octubre de 2022).

- [26] S. Torres-Pacheco, F. Jurado-Pérez, D. Granados-Lieberman, y A. Lozano-Luna, "Eficiencia en paneles solares", *Revista del diseño innovativo*, vol.2, no 2, pp. 9-21, 2018.
- [27] NASA. "Data Power Access Viewer". [En línea]. Disponible en <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (accedido el 01 de marzo de 2023).
- [28] Z. Shahan. "Solar Panel Cost Trends (Tons of Charts)". *CleanTechnica*. [En línea]. Disponible en <https://cleantechnica.com/2014/09/04/solar-panel-cost-trends-10-charts/> (accedido el 25 de septiembre de 2022).
- [29] Jinko. "Precio del panel solar". *Alibaba*. [En línea]. Disponible en <https://spanish.alibaba.com/g/solar-panel-price.html> (accedido el 25 de septiembre de 2022).
- [30] Grupo de Investigación de Ingeniería Termina. "Introducción a la Termoelectricidad". [Internet]. Disponible en [http://www.unavarra.es/ets02/Introduccion%20a%20TE\(c\).htm](http://www.unavarra.es/ets02/Introduccion%20a%20TE(c).htm) (accedido el 26 de septiembre de 2022).
- [31] Azorín Penalva, Ainhoa. "Efecto Peltier y desarrollo de posibles aplicaciones técnicas". Handle Proxy. [En línea]. Disponible en <http://hdl.handle.net/10251/109025> (accedido el 26 de septiembre de 2022).
- [32] E. Romero, "Diseño e implementación del sistema de climatización para un automóvil Honda Civic por efecto Peltier", tesis de título, Universidad Católica de Santa María, 2017, Perú.
- [33] G. Villavicencio, Desarrollo de un dispositivo electrónico para la captación de agua en el medio ambiente, tesis de grado, Universidad Autónoma del Estado de México, 2015.
- [34] W. R. Cotton y R. A. Pielke, "Human-Modified Interactions with the Atmospheric Hydrologic Cycle," in *Human Impacts on Weather and Climate*, Cambridge: Cambridge University Press, 2007, pp. 64-65.

- [35] J. M. Smith, H. C. Van Ness, y M. M. Abbott, "Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics," in *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*, 7.^a ed. Nueva York: McGraw Hill Education, 2005, pp. 20-24.
- [36] Química.es. "Entalpia". [En línea]. Disponible en <https://www.quimica.es/enciclopedia/Entalp%C3%ADa.html>
- [37] R. V. Wahlgren, *Water-from-Air Quick Guide*, 2^a. ed. Columbia Británica: Atmoswter Research, 2018.
- [38] SENAHMI. "Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional". Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional - SENAMHI - Perú. [En línea]. Disponible en <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones> (accedido el 05 de marzo de 2023).
- [39] H. Jarimi, R. Powell, y S. Riffat, "Review of Sustainable Methods for Atmospheric Water Harvesting", *International Journal of Low-Carbon Technologies*, vol. 15, no 2, pp. 253-276, may., 2020. [En línea]. Disponible en <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctz072>.
- [40] V. P. Joshi, V. S. Joshi, H. A. Kothari, M. D. Mahajan, M. B. Chaudhari, y K. D. Sant, "Experimental Investigations on a Portable Fresh Water Generator Using a Thermoelectric Cooler", *Energy Procedia*, vol. 109, pp. 161-166, mar., 2017. [En línea]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.085>.
- [41] Weather Spark. "El clima y el tiempo promedio en todo el año en Lima. [En línea]. Disponible en <https://es.weatherspark.com/y/20441/Clima-promedio-en-Lima-Perú-durante-todo-el-año> (accedido el 5 de octubre de 2022).
- [42] Real Academia Española. "Definición de epistemología". Diccionario panhispánico del español jurídico". [En línea]. Disponible en <https://dpej.rae.es/lema/epistemología#:~:text=1.,y%20métodos%20del%20conocimiento%20científico> (accedido el 25 de septiembre de 2022).
- [43] L. Reidl-Martínez, "Marco conceptual en el proceso de investigación en Educación Médica", *Investigación en educación médica*, vol. 1, no 3, pp. 146-151, abril, 2012.
- [44] R. Vieytes, *Metodología, de la Investigación en Organizaciones, Mercado y Sociedad, Epistemología y Técnicas*. Buenos Aires: Editorial de la Ciencias, 2004.

- [45] “Aosong Electronics Co.,Ltd”. [En línea]. Disponible en <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf> (accedido el 1 de marzo de 2023).
- [46] Bosch. “Bosch Sensortec”. [En línea]. Disponible en <https://www.digikey.com/htmldatasheets/production/856385/0/0/1/BMP180-Datasheet.pdf> (accedido el 1 de marzo de 2023).
- [47] Findchips. [En línea]. Disponible en <https://www.digikey.com/htmldatasheets/production/856385/0/0/1/BMP180-Datasheet.pdf> (accedido el 1 de marzo de 2023).
- [48] J. Gerardo, “Efecto de diferentes frecuencias y dosis de riego por goteo en el cultivo de sábila en el Municipio Colina del estado Falcón”, *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, vol. 3, no 5, pp. 99-109, 2018.
- [49] A. Núñez, *Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego*. Lima: Minagri, 2015.
- [50] El Economista. “España, paraíso para el mejor aloe vera”. [En línea]. Disponible en <https://www.eleconomista.es/empresas-finanzas/agro/noticias/9405777/09/18/Espana-paraíso-para-el-mejor-aloe-vera.html> (accedido el 25 de septiembre de 2022).
- [51] Hidroponicsistemas. “El futuro de la agricultura: ahorro de agua en cultivos hidropónicos”. [En línea]. Disponible en <https://hydroponicsystems.eu/es/el-futuro-de-la-agricultura-ahorro-de-agua-en-cultivos-hidroponicos/> (accedido el 25 de septiembre de 2022).
- [52] Infoagro. “Riego en el cultivo del arándano”. [En línea]. Disponible en <https://mexico.infoagro.com/riego-en-el-cultivo-del-arandano/#:~:text=De%20manera%20general%2C%20un%20valor,y%203%20litros%20al%20d%C3%ADa> (accedido el 17 de julio de 2023).
- [53] Hidroponika. “De todo para hidrocultura”. [En línea]. Disponible en <https://www.hidroponika.com.pe/> (accedido el 17 de julio de 2023).

- [54] A. Aguilera y L. Hontoria, "Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos", trabajo de curso, Universidad de Jaén. [En línea]. Disponible en <https://manuelberaun.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/12/dimensionado-de-sfv-autonomos.pdf>.

ANEXOS

Matriz de consistencia

TITULO: "TECNOLOGÍAS EFICIENTES DE ENERGÍA SOLAR-HUMEDAD DEL AMBIENTE PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA EN ZONAS ÁRIDAS DE LA COSTA DE LIMA, PERÚ."				
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>Problema general</p> <p>¿De qué manera las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente permiten la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>• Determinar las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente para la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>• Hi: las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente permiten la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú.</p> <p>• H0: las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente no permiten la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú.</p>	<p>Variables independientes</p> <p>X1=Energía solar Indicador 1: W/m² Indicador 2: Wh/m²</p> <p>X2= Humedad del ambiente, Indicador 1: humedad relativa % Indicador 2: humedad absoluta g/m³ Indicador 3: temperatura °C</p>	<p>ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN: la presente investigación es cuantitativa</p> <p>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN La presente investigación es aplicada experimental, se realiza a través de la observación y mediciones de variables y parámetros técnicos que determinan el comportamiento de las variables de estudio.</p> <p>TÉCNICAS: Observación estructurada: la observación estructurada es la que se realiza con la ayuda de elementos técnicos apropiados, tales como fichas, cuadros, tablas, etc., por lo cual se los denomina observación sistemática, observación ficha estructurada de hojas de cálculo.</p> <p>INSTRUMENTOS: Formato de observación, ficha estructurada de hojas de cálculo.</p> <p>ANÁLISIS DOCUMENTAL: consiste en recoger información de fuentes documentales, tales como bibliografías, actas, informes, archivos, etc.</p> <p>PROCESAMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE LOS DATOS Estadística, regresión Lineal, etc.</p>
<p>Problema específico 1</p> <p>• ¿De qué manera las tecnologías eficientes de energía solar permiten un adecuado rendimiento energético para la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima Perú?</p>	<p>Objetivo específico 1</p> <p>• Determinar de qué manera las tecnologías eficientes de energía solar permiten un adecuado rendimiento energético para la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima Perú</p>	<p>Hipótesis específica 1</p> <p>• Las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente permiten un adecuado rendimiento energético para la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima Perú.</p>		
<p>Problema específico 2</p> <p>• ¿De qué manera las tecnologías eficientes de energía solar permiten la obtención de un volumen adecuado de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú?</p>	<p>Objetivo específico 2</p> <p>• Determinar de qué manera las tecnologías eficientes de energía solar permiten la obtención de un volumen adecuado de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú, para cultivos de bajo consumo de agua.</p>	<p>Hipótesis específica 2</p> <p>• Las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente permiten la obtención de un volumen adecuado de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú.</p>	<p>Variable dependiente</p> <p>Y1= Obtención de agua del medio ambiente en la costa de la región Lima- Perú</p> <p>Indicadores: - 1: Litros/día - 2: Watts-hora/litro - 3: índice WFA</p>	

Matriz corea

*Las conclusiones, las recomendaciones y los aportes serán incluidos con la culminación del trabajo de investigación.

TÍTULO: "TECNOLOGÍAS EFICIENTES DE ENERGÍA SOLAR-HUMEDAD DEL AMBIENTE PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA EN ZONAS ÁRIDAS DE LA COSTA DE LIMA, PERÚ."					
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS GENERAL	CONCLUSIONES	RECOMENDACIONES	APORTES
<ul style="list-style-type: none"> • Problema general ¿De qué manera las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente permiten la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú? 	<ul style="list-style-type: none"> • Objetivo general Determinar las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente para la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú. 	<ul style="list-style-type: none"> • Hipótesis general Hi: las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente permiten la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú. • H0: las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente no permitirán la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú 	<ul style="list-style-type: none"> • La solución desarrollada con base en una tecnología eficiente de energía solar-humedad del ambiente permite la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú. • La evaluación realizada durante el año 2022 con el equipo AW30 y un sistema de energía solar ha permitido la obtención de 30 litros de agua diario en promedio 	<ul style="list-style-type: none"> • Se recomienda realizar una investigación multidisciplinaria con especialistas en ingeniería mecánica eléctrica y físicos para incrementar la eficiencia de producción de agua obtenida de la humedad del ambiente. • Se recomienda continuar con los estudios de obtención de agua del medio ambiente buscando nuevas zonas con mejores condiciones que la costa de Lima, tanto para la obtención de agua como para el uso de energía solar aplicados a equipos electromecánicos WFAR. 	<ul style="list-style-type: none"> • Metodología para estudio de producción de agua de medianos volúmenes (ultrasonido). • Metodología para la medición de pequeños volúmenes de agua (peso del agua producida).
<ul style="list-style-type: none"> • Problema específico 1: ¿De qué manera las tecnologías eficientes de energía solar permiten un adecuado rendimiento energético para la 	<ul style="list-style-type: none"> • Objetivo específico 1: Determinar las tecnologías eficientes de energía solar que permiten la condensación de la humedad para la obtención de agua en 	<ul style="list-style-type: none"> • Hipótesis específica 1 Hi: las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente permiten un adecuado rendimiento energético para la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú. 	<ul style="list-style-type: none"> • La solución desarrollada con base en una tecnología eficiente de energía solar-humedad del ambiente permite un adecuado rendimiento energético para la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima (Perú), cuyo valor promedio en el año 2022 de 0.55KWh/L. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se recomienda iniciar una línea de investigación que aborde el uso de la energía solar para el desarrollo humano, donde se desarrollen investigaciones orientadas a resolver problemas fundamentales con la obtención de agua del medio ambiente y la seguridad alimentaria del país. 	<ul style="list-style-type: none"> • Empleo de la energía solar para la obtención de agua del medio ambiente en la costa de Lima Perú.

<p>obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú?</p>	<p>zonas áridas de la costa de Lima, Perú.</p>				
<p>• Problema específico 2: ¿De qué manera las tecnologías eficientes de energía solar permiten la obtención de un volumen adecuado de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú?</p>	<p>• Objetivo específico 2: Determinar las tecnologías eficientes de energía solar permite la obtención de un volumen adecuado de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú.</p>	<p>• Hipótesis específica 2 Hi: las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente permite la obtención de un volumen adecuado de agua en zonas áridas de la costa de Lima, Perú.</p>	<p>• La solución desarrollada con base en una tecnología eficiente de energía solar-humedad del ambiente permite la obtención de un volumen de agua en zonas áridas de la costa de Lima (Perú) para cultivos de bajo consumo de agua, como es el caso de sábila, planta que requiere en promedio 0.5 cada 7 días. Con una producción de 30 litros de agua al día, se podría dar suministro a 420 plantas de sábila.</p> <p>• La costa de Lima presenta características promedio para la aplicación de sistemas WFAR, en la medida de que, durante los intervalos de enero a mayo y noviembre a diciembre, dicha zona presenta un índice WFAR de 0.8 a 1, las cuales son calificadas como buenas; mientras que en el periodo de junio a octubre el índice es de 0.7, calificadas como regular</p>	<p>• Se recomienda realizar estudios en la costa norte del Perú, donde la temperatura alcanza 30°C con una humedad relativa de 80% con una densidad de vapor de agua de 24.3g/m³, lo que corresponde a un índice WFAR de 1.5, catalogado como excelente.</p> <p>• Se recomienda iniciar una línea de investigación que aborde el uso de la energía solar para el desarrollo humano, donde se desarrollen investigaciones orientadas a resolver problemas fundamentales con la obtención de agua del medio ambiente y la seguridad alimentaria del país.</p> <p>• Se recomienda realizar estudios para mejorar la eficiencia de equipos con tecnología Peltier.</p>	<p>• Metodología para la estimación de volúmenes de producción de agua en función de parámetros medioambientales, mediante hoja de cálculo Excel.</p>

Relación matriz de consistencia – matriz corea

Relación entre la matriz de consistencia y las principales conclusiones y las recomendaciones con sus aportes.

TITULO: "TECNOLOGÍAS EFICIENTES DE ENERGÍA SOLAR-HUMEDAD DEL AMBIENTE PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA EN ZONAS ÁRIDAS DE LA COSTA DE LIMA PERÚ."					
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS GENERAL	CONCLUSIONES	RECOMENDACIONES	APORTES
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	General	General	General
¿De qué manera las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente permitirán la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima Perú?	• Determinar las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente para la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima Perú.	• Hi: las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente permitirán la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima Perú. • H0: hipótesis negada	• La solución desarrollada en base a una tecnología eficiente de energía solar-humedad del ambiente permite la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima Perú. La evaluación realizada durante el año 2022 con el equipo AW30 y un sistema de energía solar ha permitido la obtención de 30 litros de agua diario en promedio	• Se recomienda realizar una investigación multidisciplinaria con especialistas en ingeniería mecánica eléctrica y físicos para incrementar la eficiencia de producción de agua obtenida de la humedad del ambiente.	• Metodología para estudio de producción de agua de medianos volúmenes (ultrasonido).
Problema Específico 1	Objetivo Específico 1	Hipótesis Específica 1	Específica 1	Específica 1	Específica 1
¿De qué manera las tecnologías eficientes de energía solar permitirán un adecuado rendimiento energético para la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima Perú?	• Determinar las tecnologías eficientes de energía solar que permitirán la condensación de la humedad para la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima Perú.	• Las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente permitirán un adecuado rendimiento energético para la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima Perú.	• La solución desarrollada en base a una tecnología eficiente de energía solar-humedad del ambiente permitirá un adecuado rendimiento energético para la obtención de agua en zonas áridas de la costa de Lima Perú, cuyo valor promedio en el año 2022 de 0.55kWh/L.	• Se recomienda continuar con los estudios de obtención de agua del medio ambiente buscando nuevas zonas con mejores condiciones que la costa de Lima, tanto para la obtención de agua como para el uso de energía solar aplicados a equipos electromecánicos WFA.	• Metodología para la medición de pequeños volúmenes de agua (peso del agua producida).
Problema Específico 2	Objetivo Específico 2	Hipótesis Específica 2	Específica 2	Específica 2	Específica 2
¿De qué manera las tecnologías eficientes de energía solar permitirán la obtención de un volumen adecuado de agua en zonas áridas de la costa de Lima Perú?	• Determinar las tecnologías eficientes de energía solar que permitirán la obtención de un volumen adecuado de agua en zonas áridas de la costa de Lima Perú.	• Las tecnologías eficientes de energía solar-humedad del ambiente permitirán la obtención de un volumen adecuado de agua en zonas áridas de la costa de Lima Perú.	• La solución desarrollada en base a una tecnología eficiente de energía solar-humedad del ambiente permite la obtención de un volumen de agua en zonas áridas de la costa de Lima Perú para cultivos de bajo consumo de agua, como es el caso de Sábila, planta que requiere en promedio 1.5 litros al mes. Con una producción de 30 litros de agua al día, al mes se obtendría en promedio 900 litros, lo cual podría dar suministro a 600 plantas de sábila.	• Se recomienda realizar estudios en la costa norte del Perú donde la temperatura alcanza 30°C con una humedad relativa de 80% con una densidad de vapor de agua de 24.3gr/m ³ , lo que corresponde a un índice WFA de 1.5, catalogado como excelente.	• Metodología para la estimación de volúmenes de producción de agua en función de parámetros medioambientales, mediante hoja de cálculo Excel.

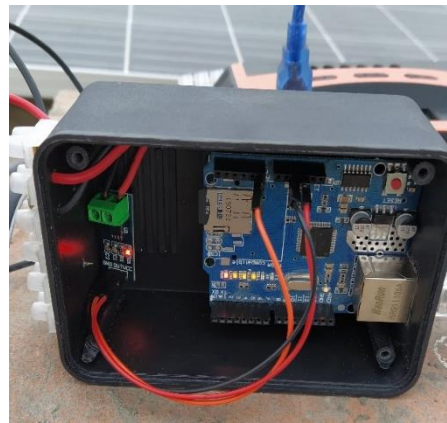
Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos a ser empleados de recolección de datos son los siguientes:

- a) Módulo de medición que emplea como unidad de control la tarjeta de desarrollo IDE ARDUINO.
- b) El sensor de la tarjeta ARDUINO, se ha calibrado con un instrumento amperímetro de laboratorio.



Modulo IDE de mediciones y monitoreo – parte externa



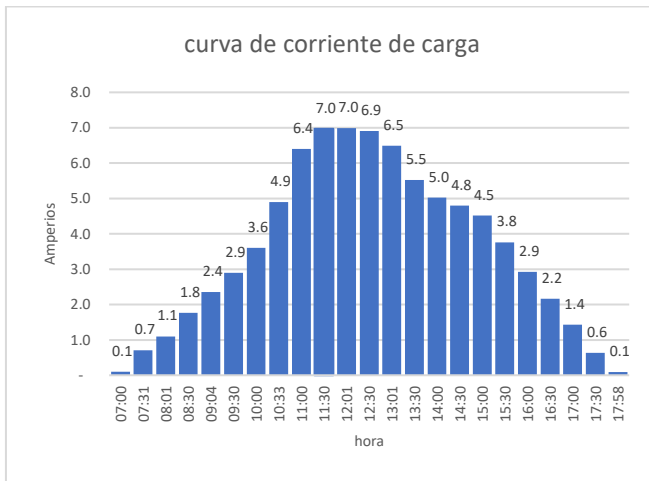
Modulo IDE de mediciones y monitoreo – parte interna

La recolección de los datos se obtuvo en red mediante el programa residente en la tarjeta IDE ARDUINO.

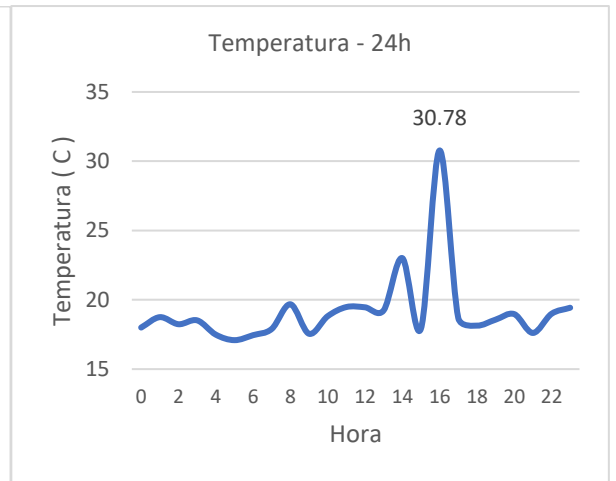
El dispositivo IDE, junto con el programa de medición en red, permitirá obtener información de las condiciones de corriente de carga, temperatura y humedad.

De acuerdo con pruebas exploratorias realizadas en la ciudad de Lima, se ha obtenido la curva de corriente de carga del sistema, empleada para efectos de prueba de paneles solares de 120W, un controlador de carga PWM y una batería de 10 amp/h.

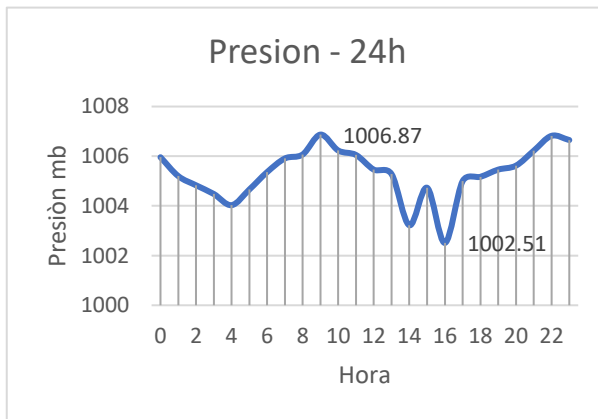
Asimismo, el módulo de mediciones permite obtener valores de temperatura, presión atmosférica y humedad relativa, tal como se muestra en las gráficas a continuación.



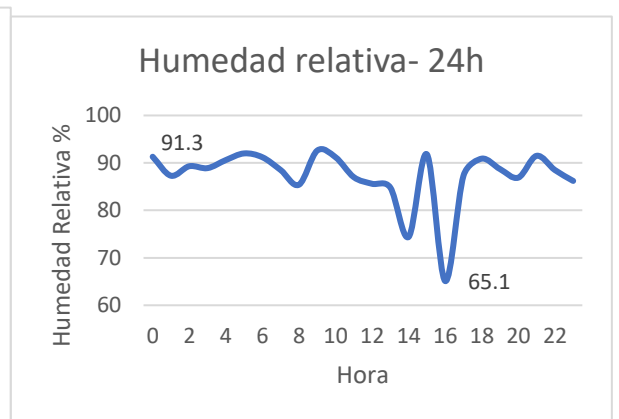
Corriente de carga del sistema panel solar – baterías durante un día



Temperatura del ambiente 24h



Presión atmosférica 24h



Humedad relativa 24h

Equipamiento para la experimentación



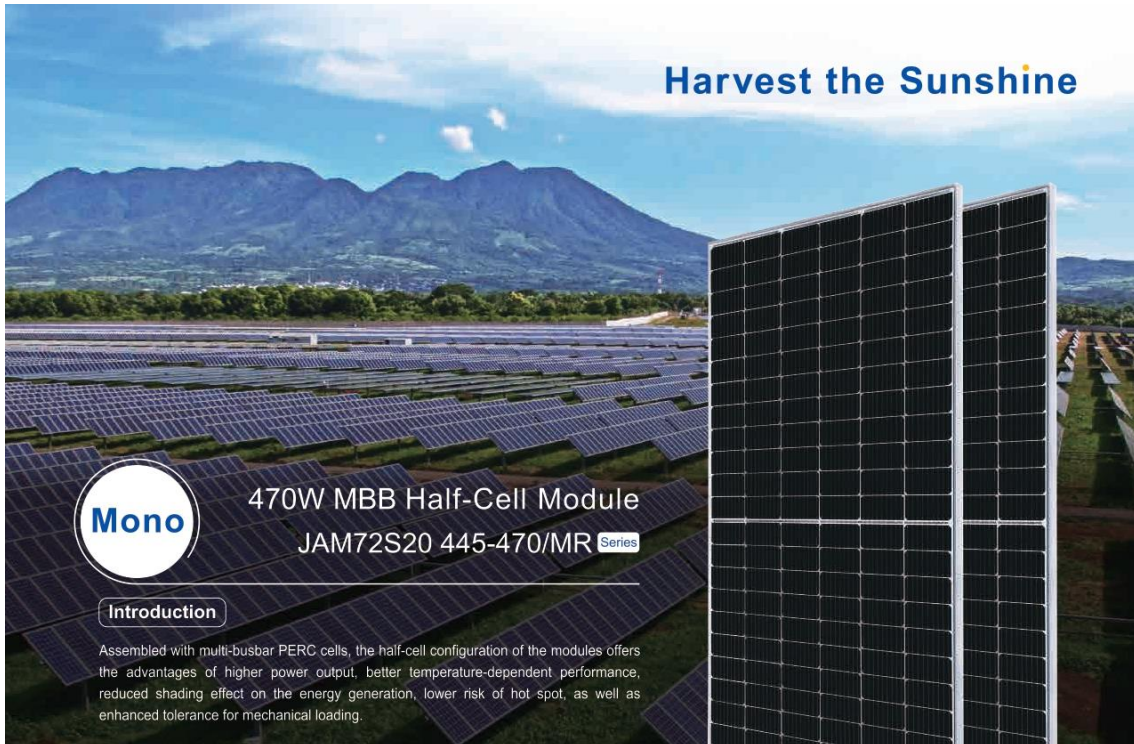
Equipo WFAE



Instalación de equipo WFAE

Hoja de datos de equipamiento de sistema de energía solar

- Panel solar



Higher output power



Lower LCOE



Less shading and lower resistive loss

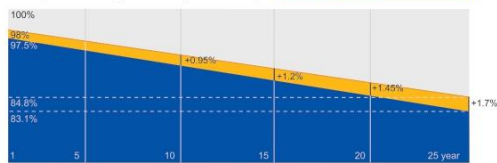


Better mechanical loading tolerance

Superior Warranty

- 12-year product warranty
- 25-year linear power output warranty

0.55% Annual Degradation Over 25 years



■ New linear power warranty ■ Standard module linear power warranty

Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730, UL 61215, UL 61730
- ISO 9001: 2015 Quality management systems
- ISO 14001: 2015 Environmental management systems
- ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems
- IEC 62941: 2019 Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Quality system for PV module manufacturing



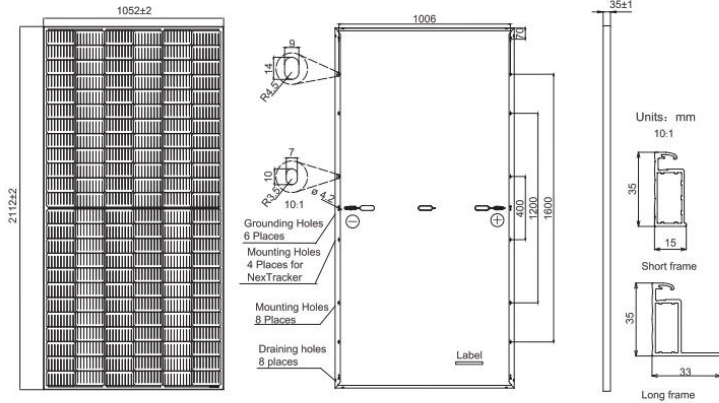
JA SOLAR

www.jasolar.com

Specifications subject to technical changes and tests. JA Solar reserves the right of final interpretation.



MECHANICAL DIAGRAMS



Remark: customized frame color and cable length available upon request

SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	24.5kg
Dimensions	2112±2mm×1052±2mm×35±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ² (IEC) , 12 AWG(UL)
No. of cells	144 (6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	MC4-EVO2/ QC 4.10-35
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 300mm(+)/400mm(-); Landscape: 1200mm(+)/1200mm(-)
Packaging Configuration	31pcs/pallet 682pcs/40ft Container

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM72S20 -445/MR	JAM72S20 -450/MR	JAM72S20 -455/MR	JAM72S20 -460/MR	JAM72S20 -465/MR	JAM72S20 -470/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	445	450	455	460	465	470
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.56	49.70	49.85	50.01	50.15	50.31
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	41.21	41.52	41.82	42.13	42.43	42.69
Short Circuit Current(Isc) [A]	11.32	11.36	11.41	11.45	11.49	11.53
Maximum Power Current(Imp) [A]	10.80	10.84	10.88	10.92	10.96	11.01
Module Efficiency [%]	20.0	20.3	20.5	20.7	20.9	21.2
Power Tolerance	0~+5W					
Temperature Coefficient of Isc(α _{Isc})	+0.044%/°C					
Temperature Coefficient of Voc(β _{Voc})	-0.272%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax(γ _{Pmp})	-0.350%/ C					
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G					

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer.They only serve for comparison among different module types.

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

TYPE	JAM72S20 -445/MR	JAM72S20 -450/MR	JAM72S20 -455/MR	JAM72S20 -460/MR	JAM72S20 -465/MR	JAM72S20 -470/MR
Rated Max Power(Pmax) [W]	336	340	344	348	352	355
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	46.65	46.90	47.15	47.38	47.61	47.84
Max Power Voltage(Vmp) [V]	38.95	39.19	39.44	39.68	39.90	40.10
Short Circuit Current(Isc) [A]	9.20	9.25	9.29	9.33	9.38	9.42
Max Power Current(Imp) [A]	8.64	8.68	8.72	8.76	8.81	8.86
NOCT	Irradiance 800W/m ² , ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1.5G					

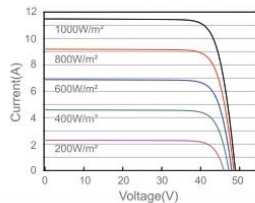
*For NexTracker installations ,Maximum Static Load, Front is 1800Pa while Maximum Static Load, Back is 1800Pa.

OPERATING CONDITIONS

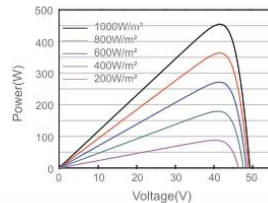
Maximum System Voltage	1000V/1500V DC
Operating Temperature	-40 C ~+85 C
Maximum Series Fuse Rating	20A
Maximum Static Load,Front*	5400Pa(112 lb/ft ²)
Maximum Static Load,Back*	2400Pa(50 lb/ft ²)
NOCT	45±2 C
Safety Class	Class II
Fire Performance	UL Type 1

CHARACTERISTICS

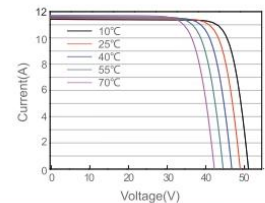
Current-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



Power-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



Current-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



• Baterías

Durable Battery Choose CSBattery



High-Temp Long Life GEL Deep Cycle Battery HTB12-200

HTB series uses the newly developed nano gel electrolyte with super-C additive plus heavy duty plates design inside. The HTB series has a long service life and can provide optimum and reliable service under extreme condition such as high temperature and frequent power failure, This series is highly suited for tropical area in outdoor applications such as Telecom BTS stations and Off-grid PV system.

12V 200Ah GEL Technology Deep Cycle



COMPLIED STANDARDS
 IEC 60896-21/22 JIS C8704
 IEC61427 BS6290 part4
 GB/T 19638 CE/ISO

Applications

- BTS Stations
- Solar & Wind energy system
- UPS system
- Telecom systems
- Wheel chair, Golf Car

General Features

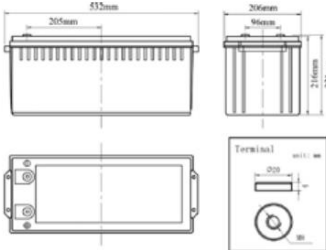
- ✓ Able to operate at 40-60°C
- ✓ DOD 50% 1500 times Cycles
- ✓ Integrated design to ensure the best Uniformity and reliability
- ✓ Long life and high stability under high temp. environment (no air-con needed)
- ✓ Use super-C additives: Deep discharge recovery capability

Dimensions & Weight

Length(mm)	532±1
Width(mm)	206±1
Height(mm)	215±1
Total Height(mm)	219±1
Weight(kg)	58.6±3%

Technical Specifications

Nominal Voltage		12V (6 cells per unit)
Design Floating Life @25°C		20 Years
Nominal Capacity @25°C (20 hour rate@10.0A,10.8V)		200Ah
Capacity @25°C	10hour rate (18.0A,10.8V)	180Ah
	5 hour rate (31.8A,10.5V)	159Ah
	1 hour rate (115.5A,9.6V)	115.5Ah
Internal Resistance	Full Charged Battery@25°C	≤3.0mΩ
Ambient Temperature	Discharge	-25°C~60°C
	Charge	-25°C~60°C
	Storage	-25°C~60°C
Max.Discharge Current@25°C		1200A(5s)
Capacity affected by Temperature (10 hour)	40°C	108%
	25°C	100%
	0°C	90%
	-15°C	70%
Self-Discharge@25°C per Month		3%
Charge (Constant Voltage) @25°C	Standby Use	Initial Charging Current Less than 45.0A Voltage 13.6-13.8V
	Cycle Use	Initial Charging Current Less than 45.0A Voltage 14.4-14.9V



Battery Discharge Table

Discharge Constant Current per Cell (Amperes at 25°C)

F.V/Time	15min	30min	45min	1h	2h	3h	5h	8h	10h	20h	100h
1.60V	312.4	185.9	132.0	115.5	70.5	49.5	33.7	22.2	19.8	10.8	2.40
1.65V	306.7	182.5	129.6	113.4	69.2	48.6	33.0	21.8	19.4	10.6	2.35
1.70V	301.0	179.1	127.2	111.3	67.9	47.7	32.4	21.4	19.1	10.4	2.31
1.75V	295.4	175.8	124.8	109.2	66.7	46.8	31.8	21.0	18.7	10.2	2.26
1.80V	284.0	169.0	120.0	105.0	64.1	45.0	30.6	20.2	18.0	10.0	2.22

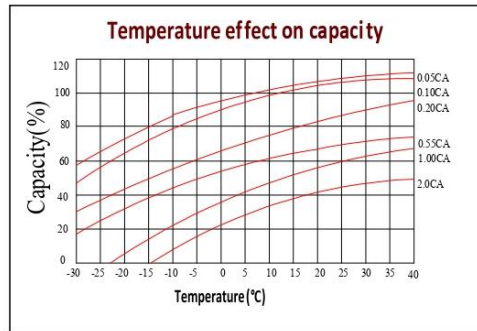
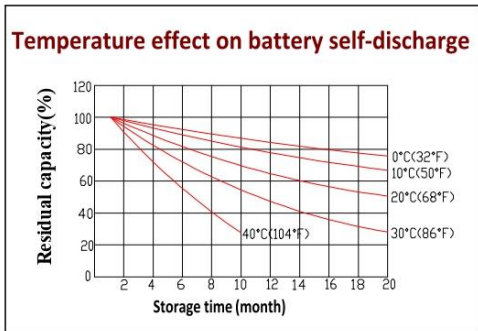
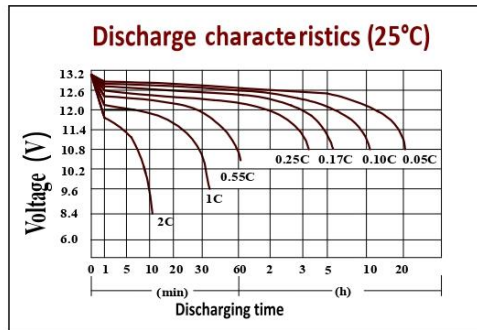
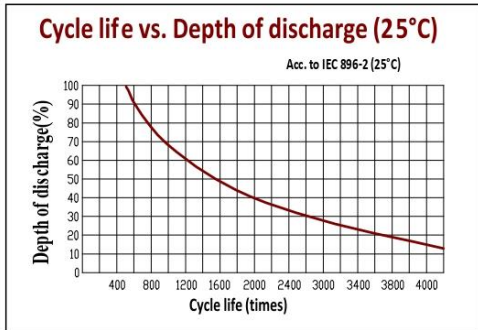
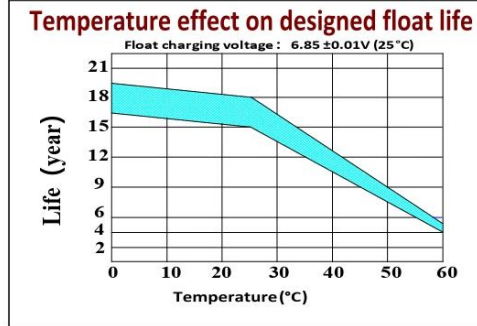
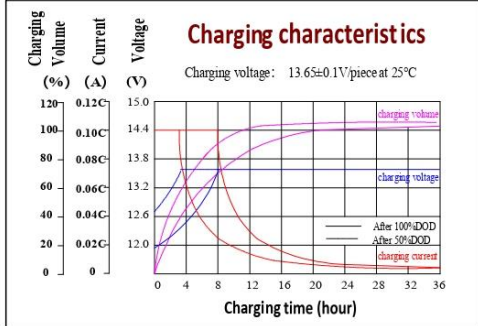
Discharge Constant Power per Cell (Watts at 25°C)

F.V/Time	15min	30min	45min	1h	2h	3h	5h	8h	10h	20h	100h
1.60V	535.5	357.9	254.1	222.3	135.7	95.3	64.8	42.8	38.1	20.8	4.62
1.65V	526.5	351.4	249.5	218.3	133.3	93.6	63.6	42.0	37.4	20.4	4.53
1.70V	517.5	344.8	244.9	214.3	130.8	91.8	62.4	41.2	36.7	20.0	4.44
1.75V	508.5	338.3	240.2	210.2	128.3	90.1	61.3	40.4	36.0	19.6	4.36
1.80V	490.5	325.3	231.0	202.1	123.4	86.6	58.9	38.9	34.7	19.3	4.27

Note: The above data are average values, and can be obtained within 3 charge/discharge cycles. These are not minimum values. Cell and battery designs/specifications are subject to modification without notice. Contact CSBattery for the latest information.

High-Temp Long Life GEL Deep Cycle Battery HTB12-200

Performance Characteristics



Battery Construction

Component	Positive plate	Negative plate	Container & Cover	Safety valve	Terminal	Separator	Electrolyte	Pillar seal
Features	Thick high Sn low Ca grid with special paste	Balanced Pb-Ca grid for improved recombination efficiency	Fire resistant ABS (UL94-V0 optional)	Flame Si-Rubber and aging resistance	Female Copper Insert M8	Advanced PVC /AGM separator for high pressure cell design	Silicon Gel	Two layers epoxy resin seal

Add: Building Evolution, Xingdong Industry Park, NO.61, Liuxian 2nd Road, Baoan, Shenzhen, China.
 Tel: +86-755-29123661 Email: Sales@CSBattery.cn, Support@CSBattery.cn
 Website: www.CSBattery.cn

- Controlador cargador

Easun-cargador Solar 4880, controlador de carga Solar MPPT de 80 a, 12V, 24V, 48V

Característica principal:

- * Controlador de carga Solar MPPT 80A
- * MPPT tecnología
- * La carga de 3 etapas optimiza el rendimiento de la batería
- * OVP automático, LDV de batería, OVP Solar, sobrecarga, sobrecalentamiento, protección de polaridad inversa.
- * Admite Comunicación RS485 con protocolo Modbus
- * Adecuado para tipos de baterías como plomo-ácido AGM/GEL/inundadas y baterías de litio, fácil de montar.

Controlador de parámetros

Los modelos	ICharer MPPT 8048
Modo de carga	3 etapas: corriente constante (MPPT), voltaje constante, flotante
Voltaje del sistema de	12/24/36/48/Auto
Potencia máxima PV Input	1200W/12V;2400W/24V 3600W/36V;4800W/48V
Max. Voltaje de entrada de PV	150 COV
Voltaje de la batería Automático reconocimiento	Sistema de 12V (DC8.7V-DC15.5V) Sistema de 24V (DC16V-DC31V) Sistema de 36V (DC33V -DC41V) Sistema de 48V (DC42V -DC64V)
La sobrecarga protección de tensión	Sistema de 12V (16V) Sistema de 24V (32V) 36V (48V) 48V (V 64V)
Lim central de protección actual	80 A
Max la eficiencia	≥ 98.1%
PV utilización	≥ 99%
Compensación de temperatura automática	-3mV/2V/°C
Protección de la temperatura	80 °C
Fan-temperatura	> 45 °C
Ventilador de temperatura	<40 °C
Tamaño (mm)	247,3*201*80,3
Ocho recién nacidos (Kg)	2,05
Compatibilidad electromagnética	De acuerdo a EN61000... EN550 22 EN550 24
Carcasa	IP21
Pendant ental temperatura	-20 °C ~ + 55 °C
Temperatura de almacenamiento	-40 °C ~ + 75 °C
Comunicación	Comunicación RS485 con protocolo Modbus
Adecuado para tipos de batería	Plomo-ácido AGM/GEL/inundado y litio

- Inversor

Modelo/ Características	PV30-1KW
Voltaje nominal banco de baterías	12DC
Potencia nominal	1KW
Potencia arranque	3KW
Capacidad arranque motores	1HP
Onda eléctrica	Onda senoidal pura / igual a la entrada (modo bypass)
Salida voltaje nominal RMS	220V/230V240VAC(+/-10% RMS)
Frecuencia salida	50Hz/60Hz +/-0.3 Hz
Eficiencia inversor (Pico)	>88%
Eficiencia conectado AC	>95%
Factor de potencia	0.8
Tiempo transferencia típico	10ms (máx.)
Voltaje	230VAC
Rango voltaje seleccionable	155~280VAC
Rango de frecuencia	50Hz/60Hz (Auto) 40-80Hz
Voltaje mínimo arranque	10.0VDC/10.5VDC
Alarma batería baja	10.5VDC+/-0.3V
Corte bajo voltaje	10.0VDC+/-0.3V
Alarma alto voltaje	16.0VDC+/-0.3V
Recuperación alto voltaje	15.5VDC+/-0.3V
Consumo en reposo	<25W con modo ahorro
Voltaje salida	Depende tipo batería
Fusible entrada AC	10A
Protección sobrecarga cargador	15.7VDC
Máxima corriente carga	35A
Onda de entrada	Onda pura (red o generador)
Frecuencia nominal entrada	50Hz o 60Hz
Protección sobrecarga Bypass y protección	Corta-circuitos
Protección cortocircuito salida	Corta-circuitos
Límite intensidad Bypass	10A
Corriente máxima Bypass	30Amp
Potencia FV máxima	600W
Corriente FV máxima	40 ^a
Selección voltaje DC	12V
Rango MPPT	16~100VDC
Voltaje máximo MPPT VOC	100VDC
Eficiencia máxima	>90%
Consumo stand-by regulador	<2W
Instalación	En pared
Dimensiones (W*H*D)	423*247*197mm
Peso neto (Inversor) kg	18.5

Dimensiones embalaje (W*H*D)	570*355*300mm
Peso bruto (Inversor) kg	21.5
Rango operativo temperatura	0°C to 40°C
Temperatura almacenamiento	-15°C to 60°C
Nivel sonoro	60dB MAX
Pantalla	LED+LCD
Volumen (20GP/40GP/40HQ)	460uds / 920uds / 1060uds

Hoja de datos de tarjeta Arduino y sensores

- Arduino

ARDUINO MEGA development kit



Symbol	Manufacturer	Manufacturer's part number	Components	Development kit
A000067	ARDUINO	ARDUINO MEGA2560 REV3	ATMEGA2560	Arduino
Interface	I2C; SPI; UART			
Features	microcontroller I/O lines lead to goldpin connectors			
Kind of connector	pin strips; ICSP; USB B; supply			
Kit contents	prototype board			

- BMP180

Data sheet

BMP180

Digital pressure sensor

Bosch Sensortec



BOSCH
Invented for life

BMP180 Data sheet

Document revision 2.4

Document release date 27 January 2012

Document number BST-BMP180-DS000-08

Technical reference code(s) 0 273 300 244

Notes Data in this document are subject to change without notice. Product photos and pictures are for illustration purposes only and may differ from the real product's appearance.

BMP180

DIGITAL PRESSURE SENSOR

Key features

Pressure range:	300 ... 1100hPa (+9000m ... -500m relating to sea level)
Supply voltage:	1.8 ... 3.6V (V_{DD}) 1.62V ... 3.6V (V_{DDIO})
Package:	LGA package with metal lid Small footprint: 3.6mm x 3.8mm Super-flat: 0.93mm height
Low power:	5 μ A at 1 sample / sec. in standard mode
Low noise:	0.06hPa (0.5m) in ultra low power mode 0.02hPa (0.17m) ultra high resolution mode

- Temperature measurement included
- I²C interface
- Fully calibrated
- Pb-free, halogen-free and RoHS compliant,
- MSL 1

Typical applications

- Enhancement of GPS navigation (dead-reckoning, slope detection, etc.)
- In- and out-door navigation
- Leisure and sports
- Weather forecast
- Vertical velocity indication (rise/sink speed)

 BOSCH	Data sheet BMP180	Page 3
--	-----------------------------	--------

BMP180 general description

The BMP180 is the function compatible successor of the BMP085, a new generation of high precision digital pressure sensors for consumer applications.

The ultra-low power, low voltage electronics of the BMP180 is optimized for use in mobile phones, PDAs, GPS navigation devices and outdoor equipment. With a low altitude noise of merely 0.25m at fast conversion time, the BMP180 offers superior performance. The I²C interface allows for easy system integration with a microcontroller.

The BMP180 is based on piezo-resistive technology for EMC robustness, high accuracy and linearity as well as long term stability.

Robert Bosch is the world market leader for pressure sensors in automotive applications. Based on the experience of over 400 million pressure sensors in the field, the BMP180 continues a new generation of micro-machined pressure sensors.

1. Electrical characteristics

If not stated otherwise, the given values are ± 3 -Sigma values over temperature/voltage range in the given operation mode. All values represent the new parts specification; additional solder drift is shown separately.

Table 1: Operating conditions, output signal and mechanical characteristics

Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Units
Operating temperature	T_A	operational	-40		+85	°C
		full accuracy	0		+65	
Supply voltage	V_{DD}	ripple max. 50mVpp	1.8	2.5	3.6	V
	V_{DDIO}		1.62	2.5	3.6	V
Supply current @ 1 sample / sec. 25°C	I_{DDLOW}	ultra low power mode		3		µA
	I_{DDSTD}	standard mode		5		µA
	I_{DDHR}	high resolution mode		7		µA
	I_{DDUHR}	Ultra high res. mode		12		µA
	I_{DDAR}	Advanced res. mode		32		µA
Peak current	I_{peak}	during conversion		650	1000	µA
Standby current	I_{DDSBM}	@ 25°C		0.1		µA
Relative accuracy pressure $V_{DD} = 3.3V$		950 ... 1050 hPa @ 25 °C		± 0.12		hPa
		700 ... 900hPa 25 ... 40 °C		± 1.0		m
Absolute accuracy pressure $V_{DD} = 3.3V$		300 ... 1100 hPa 0 ... +65 °C	-4.0	-1.0*	+2.0	hPa
		300 ... 1100 hPa -20 ... 0 °C	-6.0	-1.0*	+4.5	hPa
Resolution of output data		pressure		0.01		hPa
		temperature		0.1		°C
Noise in pressure		see table on page 12-13				
Absolute accuracy temperature $V_{DD} = 3.3V$		@ 25 °C	-1.5	± 0.5	+1.5	°C
		0 ... +65 °C	-2.0	± 1.0	+2.0	°C
Conversion time	$t_{c_p_low}$	ultra low power mode		3	4.5	ms



pressure	$t_{c_p_std}$	standard mode		5	7.5	ms
	$t_{c_p_hr}$	high resolution mode		9	13.5	ms
	$t_{c_p_luhr}$	ultra high res. mode		17	25.5	ms
	$t_{c_p_ar}$	Advanced res. mode		51	76.5	ms
Conversion time temperature	t_{c_temp}	standard mode		3	4.5	ms
Serial data clock	f_{SCL}				3.4	MHz
Solder drifts		Minimum solder height 50 μ m	-0.5		+2	hPa
Long term stability**		12 months		± 1.0		hPa

* The typical value is: -1 ± 1

** Long term stability is specified in the full accuracy operating pressure range 0 ... 65°C

2. Absolute maximum ratings

Table 2: Absolute maximum ratings

Parameter	Condition	Min	Max	Units
Storage temperature		-40	+85	°C
Supply voltage	all pins	-0.3	+4.25	V
ESD rating	HBM, R = 1.5kΩ, C = 100pF		±2	kV
Overpressure			10,000	hPa

The BMP180 has to be handled as Electrostatic Sensitive Device (ESD).



Figure 1: ESD

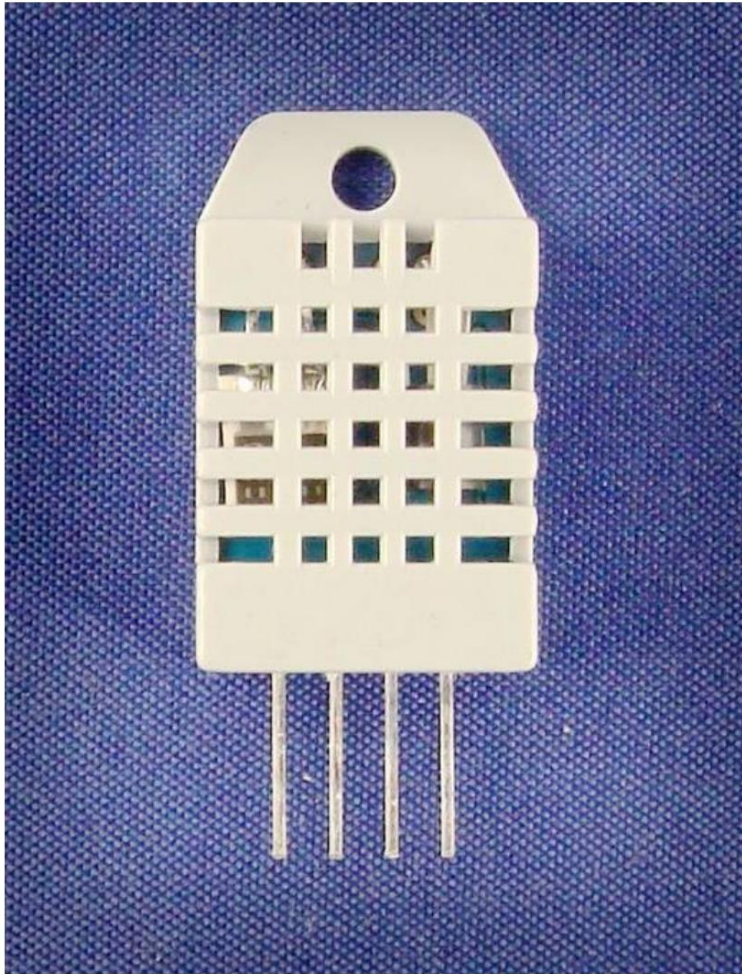
- DTH22

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

Digital-output relative humidity & temperature sensor/module

DHT22 (DHT22 also named as AM2302)



Capacitive-type humidity and temperature module/sensor

1

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

1. Feature & Application:

- * Full range temperature compensated
- * Relative humidity and temperature measurement
- * Calibrated digital signal
- * Outstanding long-term stability
- * Extra components not needed
- * Long transmission distance
- * Low power consumption
- * 4 pins packaged and fully interchangeable

2. Description:

DHT22 output calibrated digital signal. It utilizes exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(20m) enable DHT22 to be suited in all kinds of harsh application occasions.

Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

3. Technical Specification:

Model	DHT22
Power supply	3.3-6V DC
Output signal	digital signal via single-bus
Sensing element	Polymer capacitor
Operating range	humidity 0-100%RH; temperature -40~80Celsius
Accuracy	humidity +-2%RH(Max +-5%RH); temperature <+-0.5Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH; temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +-1%RH; temperature +-0.2Celsius
Humidity hysteresis	+-.0.3%RH
Long-term Stability	+-.0.5%RH/year
Sensing period	Average: 2s
Interchangeability	fully interchangeable
Dimensions	small size 14*18*5.5mm; big size 22*28*5mm

4. Dimensions: (unit----mm)

1) Small size dimensions: (unit----mm)

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

- HC-SR04

HC-SR04 User Guide

1. Ultrasonic Distance Measurement Principles

The transmitter emits a 8 bursts of an directional 40KHz ultrasonic wave when triggered and starts a timer. Ultrasonic pulses travel outward until they encounter an object, The object causes the the wave to be reflected back towards the unit. The ultrasonic receiver would detect the reflected wave and stop the stop timer. The velocity of the ultrasonic burst is 340m/sec. in air. Based on the number of counts by the timer, the distance can be calculated between the object and transmitter The TRD Measurement formula is expressed as: $D = C \times T$ which is know as the time/rate/distance measurement formula where D is the measured distance, and R is the propagation velocity (Rate) in air (speed of sound) and T represents time. In this application T is divided by 2 as T is double the time value from transmitter to object back to receiver.

2. Product Features

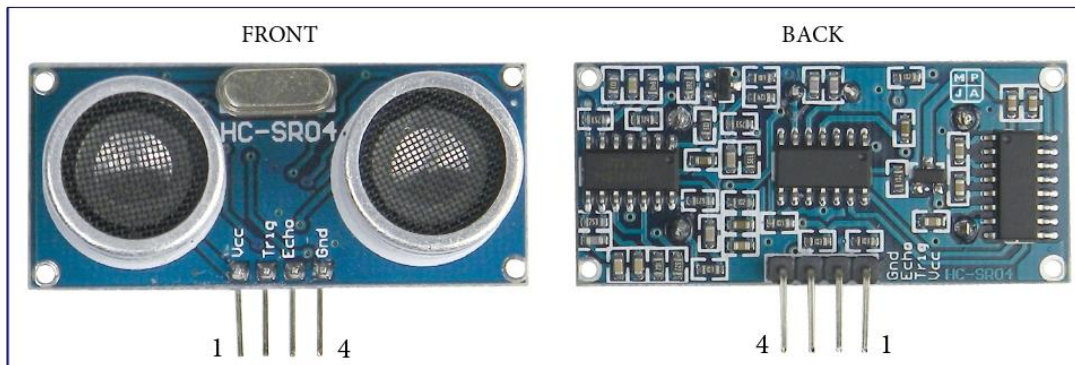
Features

- Stable performance (Xtal.)
- Accurate distance measurement
- High-density SMD Board
- Close Range (2cm)

Uses

- Robotics barrier
- Object distance measurement
- Level detection
- Security systems
- Vehicle detection/avoidance

3. Product Views



4. Module Pin Assignments

	Pin Symbol	Pin Function Description
1	VCC	5V power supply
2	Trig	Trigger Input pin
3	Echo	Receiver Output pin
4	GND	Power ground

5. Electrical Specifications

WARNING

Do Not connect Module with Power Applied! Always apply power after connecting Connect "GND" Terminal first

Electrical Parameters	HC-SR04 Ultrasonic Module
Operating Voltage	5VDC
Operating Current	15mA
Operating Frequency	40KHz
Max. Range	4m
Nearest Range	2cm
Measuring Angle	15 Degrees
Input Trigger Signal	10us min. TTL pulse
Output Echo Signal	TTL level signal, proportional to distance
Board Dimensions	1-13/16" X 13/16" X 5/8"
Board Connections	4 X 0.1" Pitch Right Angle Header Pins

6. Module Operation

Set Trig and Echo Low to initialize module. Place a minimum 10us High level pulse to "Trigger" (module will automatically send eight 40KHz acoustic bursts). At the same time, Gate the microcontroller timer to start timing.

Wait to capture the rising edge output of ECHO port to stop the timer. Now read the time of the counter, which is the ultrasonic propagation time in the air. According to the formula: $\text{Distance} = (\text{ECHO high level time} \times \text{ultrasonic velocity (Speed of Sound in air 340m/sec)}) / 2$, you can calculate the distance to the obstacle.

For best results and maximum range, the Object should be larger than 0.5M^2 the nearer the target object, the smaller it may be

