

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE TRES COCINAS SOLARES
TIPO CAJA CON DIFERENTES TIPOS DE AISLANTES
TÉRMICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE AGUA
PASTEURIZADA EN TACNA

TESIS

Presentada por:

Bach. María del Carmen Herrera de la Roca

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

TACNA – PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

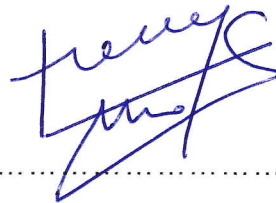
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

TESIS

**EVALUACIÓN COMPARATIVA DE TRES COCINAS
SOLARES TIPO CAJA CON DIFERENTES TIPOS
DE AISLANTES TÉRMICOS PARA LA
PRODUCCIÓN DE AGUA
PASTEURIZADA EN
TACNA**

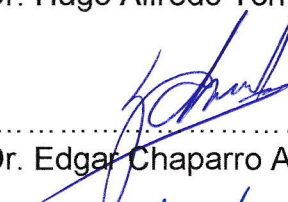
SUSTENTADA Y APROBADA EL 11 DE JUNIO DEL 2025, SIENDO
EL JURADO CALIFICADOR:

PRESIDENTE:



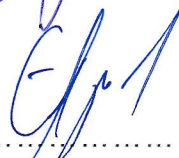
.....
Dr. Hugo Alfredo Torres Muro

SECRETARIO:



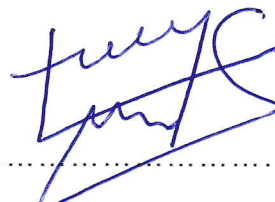
.....
Dr. Edgar Chaparro Aguilar

VOCAL:



.....
Dr. Efrén Eugenio Chaparro
Montoya

ASESOR:



.....
Dr. Hugo Alfredo Torres Muro

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dr. Hugo Alfredo Torres Muro en mi condición de asesor(a) acreditado con Resolución de Facultad N°8086-2023-FCAG del 07 de noviembre del 2023, del trabajo de tesis, titulado: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DE TRES COCINAS SOLARES TIPO CAJA CON DIFERENTES TIPOS DE AISLANTES TÉRMICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE AGUA PASTEURIZADA EN TACNA", presentado por la Bach. María del Carmen Herrera de la Roca, para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual de la UNJBG, considerando que según revisión, evaluación y análisis realizado a través del **Software de similitud textual TURNITIN**, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es de 9%, por lo que, **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciada líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para optar la obtención del título profesional, según corresponda consiguientemente para su publicación en el repositorio institucional.

Tacna, 26 de junio del 2025



Dr. Hugo Alfredo Torres Muro
DNI: 17819311



Bach. María del Carmen Herrera de la Roca
DNI 74956748



DEDICATORIA

A Dios por haber llegado a mi vida a muy temprana edad, por llenarme de su presencia y guiar mi vida a su santa voluntad.

A mis padres por su apoyo en todo momento; su amor y cuidado en todos estos años.

A mis familiares y amistades que siempre estuvieron alentándome a cumplir mis sueños y metas.

AGRADECIMIENTOS

A Dios quien me regaló la vida y me dio muchos motivos para ser feliz y disfrutar de mi familia a cada instante.

A mis padres, Rocío y Richard quienes me instruyeron y me aconsejaron a iniciar la tesis y poder culminarla.

A mi asesor, Dr. Hugo Torres Muro por orientarme en todo el trayecto de mi investigación.

Al Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Dr. Efrén Eugenio Chaparro Montoya por sus enseñanzas brindadas en investigación en toda mi carrera universitaria.

Al Dr. Edgar Chaparro Aguilar por sus enseñanzas brindadas.

Al MSc. Lorenzo Rebaza Enriquez por darme consejos y sugerencias en la realización de mi tesis.

Al Dr. Alexander Churata Neira por guiarme en toda la parte estadística del proyecto.

Al MSc. John Chuquimia López mi gran amigo y maestro, su apoyo incondicional y enseñanza en la elaboración de mi tesis.

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1	Planteamiento del problema.....	4
1.2	Formulación y sistematización del problema.....	7
1.2.1	Interrogante general.....	7
1.2.2	Interrogantes específicos.....	7
1.3	Delimitación de la investigación.....	8
1.4	Justificación.....	8
1.4.1	Justificación técnico – científica.....	8

1.4.2	Justificación socioeconómica.....	9
1.4.3	Justificación ambiental.....	10
1.5	Alcances y limitaciones.....	10

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1	Objetivos.....	12
2.1.2	Objetivo general.....	12
2.1.3	Objetivos específicos.....	12
2.2	Hipótesis.....	13
2.2.1	Hipótesis general.....	13
2.2.2	Hipótesis específicas.....	13
2.3	Variables.....	14
2.3.1	Diagrama de variables.....	14
2.3.2	Indicadores de variables.....	14
2.3.3	Operacionalización de las variables.....	16

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1	Conceptos generales y definiciones.....	17
3.1.1	Radiación Solar.....	17

3.1.2	Tipos de radiación solar.....	19
3.1.3	Conductividad térmica.....	20
3.1.4	Calor específico.....	20
3.1.5	Intensidad de la incidencia solar global.....	21
3.1.6	Eficiencia térmica.....	21
3.1.7	Transferencia de calor.....	22
3.2	Enfoques teóricos - técnicos.....	23
3.2.1	Cocina Solar.....	23
3.2.2	Tipos de cocinas solares.....	24
3.2.3	Cocina solar tipo caja u horno solar.....	26
3.2.4	Elementos o partes de la cocina solar.....	27
3.2.5	Funcionamiento.....	31
3.2.6	Usos de la cocina solar tipo caja.....	34
3.2.7	Comportamiento térmico.....	37
3.2.8	Eficiencia térmica.....	41
3.2.9	Métodos de pasteurización de agua.....	43
3.2.10	Aislante térmico.....	45
3.2.11	Impactos Ambientales.....	47
3.3	Antecedentes.....	48

3.3.1	Nivel internacional.....	48
3.3.2	Nivel nacional.....	55

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

4.1	Tipo de investigación.....	57
4.2	Población y muestra.....	58
4.2.1	Población.....	58
4.2.2	Muestra.....	59
4.3	Técnicas aplicadas en la recolección de la información.....	59
4.3.1	Desarrollo de la investigación.....	59
4.4	Instrumentos de medición.....	66
4.4.1	Materiales y equipos.....	66
4.5	Métodos estadísticos utilizados.....	68

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1	Resultados.....	69
5.1.1	Construcción y evaluación de tres cocinas solares tipo caja	69
5.1.2	Eficiencia térmica de las cocinas solares tipo caja para la producción de agua pasteurizada	94

5.1.3	Análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas de agua del rio Uchusuma antes y después del proceso de pasteurización de las cocinas solares	109
5.2	Discusión de resultados.....	112
5.2.1	Construcción y evaluación de tres cocinas solares tipo caja	112
5.2.2	Eficiencia térmica de las cocinas solares tipo caja para la producción de agua pasteurizada	117
	CONCLUSIONES.....	121
	RECOMENDACIONES.....	123
	BIBLIOGRAFÍA.....	124
	ANEXOS.....	133

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de variables.....	16
Tabla 2. Factores y repeticiones del diseño experimental.....	58
Tabla 3. Parámetros de diseño de las cocinas solares tipo caja....	70
Tabla 4. Análisis de varianza de la temperatura del agua en la olla de las cocinas solares.....	86
Tabla 5. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P<0,05$) de la temperatura del agua en la olla ($^{\circ}\text{C}$) con los diferentes tipos de aislantes de las cocinas solares.....	87
Tabla 6. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P<0,05$) de la temperatura del agua en la olla ($^{\circ}\text{C}$) con los diferentes espesores de las cocinas solares.....	88
Tabla 7. Análisis de varianza de la temperatura de la placa absorbadora de las cocinas solares.....	89
Tabla 8. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P<0,05$) de la temperatura de la placa absorbadora ($^{\circ}\text{C}$) con los diferentes tipos de aislantes de las cocinas solares.....	90
Tabla 9. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P<0,05$) de la temperatura de la placa absorbadora ($^{\circ}\text{C}$) con los diferentes espesores de las cocinas solares.....	91

Tabla 10. Análisis de varianza del tiempo de pasteurización - ebullición del agua de las cocinas solares.....	92
Tabla 11. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) del tiempo de pasteurización - ebullición en (min) con los diferentes tipos de aislantes de las cocinas solares.....	93
Tabla 12. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) del tiempo de pasteurización - ebullición en (min) con los diferentes espesores de las cocinas solares.....	94
Tabla 13. Análisis de varianza de la eficiencia de las cocinas solares tipo caja con sus diferentes tipos de aislantes.....	107
Tabla 14. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la eficiencia (%) con los diferentes tipos de aislantes de las cocinas solares.....	108
Tabla 15. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la eficiencia % de las cocinas solares tipo caja.....	109
Tabla 16. Análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas de muestras de agua antes y después de la pasteurización solar comparadas con el LMP para consumo humano y ECA categoría 1-A1 y la eficiencia de remoción de las cocinas solares tipo caja.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Incremento de emisiones de gases de efecto invernadero.....	7
Figura 2. Diagrama de variables.....	14
Figura 3. Espectro electromagnético de la radiación solar.....	18
Figura 4. Cocina solar tipo caja.....	27
Figura 5. Elementos de la cocina solar tipo caja.....	31
Figura 6. Funcionamiento y Estructura de la cocina solar.....	33
Figura 7. Esquema de la cocina solar tipo caja.....	34
Figura 8. Esquema del comportamiento térmico de una cocina solar tipo caja.....	38
Figura 9. Diagrama de las etapas principales en el desarrollo del trabajo de investigación.....	60
Figura 10. Cocinas solares tipo caja con la estación meteorológica marca Hobo.....	63

Figura 11.	Ubicación de puntos de monitoreo en la cocina solar tipo caja, termocupla en el agua y termocupla en el vidrio interior.....	64
Figura 12.	Ubicación de puntos de monitoreo en la cocina solar tipo caja, termocupla en la placa absorbadora y termocupla en el vidrio exterior.....	64
Figura 13.	Elementos externos de la cocina solar tipo caja.....	71
Figura 14.	Componentes internos de la cocina solar tipo caja.....	73
Figura 15.	Variación de la temperatura de la cocina solar tipo caja con el aislante térmico tecnopor con un espesor de 4 cm (C1) en relación a las horas e irradiancia solar (W/m ²).....	75
Figura 16.	Variación de la temperatura de la cocina solar tipo caja con el aislante térmico tecnopor con un espesor de 6 cm (C2) en relación a las horas e irradiancia solar (W/m ²).....	76
Figura 17.	Variación de la temperatura de la cocina solar tipo caja con el aislante térmico tecnopor con un espesor de 8 cm (C3) en relación a las horas e irradiancia solar (W/m ²).....	77
Figura 18.	Variación de la temperatura de la cocina solar tipo caja con el aislante térmico lana de oveja con un espesor	79

	de 4 cm (C1) en relación a las horas e irradiancia solar (W/m ²).....	
Figura 19.	Variación de la temperatura de la cocina solar tipo caja con el aislante térmico lana de oveja con un espesor de 6 cm (C2) en relación a las horas e irradiancia solar (W/m ²).....	80
Figura 20.	Variación de la temperatura de la cocina solar tipo caja con el aislante térmico lana de oveja con un espesor de 8 cm (C3) en relación a las horas e irradiancia solar (W/m ²).....	81
Figura 21.	Variación de la temperatura de la cocina solar tipo caja con el aislante térmico lana de vidrio con un espesor de 4 cm (C1) en relación a las horas e irradiancia solar (W/m ²).....	83
Figura 22.	Variación de la temperatura de la cocina solar tipo caja con el aislante térmico lana de vidrio con un espesor de 6 cm (C2) en relación a las horas e irradiancia solar (W/m ²).....	84
Figura 23.	Variación de la temperatura de la cocina solar tipo caja con el aislante térmico lana de vidrio con un espesor de 8 cm (C3) en relación a las horas e irradiancia solar (W/m ²).....	85

Figura 24.	Eficiencia (%) de las cocinas solares tipo caja con el aislante de tecnopor en función a las horas del día e irradiancia solar (W/m ²).....	95
Figura 25.	Eficiencia (%) de la cocina solar tipo caja de espesor de 4cm (C1) con el aislante de tecnopor en función al tiempo evaluado (h).....	96
Figura 26.	Eficiencia (%) de la cocina solar tipo caja de espesor de 6cm (C2) con el aislante de tecnopor en función al tiempo evaluado (h).....	97
Figura 27.	Eficiencia (%) de la cocina solar tipo caja de espesor de 8cm (C3) con el aislante de tecnopor en función al tiempo evaluado (h).....	98
Figura 28.	Eficiencia (%) de las cocinas solares tipo caja con el aislante lana de oveja en función a las horas del día e irradiancia solar (W/m ²).....	99
Figura 29.	Eficiencia (%) de la cocina solar tipo caja de espesor de 4cm (C1) con el aislante lana de oveja en función al tiempo evaluado (h).....	100
Figura 30.	Eficiencia (%) de la cocina solar tipo caja de espesor de 6cm (C2) con el aislante lana de oveja en función al tiempo evaluado (h).....	101

Figura 31.	Eficiencia (%) de la cocina solar tipo caja de espesor de 8cm (C3) con el aislante lana de oveja en función al tiempo evaluado (h).....	102
Figura 32.	Eficiencia (%) de las cocinas solares tipo caja con el aislante lana de vidrio en función a las horas del día e irradiancia solar (W/m2).....	103
Figura 33.	Eficiencia (%) de la cocina solar tipo caja de espesor de 4cm (C1) con el aislante lana de vidrio en función al tiempo evaluado (h)	104
Figura 34.	Eficiencia (%) de la cocina solar tipo caja de espesor de 6cm (C2) con el aislante lana de vidrio en función al tiempo evaluado (h)	105
Figura 35.	Eficiencia (%) de la cocina solar tipo caja de espesor de 8cm (C3) con el aislante lana de vidrio en función al tiempo evaluado (h).....	106

RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo evaluar comparativamente tres cocinas solares tipo caja con diferentes aislantes térmicos para la producción de agua pasteurizada en Tacna, a inicios del 2024. La metodología incluyó la construcción de tres cocinas solares, utilizando 80 litros de agua del río Uchusuma. Se realizó la pasteurización del agua en las cocinas para evaluar su comportamiento térmico, eficiencia y el análisis fisicoquímico y microbiológico del agua tratada. Se aplicó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), considerando tres aislantes térmicos (tecnopor, lana de oveja y lana de vidrio) en espesores de 4, 6 y 8 cm, siendo variables de respuesta: la temperatura del agua en la olla, la temperatura de la placa absorbidora, el tiempo de pasteurización y la eficiencia térmica. Los resultados indican que la cocina solar con aislante de lana de vidrio y espesor de 4 cm (C1) obtuvo el mejor desempeño, alcanzando una temperatura máxima del agua de 100 °C, temperatura de la placa de 108 °C, tiempo de pasteurización de 97 minutos y eficiencia térmica de 30,14 %. El análisis del agua pasteurizada confirmó el cumplimiento del Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano y del Estándar de Calidad Ambiental para aguas categoría 1-A1. En conclusión, la cocina C1 con lana de vidrio resultó ser la más eficiente para

producir agua pasteurizada, destacando entre las tres alternativas evaluadas.

Palabras clave: Agua de río, cocina solar, comportamiento térmico, eficiencia, pasteurización y temperature.

ABSTRACT

The objective of this research was to comparatively evaluate three box-type solar cookers with different thermal insulators for the production of pasteurized water in Tacna, at the beginning of 2024. The methodology involved the construction of three solar cookers and the use of 80 liters of water from the Uchusuma River. Water pasteurization was carried out to assess thermal performance, efficiency, and the physicochemical and microbiological quality of the treated water. A completely randomized block design (CRBD) was applied, considering three types of thermal insulation (Styrofoam, sheep wool, and fiberglass) at thicknesses of 4, 6, and 8 cm. The response variables were: water temperature inside the pot, absorber plate temperature, pasteurization time, and thermal efficiency. Results indicate that the solar cooker insulated with fiberglass at 4 cm thickness (C1) showed the best performance, reaching a maximum water temperature of 100 °C, absorber plate temperature of 108 °C, pasteurization time of 97 minutes, and thermal efficiency of 30.14%. The analysis of the pasteurized water confirmed compliance with the Water Quality Regulations for Human Consumption and the Environmental Quality Standard for Category 1-A1 water. In conclusion, the C1 cooker with fiberglass insulation proved to be the most efficient in producing pasteurized water, standing out among the

three alternatives evaluated.

Keywords: River water, Solar cooker, Thermal behavior, Efficiency, Pasteurization, Temperature.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, un tercio de la población mundial utiliza leña para cocinar. El fuego tradicional en el suelo tiene una eficiencia de alrededor del 5%, mientras que los hornos de leña aprovechan hasta un 25% del calor de la madera seca. Las cocinas de gas natural o vitrocerámicas actuales logran aprovechar hasta un 30%. Así, una actividad que parece inofensiva, como cocinar o hervir agua, produce una significativa cantidad de emisiones de gases a la atmósfera. Aproximadamente el 50% de los 3200 millones de toneladas de madera recolectada globalmente se quema como combustible, y en algunos lugares esta cifra puede llegar a ser de hasta cuatro quintas partes. Esto implica que un recurso tan versátil como la madera se convierte en calor, como si no tuviésemos otras alternativas más limpias y renovables (Llague y Salinas, 2008).

La utilización de energías alternativas en el hogar se plantea como una solución para abordar problemas sociales y ambientales. Se han llevado a cabo varios esfuerzos para fomentar estas estrategias, con el objetivo de popularizar el uso de cocción solar (Mealla y Morales, 2015).

Es ampliamente reconocido que las cocinas solares no solo eliminan la necesidad de combustibles fósiles, sino que también contribuyen a mantener el ambiente limpio y preservan el valor nutricional de los

alimentos. Sin embargo, para fomentar su uso, es fundamental también informarse sobre su rendimiento y eficiencia (Morsetto y Portin, 2018).

Las cocinas solares tipo caja se han desarrollado en muchos países debido a su bajo costo y facilidad de uso, así como a su rendimiento en función de varios factores. Entre estos se incluyen las condiciones climáticas, el aislamiento, las propiedades de la superficie absorbente, el tipo de cubierta transparente, y los parámetros operativos relacionados con las características de los alimentos o el agua durante la pasteurización, así como el recipiente de cocción. Por lo tanto, una de las tareas clave al diseñar una cocina solar es seleccionar adecuadamente los materiales, especialmente los de la cubierta, que deben ser apropiados desde el punto de vista térmico y, si es posible, de bajo costo (Lema y Pontin, 2006).

Actualmente en la región de Tacna hay pueblos donde la energía eléctrica no es accesible y se cocina en leña, causando así la contaminación en la atmósfera, por ello la presente investigación tuvo por objetivo principal evaluar comparativamente tres cocinas solares tipo caja con diferentes tipos de aislantes térmicos para la producción de agua pasteurizada en Tacna, a través de la construcción de tres cocinas solares tipo caja y la evaluación de su comportamiento térmico, la determinación de su eficiencia térmica para la producción de agua pasteurizada a partir del agua de río y el análisis de las características fisicoquímicas y

microbiológicas del agua de río antes y después del proceso de pasteurización solar, se debe hacer un análisis del porque es necesario pasteurizar el agua en las zonas rurales de la región y sus implicancias sobre la salud y el ambiente. Para ello el informe del trabajo de investigación se encuentra dividido en los siguientes capítulos:

El capítulo I comprende el planteamiento del problema, formulación y sistematización del problema, delimitación, justificación y limitaciones de la investigación. El capítulo II contempla los objetivos, hipótesis y variables de estudio. El capítulo III comprende el marco teórico y conceptual. El capítulo IV describe la metodología de investigación. En el capítulo V se muestran los resultados experimentales de la investigación y la discusión de resultados. El trabajo de investigación finaliza con las conclusiones, recomendaciones, bibliografía consultada y los anexos referidos para futuros trabajos de investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

El consumo de combustibles fósiles a nivel mundial comprende el 80% de la demanda actual de energía y el sistema energético, es la fuente de aproximadamente dos tercios de las emisiones globales de CO_2 .(ONU, 2022). Los países de África, Asia y Latinoamérica, son los más afectados por la crisis ambiental o la crisis global que se está sufriendo en todo el planeta desde el punto de vista energético. La degradación del medio ambiente con el consecuente cambio climático es una bomba de tiempo que debe desactivarse si no queremos desaparecer como especie del planeta Tierra.(Díaz, 2012)

Existen muchas tecnologías que se están probando en estos momentos para tratar de salir de dicha problemática, una de ella es, por ejemplo, cambiar la matriz energética a nivel mundial pasando de las energías fósiles a energías limpias y renovables.(Leandro, 2006). En el Perú se viene impulsando el uso de tecnologías limpias, entre ellas están la energía eólica, solar, biomasa de residuos agrícolas y de residuos urbanos, y centrales hidroeléctricas de 20 MW o menos (Lira, 2018).

En algunas ciudades del país, en las zonas periféricas, rurales y altoandinas, hay pobladores que utilizan leña para suplir sus necesidades energéticas, dichas acciones traen como consecuencia la depredación de los bosques y la desaparición de nichos ecológicos, entre otros impactos que producen estas prácticas ancestrales (PNUD, 2009).

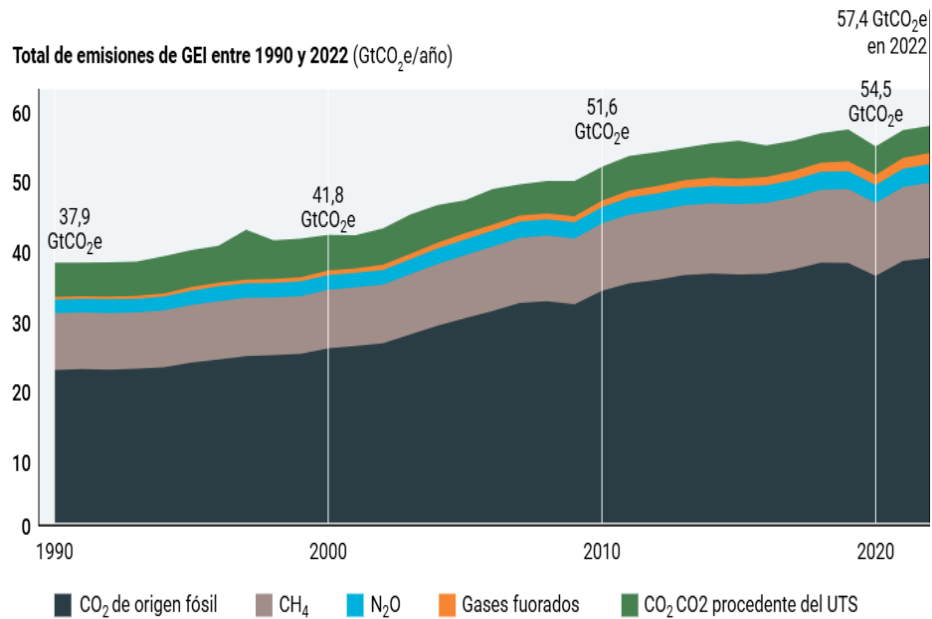
La ciudad de Tacna es una zona sísmica, que a lo largo de la historia han ocurrido una serie de terremotos generando el colapso de los sistemas de abastecimiento de agua potable, sistema eléctrico y otros servicios que son importantes para la población. Esto puede traer como consecuencia la proliferación de enfermedades estomacales producidas por el consumo de agua contaminada producto del estado de emergencia que se origina cuando ocurre eventos catastróficos como terremotos, tsunamis, huaycos, deslizamiento de tierra, lluvias torrenciales. (Bernal y Gómez, 2018). Es en estas circunstancias problemáticas donde las cocinas solares pueden ser usadas en los primeros días de ocurrido el desastre natural, la población en su conjunto pueda utilizar ésta tecnología para cocinar sus alimentos y proveer de agua descontaminada (pasteurizada) para suplir las necesidades básicas de las familias afectadas (Eco Inventos, 2022).

Otro aspecto de la problemática observada se refiere a la tala indiscriminada de bosques y al incremento de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera debido al uso de la biomasa en forma de leña

que una gran parte de la población en el Perú todavía usa para cocinar sus alimentos, actividades artesanales y folclóricas. En el Perú más del 20% de la población usa leña para cocinar sus alimentos, sobre todo en las zonas interandinas, altoandinas y zonas rurales de la costa peruana. (IDMA, 1998). Todo esto trae como consecuencia mayor presión sobre los bosques, y otros impactos ambientales como extinción de especies, desaparición de nichos ecológicos, disminución de ecosistemas, menos oportunidades de desarrollo económico para comunidades aledañas a los bosques depredados, menos posibilidades de absorción de CO_2 por los bosques, lo que repercute en la degradación del suelo y bajos niveles de vida de la población. (Torres y Polo, 2019)

Figura 1

Incremento de emisiones de gases de efecto invernadero



Nota: “Emisiones” por PNUMA (2021)

1.2 Formulación y sistematización del problema

1.2.1 Interrogante general

¿Cuál es la influencia del aislante térmico y su espesor en la eficiencia de producción de agua pasteurizada con cocinas solares tipo caja bajo las condiciones climáticas de Tacna?

1.2.2 Interrogantes específicos

- ¿Con que tipo de aislante térmico se logra tener una mayor eficiencia en una cocina solar tipo caja para la pasteurización de agua?

- ¿Cuál será el espesor óptimo que debe tener el aislante térmico en una cocina solar tipo caja para lograr una mayor eficiencia en la pasteurización de agua?
- ¿Cuáles serán las mejores características fisicoquímicas y microbiológicas del agua de río antes y después de su pasteurización en las cocinas solares tipo caja?

1.3 Delimitación de la investigación

El lapso del tiempo fue de 9 días entre el 25 de enero al 3 de febrero del 2024, durante el cual se evaluaron las cocinas solares tipo caja el agua de río Uchusuma en diferentes tipos de aislantes y espesores (4; 6 y 8 cm). La investigación se llevó a cabo en el Centro de Energías Renovables de Tacna (CERT), órgano perteneciente a la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, ubicado dentro de la ciudad universitaria en el distrito Tacna, provincia Tacna, región Tacna, en el año 2024.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación técnico – científica

La investigación permitirá aplicar procedimientos técnicos para la construcción, evaluación y análisis de la eficiencia de las cocinas solares, que por su simplicidad pueden luego ser replicados por otras personas sin necesidad de tener una formación especializada en el tema. También permitirá aplicar los principios sobre el funcionamiento de las cocinas

solares tipo caja y la aplicación de ecuaciones fisicomatemáticas ya comprobadas por muchos investigadores, lo que coadyubará a mejorar la metodología para la evaluación correcta de cocinas solares tipo caja, además al usar diferentes materiales como aislantes térmicos, demostraremos cuál de ellos es el más indicado para la construcción de cocinas solares de este tipo.

1.4.2 Justificación socioeconómica

Éste trabajo de investigación beneficiará a un importante sector de la población de la región Tacna, a aquellas familias comprendidas en la zona altoandina, interandina y rurales de la costa de la región. Los beneficiará en el sentido de que contribuirá a lograr algunos de los objetivos del desarrollo sostenible establecido por la ONU, en el sentido que el uso de cocinas solares en forma masiva permitiría erradicar la pobreza energética en las poblaciones más vulnerables, con ello se reducirá el hambre relacionado íntimamente al uso de la energía para cocinar, también podría tener una gran influencia para propiciar la buena salud y bienestar de las personas porque las cocinas serían utilizadas para descontaminar el agua mediante la pasteurización y la cocción de alimentos lo que mejoraría la dieta alimenticia y disminuirían las enfermedades infecto contagiosas y estomacales, además, de reducir los costos por uso de fuente de energía

fósil o de la tala de bosques relacionado con la eliminación de la pobreza extrema.

1.4.3 Justificación ambiental

El uso de cocinas solares tipo caja reduce la emisión de gases contaminantes y de efecto invernadero asociados con la quema de combustibles fósiles y biomasa. Esto contribuye a la mitigación de las consecuencias del cambio climático y mejora la calidad del aire local, también contribuirá a evitar la mayor presión sobre los bosques en las zonas altoandinas e interandinas de las región Tacna evitando así la extinción de especies, la desaparición de ecosistemas e inminente desertificación producto de la tala indiscriminada y el uso inadecuado de los suelos, que a su vez impiden la absorción de CO_2 y la cosecha de agua de lluvias que ayuda a mejorar el nivel de la napa freática.

1.5 Alcances y limitaciones

Entre las muchas ventajas de construir una cocina solar, podemos resaltar el bajo costo y el respaldo hecho por muchos investigadores cuyos trabajos de investigación y sus resultados nos permitirán compararlos con los que se esperan en esta investigación, así, con ésta base científica demostraremos la gran utilidad de ésta tecnología la cual, tiene como limitante principal las condiciones climáticas de la región Tacna, en la cual

se presentarán días con lluvias, días nublados y días con bajas temperaturas, de acuerdo a las estaciones del año.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos

2.1.2 Objetivo general

Evaluar comparativamente tres cocinas solares tipo caja con diferentes tipos de aislantes térmicos para la producción de agua pasteurizada en Tacna.

2.1.3 Objetivos específicos

- Construir tres cocinas solares tipo caja con diferentes aislantes térmicos y de diferentes espesores para pasteurización de agua.
- Evaluar la eficiencia de las tres cocinas solares tipo caja en función del material usado como aislante térmico y de sus espesores para la pasteurización de agua.
- Analizar fisicoquímicamente el agua pasteurizada en las cocinas solares tipo caja producida bajo las condiciones climáticas de Tacna.

2.2 Hipótesis

2.2.1 Hipótesis general

La evaluación comparativa de cocinas solares tipo caja con diferentes aislantes térmicos y espesores permite comparar sus eficiencias en la producción de agua pasteurizada bajo las condiciones climáticas de Tacna.

2.2.2 Hipótesis específicas

- El tipo de aislante térmico con el cual se puede lograr una mayor eficiencia térmica en una cocina solar tipo caja para la pasteurización de agua es la lana de vidrio.
- El mejor espesor del aislante térmico en una cocina solar tipo caja para lograr una mayor eficiencia en la pasteurización de agua es 8 cm.
- Las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua pasteurizada obtenida en las cocinas solares tipo caja cumplen con la norma de calidad de agua para consumo humano.

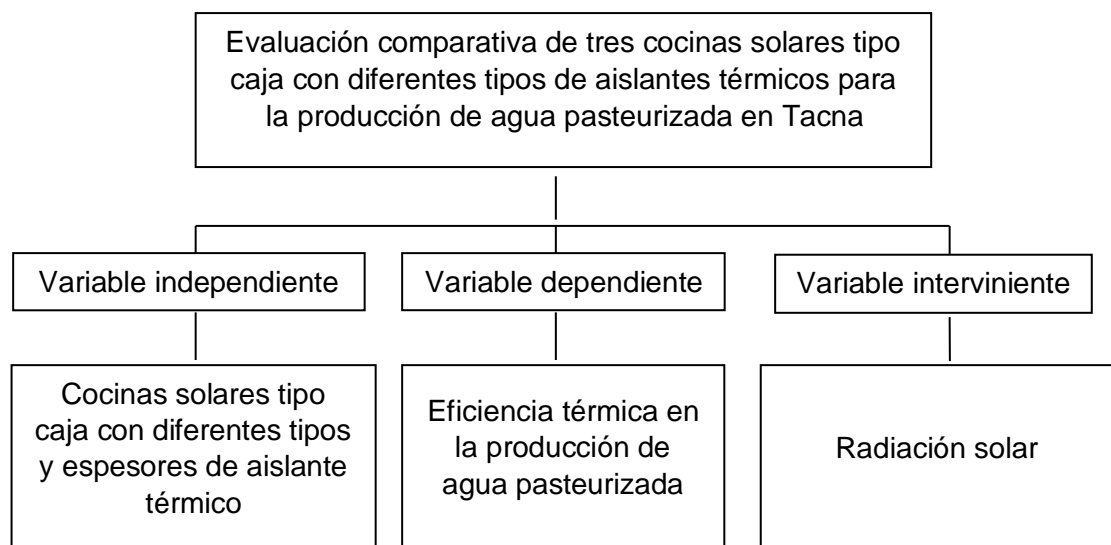
2.3 Variables

2.3.1 Diagrama de variables

En la Figura 2 se observa el diagrama de variables de la presente investigación.

Figura 2

Diagrama de variables



2.3.2 Indicadores de variables

a) Variable independiente

Cocinas solares tipo caja con diferentes tipos y espesores de aislante térmico.

b) Variable dependiente

Eficiencia térmica en la producción de agua pasteurizada.

c) Variable Interviniente

Radiación solar

2.3.3 Operacionalización de las variables

En la Tabla 1 se mencionan las variables, dimensiones e indicadores que se emplearon para el presente trabajo de investigación:

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Definición	Dimensión	Indicadores
Independiente			
X = Cocinas solares tipo caja diferentes tipos y espesores de aislante térmico	Los materiales aislantes se caracterizan por ofrecer una gran resistencia al flujo de calor, lo que limita su transferencia hacia el otro lado del material. Por esta razón, actúan como barrera tanto contra el calor como contra el frío. (Palomo, 2017).	Parámetros de diseño Conductividad térmica Espesor Temperatura Pérdida de calor Tiempo	- Área (m^2) - Espesor (cm) - Reflectores (cm) - Ángulo de los reflectores ($^\circ$) - Temperatura ($^\circ C$) - Tiempo de pasteurización - ebullición (min)
Dependientes			
Y= Eficiencia térmica en la producción de agua pasteurizada	La pasteurización es un proceso específico de calentamiento y enfriamiento que se aplica a líquidos como el agua y la leche, para eliminar o inactivar microorganismos dañinos. Conforme el agua se va calentando en una cocina solar, las temperaturas sobre los $56^\circ C$ empiezan a matar los microbios que pueden causar enfermedades, a partir de los $63 - 65^\circ C$ ya se considera un agua pasteurizada. (Carrillo, 2013).	Eficiencia Radiación solar Calor útil, calor incidente Características fisicoquímicas y microbiológicas	-- Eficiencia térmica (%) - Turbiedad (UNT) - Sólidos Disueltos Totales (mg/L) - Conductividad eléctrica ($\mu S/cm$) - pH - Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) - Demanda química de oxígeno (mg/L) - Coliformes fecales (NMP/100 ml) - Coliformes totales (NMP/100 ml) - Cantidad de calor (cal)
Interviniente			
Z = Radiación solar	La energía solar que emite el Sol alcanza la atmósfera terrestre con una intensidad reducida —cerca a los $1360 W/m^2$ — debido a la gran distancia que separa ambos cuerpos. Al atravesar la atmósfera, esta radiación pierde aún más intensidad por efecto de la capa atmosférica, llegando a la superficie del planeta con un valor aproximado de $1000 W/m^2$. (Pareja, 2010).	Cantidad de energía Radiación solar incidente	- Irradiancia solar (W/m^2)

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1 Conceptos generales y definiciones

3.1.1 Radiación Solar

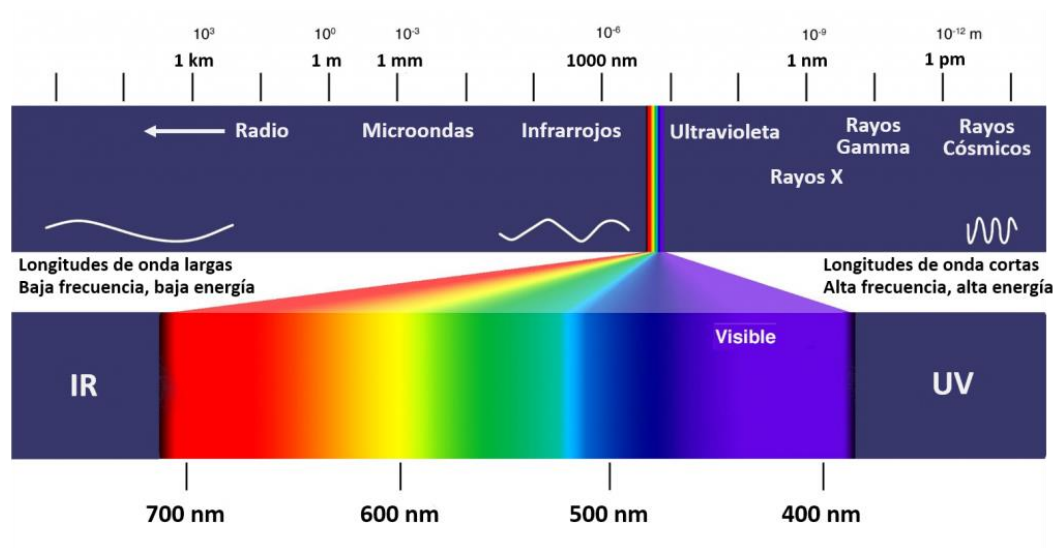
La radiación solar se refiere al flujo de energía proveniente del Sol, que se transmite mediante ondas electromagnéticas de diversas frecuencias, incluyendo la luz visible, el infrarrojo y el ultravioleta. Estos tres rangos no solo componen la luz solar, sino que también están presentes en cualquier tipo de luz. La característica principal de la luz es su longitud de onda, la cual se obtiene al dividir la velocidad de propagación de la luz en el vacío ("c") entre su frecuencia. Esto implica una relación inversa: a mayor longitud de onda, menor es la frecuencia de la onda (Castro, 2014).

Dado que la longitud de onda de la luz es extremadamente pequeña, comúnmente se expresa en nanómetros (nm), que representan una milmillonésima parte de un metro, o en micrómetros (μm), equivalentes a una millonésima de metro. La radiación electromagnética se organiza en un espectro continuo que abarca una amplia gama de longitudes de onda, desde valores extremadamente cortos (como los rayos gamma) hasta ondas muy largas, como las de radio, que pueden medir varios kilómetros.

Este espectro no tiene límites definidos, ni por arriba ni por abajo. Además, la energía de cada fotón, una pequeña unidad de radiación, está relacionada inversamente con su longitud de onda; es decir, cuanto más corta es la onda, mayor es su energía. como se muestra en la figura 3, (Benavides, 2010).

Figura 3

Espectro electromagnético de la radiación solar



Nota: En la figura se muestra el espectro electromagnético de la radiación solar por Oliver (2017)

3.1.2 Tipos de radiación solar

3.1.2.1 Irradiación solar directa

Es la radiación que llega a la superficie de la tierra en forma de rayos provenientes del sol sin cambios de dirección (Sánchez et al., 1993).

3.1.2.2 Irradiación solar difusa

Se denomina radiación difusa a la energía solar que llega desde distintas direcciones, distintas a la del Sol directamente, como resultado de los procesos de reflexión y dispersión que ocurren en la atmósfera y en las nubes (Hernández et al., 1991).

3.1.2.3 Irradiación global

La irradiación global es un concepto fundamental en el estudio de la energía solar. Se define como la cantidad total de energía solar recibida en una superficie horizontal durante un periodo de tiempo específico. Esta incluye dos componentes principales: la radiación directa, que proviene directamente del sol, y la radiación difusa, que llega al suelo tras ser dispersada por moléculas y partículas en la atmósfera (Duffie y Beckman, 2013). Este parámetro se mide generalmente en kilovatios hora por metro cuadrado (kWh/m^2) y es esencial para la evaluación del potencial energético solar en diversas regiones del mundo.

La medición precisa de la irradiación global permite determinar la viabilidad de proyectos solares fotovoltaicos y térmicos, así como realizar estudios climáticos y meteorológicos. Factores como la inclinación de la superficie, las condiciones atmosféricas y la latitud influyen significativamente en las variaciones de la irradiación global en diferentes lugares (Renewable Energy World, 2023).

3.1.3 Conductividad térmica

Desde el punto de vista físico el fenómeno de la conductividad térmica representa la transferencia de la energía cinética (Cárdenas Lorenzo, 2005). La conductividad térmica de un material es una medida de su capacidad de transferir energía térmica (calor), al imponerle un gradiente de temperatura (González y Méndez, 2008). Constante proporcional del material, la cual es una medida de la capacidad del material para conducir calor (Morales y Pérez, 2018).

3.1.4 Calor específico

El término "calor" (Q) se refiere a la energía que se transfiere de un punto a otro dentro de un sistema, o entre distintos sistemas, debido exclusivamente a una diferencia de temperatura. Por convención, esta energía se considera positiva cuando el sistema la recibe y negativa cuando la cede. A diferencia de otras magnitudes termodinámicas, el calor no depende del estado del sistema, sino del camino seguido durante el

proceso, por lo que se representa mediante un diferencial inexacto cuando se analiza en forma infinitesimal (Fourty y Bertinetti, 2003).

3.1.5 Intensidad de la incidencia solar global

Hace referencia a la cantidad de energía solar que incide sobre una superficie específica en un intervalo de tiempo determinado. Se mide en términos de potencia por unidad de área, expresada generalmente en vatios por metro cuadrado (W/m^2). Este parámetro incluye tanto la radiación directa que proviene del sol como la radiación difusa dispersada en la atmósfera y la radiación reflejada desde la superficie terrestre (Duffie y Beckman, 2013).

La intensidad de la incidencia solar global es crucial para la planificación y el diseño de sistemas de energía solar fotovoltaica y térmica, ya que permite estimar el potencial energético en una ubicación específica. Además, varía dependiendo de factores como la latitud, la altitud, la estación del año, las condiciones climáticas, y la orientación e inclinación de las superficies receptoras (Solanki, 2015).

3.1.6 Eficiencia térmica

Se refiere a la relación entre la energía térmica útil obtenida y la energía total suministrada a un sistema, como en motores, calderas, sistemas de generación de energía o procesos industriales. La eficiencia

térmica depende de múltiples factores, incluidos el diseño del sistema, las propiedades de los materiales utilizados y las condiciones operativas. En sistemas termodinámicos, como motores térmicos, se encuentra limitada por el ciclo de Carnot, que establece la eficiencia máxima teórica basada en las temperaturas de las fuentes caliente y fría (Çengel y Boles, 2019).

En aplicaciones prácticas, mejorar la intensidad de la eficiencia térmica implica optimizar procesos de transferencia de calor, minimizar pérdidas energéticas y emplear tecnologías avanzadas como intercambiadores de calor eficientes y materiales de alta conductividad térmica (Eastop y McConkey, 1993). Estas mejoras no solo contribuyen a la sostenibilidad energética, sino también a la reducción de costos operativos y de emisiones de gases contaminantes.

3.1.7 Transferencia de calor

La transferencia de calor es el fenómeno mediante el cual la energía térmica se mueve de un cuerpo a otro, o entre zonas de un mismo objeto, siempre que exista una diferencia de temperatura entre ellos. Según la Segunda Ley de la Termodinámica, este intercambio se produce de forma natural desde el cuerpo con mayor temperatura hacia el que tiene una menor, y continúa hasta que se alcanza el equilibrio térmico. El calor puede transmitirse por conducción, convección o radiación. Aunque los tres

mecanismos pueden actuar simultáneamente, en ciertas situaciones uno de ellos puede ser el predominante (Altamirano R. y Ponce B., 2018).

3.2 Enfoques teóricos - técnicos

3.2.1 Cocina Solar

Son aparatos empleados desde hace tiempo para cocinar alimentos utilizando la energía solar. Funcionan como termo-conversores, ya que convierten la radiación solar en calor, generando la temperatura necesaria para llevar a cabo la cocción de los alimentos (Áviles, 2017).

Las cocinas solares representan una alternativa efectiva para enfrentar estos problemas y, además, ofrecen múltiples aplicaciones adicionales, siempre con beneficios tanto ecológicos como económicos. Principalmente, permiten cocinar de forma sencilla sin costos energéticos, ya que utilizan únicamente la energía solar, una fuente gratuita y abundante. Entre sus múltiples ventajas se encuentran una mayor seguridad durante su uso, la ausencia de combustión (lo que evita la emisión de humos y dióxido de carbono) y la mejora de las condiciones ambientales tanto a nivel local como global. En el caso de las cocinas solares de acumulación, como los hornos o cajas solares, la cocción preserva mejor los nutrientes de los alimentos. Además, estos dispositivos permiten mayor flexibilidad de tiempo, ya que no es necesario estar presente durante todo el proceso de cocción (García, 2002).

El uso principal de la cocina solar es la preparación de alimentos y la pasteurización del agua. Diversos factores influyeron en su desarrollo, como la escasez de combustibles convencionales para cocinar, las condiciones climáticas favorables y la posibilidad de acceder a ciertos materiales necesarios para su construcción (Merchán y Picoita, 2010).

En las cocinas solares tipo caja la temperatura de ebullición del agua debe ser mayor de 80 °C (Esteves, 2001), llegando a 87, 2 °C en muchas ocasiones (González, 2023).

En la investigación experimental de Lucchini y Barral (2016) su horno solar llegó a temperatura del agua de 98 °C en 92 min y la temperatura de la placa absorbidora de 118 °C; demostrando así que las cocinas solares son muy útiles para pasteurizar agua.

3.2.2 Tipos de cocinas solares

A continuación, según Viñals (2017) los diferentes tipos de cocinas solares desarrollados hasta el presente son:

a. Cocina tipo caja / Horno solar

Los hornos solares, también conocidos como cocinas solares tipo caja debido a su diseño, funcionan aprovechando la acumulación de los rayos solares que reciben, transformándolos en calor dentro de su compartimento interno. Su funcionamiento se basa en el llamado "efecto

invernadero": el vidrio transparente permite la entrada de radiación solar de onda corta, pero impide que la radiación de onda larga, emitida por los objetos calentados en el interior, escape, lo que contribuye a elevar la temperatura interna del horno.

b. Cocina mixta o de panel (Cookit)

Este tipo de cocinas solares representa la opción más sencilla tanto en diseño como en funcionamiento, ya que requiere una inversión mínima de tiempo y recursos para su elaboración. Están construidas principalmente con materiales básicos como cartón y superficies reflectantes, usualmente papel aluminio. Gracias a su ligereza y estructura plegable, son muy fáciles de almacenar y transportar. En cuanto a su funcionamiento, combinan tanto la acumulación como la concentración de la radiación solar, lo que permite un aprovechamiento más eficiente de la energía del sol.

c. Cocina parabólica

Estos equipos están diseñados para concentrar la energía solar en un único punto, lo que permite aumentar significativamente la temperatura y así facilitar tanto la cocción de alimentos como la evaporación de líquidos. Utilizan una estructura parabólica recubierta con material reflectante que, al ser orientada hacia el sol, capta los rayos solares y los refleja hacia un

punto específico denominado foco, donde se acumula la mayor parte de la radiación solar.

3.2.3 Cocina solar tipo caja u horno solar

Existen varios diseños de cocinas solares tipo caja pensados para uso doméstico, caracterizados por su construcción sencilla y su fácil operación. Su principal función es captar y retener la energía solar, transfiriendo el calor generado a la olla para cocinar de la manera más eficiente posible. Durante el proceso de cocción, parte del calor se pierde por distintas vías: evaporación del vapor que se desprende de los alimentos, convección desde la superficie del recipiente, conducción del calor desde la base del recipiente hacia la placa absorbente, y emisión de radiación térmica (Filippin y Iriarte, 2006)

Los hornos solares son dispositivos en el cual concentran la radiación solar en una zona llamada foco. Allí, toda la energía solar se acumula, permitiendo alcanzar temperaturas elevadas (Sanchez, 2016). Así mismo, pueden beneficiar al ecosistema, ya que su uso disminuye la necesidad de combustibles fósiles y la explotación de recursos naturales (Pineda, 2014).

Las pruebas en cocinas solares tipo caja deberán ser conducida cuando la temperatura del ambiente se fluctuó entre 20 y 35 °C (Merchán y Picoita, 2010).

Figura 4

Cocina solar tipo caja



Fuente: Pineda (2021).

3.2.4 Elementos o partes de la cocina solar

De acuerdo con RMU (2022) los elementos o partes de la cocina solar son:

- a) La estructura:** Para que la caja mantenga su forma y estructura con el paso del tiempo, es necesario utilizar materiales resistentes que le proporcionen estabilidad y durabilidad. Entre

los elementos que pueden cumplir esta función se encuentran el cartón, madera sólida o prensada, bambú, metal, cemento, ladrillo, piedra, vidrio, fibra de vidrio, plásticos, cañas entretejidas, caña de indias, papel maché, arcilla, tierra apisonada, corteza de árbol, y tejidos reforzados con adhesivos, entre otros RMU (2022).

b) El aislante térmico: Para que una cocina solar logre alcanzar temperaturas internas adecuadas para cocinar, es fundamental que sus paredes y base cuenten con un buen nivel de aislamiento térmico. Cuanto menor sea la pérdida de calor por la base, mayores serán las temperaturas obtenidas durante la cocción. Diversos materiales pueden emplearse como aislantes, incluidos recursos naturales como la fibra de vidrio, lana, plumas, algodón, tecnopor e incluso papel periódico arrugado. Algunas personas optan por dejar un espacio vacío y usar cartón corrugado como aislante, lo que reduce el peso total del equipo y también ofrece buenos resultados. Es importante destacar que la mayor parte de la pérdida de calor en una cocina solar no ocurre por las paredes, sino por la cubierta transparente de vidrio o plástico. Por ello, pequeñas fugas de calor en otras zonas no

impactan significativamente en el rendimiento ni en la temperatura alcanzada por el dispositivo.

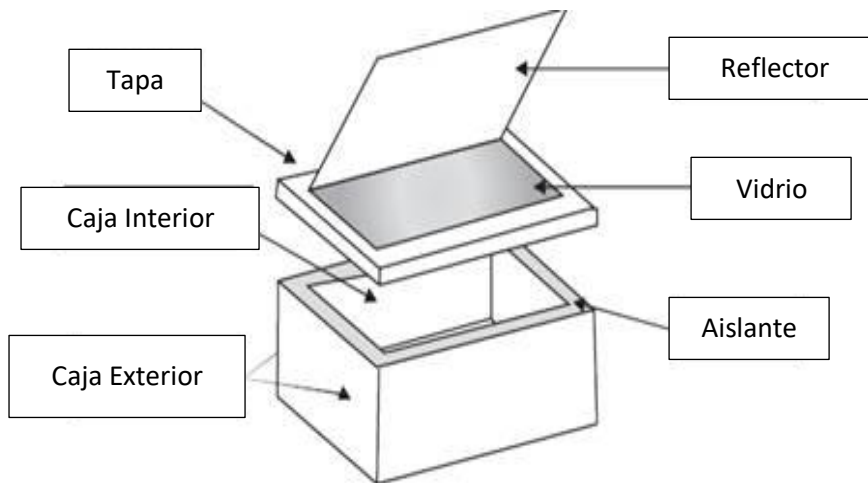
- c) **La cubierta transparente:** Una de las caras de la caja debe ser transparente y orientarse hacia el sol para permitir la entrada de calor a través del efecto invernadero. Los materiales más utilizados para esta función son el vidrio y ciertos plásticos que resisten altas temperaturas, como las bolsas para hornear empleadas en cocinas convencionales. Es habitual usar doble capa de vidrio o plástico para mejorar tanto la captación de calor como su retención. En general, se considera que el vidrio es alrededor de un 10% más eficiente que el plástico, especialmente en ambientes con viento, ya que conserva mejor el calor. Sin embargo, el plástico es una opción práctica por su resistencia, bajo peso y facilidad de transporte. Un ejemplo accesible es el plástico de las bolsas aptas para horno, disponibles en la mayoría de supermercados. También existen otros materiales útiles, como el Plexiglás.
- d) **Reflectores:** Capturan la luz solar para aumentar la capacidad de generar calor. Uno o múltiples reflectores hacen rebotar una luz – solar adicional a través del cristal y dentro de la caja solar.

Esta mayor entrada de energía solar produce unas temperaturas más altas en la cocina.

- e) **Recipientes de cocina:** Lo más recomendable es utilizar recipientes de color oscuro, livianos y de poca profundidad (apenas mayor que la cantidad de alimento a cocinar), ya que esto favorece una cocción más eficiente. Las ollas o sartenes metálicas suelen ofrecer mejores resultados. Los recipientes de aluminio con acabado brillante, comunes en muchas cocinas, pueden ser pintados de negro o ennegrecidos usando fuego y calor para mejorar su capacidad de absorción térmica.
- f) **Placa absorbidora:** La luz solar que es absorbida por las ollas de color negro y por la superficie negra que se encuentra debajo de ellas se transforma en calor. Esta energía térmica, al tener una longitud de onda mayor, es emitida nuevamente desde el interior de los materiales. Sin embargo, debido a esta longitud de onda más larga, gran parte de esa energía no puede atravesar el vidrio, lo que provoca que quede retenida dentro del espacio cerrado de la cocina solar.

Figura 5

Elementos de la cocina solar tipo caja



Fuente: Reina y Díaz (2011).

3.2.5 Funcionamiento

Como su nombre lo indica, todas las cocinas solares comparten una característica fundamental: utilizan la energía del sol para alcanzar temperaturas elevadas que permiten la cocción de los alimentos. Dentro de este grupo de tecnologías, se distinguen tres modelos principales que son los más desarrollados y utilizados en la actualidad: la cocina CookIt, el horno solar o cocina tipo caja, y la cocina parabólica. Aunque se diferencian entre sí en más que solo diseño o materiales, su principal distinción radica en la forma en que captan y convierten la radiación solar en calor útil. Por ejemplo, las cocinas tipo caja funcionan principalmente mediante la acumulación de radiación infrarroja, mientras que las cocinas parabólicas

generan calor al concentrar la luz solar directa en un único punto focal (Pineda, 2014).

En las cocinas solares tipo caja, la olla con agua que se coloca en la caja interna, suele ser pintada de un color negro mate en toda la parte exterior (Terrés y Ortega 2008).

Este procedimiento también se vuelve a aplicar por Terrés y Ramos (2017) quienes recomiendan que se hagan de esa manera porque el color negro absorbe mejor la radiación solar, evitando la reflexión de la luz y maximizando la captación solar.

Otro paso es instalar placas de aluminio dentro de la cámara de cocción para que se eleve su reflectancia (Esteves y Buenanueva, 2008).

La función de los reflectores contribuye a que la radiación que incide sobre ellos refleje sobre el vidrio e incremente la radiación captada, por lo que la cocina con los reflectores alcanza temperaturas elevadas como lo indica Merchán y Picoita (2010) . Con respecto al porte de los reflectores puede ser de 52 cm de largo y 52 cm de altura con una superficie encima de aluminio de alta reflectividad (Quiroga y Saravia, 2004) .

Algunas cocinas solares como la Ñancuñán – HSR3, sólo posee un reflector superior de 65 cm de largo y 50 cm de altura (Lucchini y Barral, 2016).

Figura 6

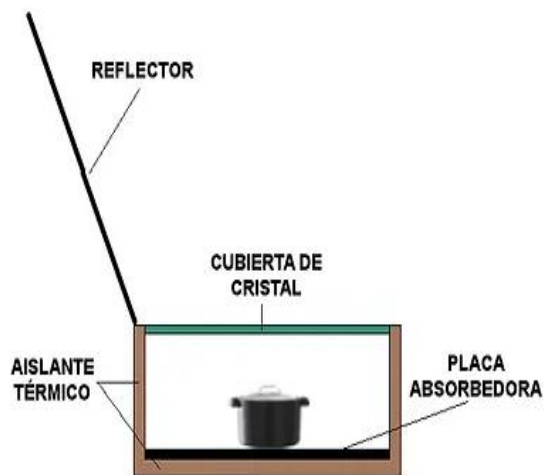
Funcionamiento y Estructura de la cocina solar



Fuente: Pineda (2014).

Figura 7

Esquema de la cocina solar tipo caja



Fuente: RME - Residuos de Manejo Especial (2022).

3.2.6 Usos de la cocina solar tipo caja

Estos sistemas de cocción no solo sirven para cocinar, aunque ese sea su uso más extendido y también no solo son una herramienta útil, económica y ecológica, son que además es versátil y práctica para multitud de situaciones (Chavez, 2019) .La posibilidad de contar con una fuente de calor solar gratuito permite una amplia variedad de usos prácticos entre ellos:

- **Cocinar:** Es claro que la función principal de estos sistemas de cocción es permitir la preparación de alimentos mediante distintos métodos

como hervir, guisar o asar. Para ello, existe una amplia gama de recetas que pueden adaptarse al uso de cocinas solares.

- **Secar, deshidratar:** Al deshidratar o secar un alimento, estamos aplicando un método de conservación. Aunque existen deshidratadores solares diseñados específicamente para este propósito, también es posible llevar a cabo este proceso utilizando una cocina solar. Para ello, basta con dejar ligeramente abierta la tapa o puerta en la parte superior, permitiendo así la circulación del aire caliente que facilita la eliminación de la humedad del alimento. De esta manera, es posible secar frutas, verduras, hierbas, hongos y otros productos en menos tiempo que si se expusieran directamente al sol, además de protegerlos del polvo, la lluvia, los insectos o aves (García, 2011).
- **Descongelar:** Es importante tener en cuenta que descongelar alimentos implica cierto riesgo de contaminación. Al dejar un alimento a temperatura ambiente, pueden proliferar bacterias y microorganismos que estaban inactivos durante la congelación. En este sentido, los sistemas de cocción solar permiten una descongelación más rápida que la que ocurre al aire libre, lo cual reduce el tiempo en el que los alimentos se encuentran en la llamada “zona de peligro térmico”. Por esta razón, es fundamental cocinar el alimento inmediatamente después de ser descongelado (Ecoinventos, 2022).

- **Recalentar y mantener la temperatura:** Si tienes comida guardada en el refrigerador, puedes intentar recalentarla usando una cocina solar. Este método proporciona una distribución del calor más uniforme y resultados distintos, además de permitir un ahorro energético. También es útil para mantener los alimentos calientes hasta el momento de servirlos; al mantener la tapa cerrada, la cocina solar conserva la temperatura interna. Incluso, en muchos casos, los platillos pueden finalizar su cocción con el calor residual en una cocina solar bien aislada y cerrada (Paz, 2005).
- **Pasteurizar y esterilización:** El agua se considera pasteurizada cuando alcanza una temperatura de 65 °C durante un tiempo suficiente para eliminar patógenos dañinos. En una cocina solar, esto puede lograrse al mantener esa temperatura durante al menos 30 minutos. Sin embargo, para una pasteurización más efectiva, algunas recomendaciones sugieren temperaturas más altas, como 75 °C o incluso 85 °C, dependiendo del tiempo y de la calidad del agua. Esto asegura una mayor seguridad microbiológica (Filippin, 2007).
- **Hacer conservas:** Las cocinas solares permiten llevar a cabo sin dificultad procesos de conservación de frutas y verduras. También es posible elaborar conservas y mermeladas utilizando este tipo de sistema. El verano resulta ser la temporada ideal para preparar

mermeladas, ya que es cuando hay mayor disponibilidad de fruta y más horas de sol aprovechables para el uso eficiente de la cocina solar (Laborde, 2016).

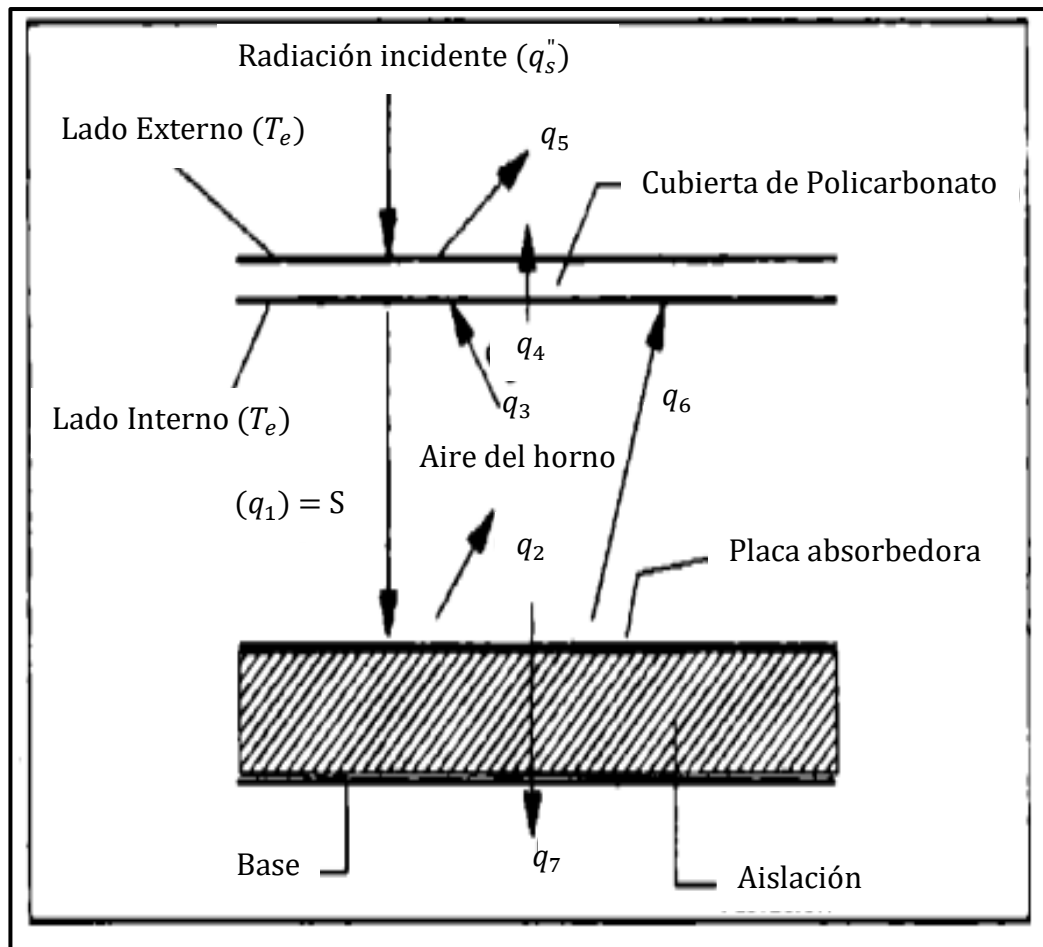
3.2.7 Comportamiento térmico

El comportamiento térmico de una cocina solar tipo caja se centra en la captura, retención y utilización eficiente de la energía solar para cocinar, optimizando su diseño y materiales para maximizar la eficiencia.

En el mencionado trabajo de Passamai (1998a) se realizó una descripción completa de funcionamiento térmico del horno solar, efectuándose en este una presentación esquemática que permita visualizar los flujos de calor que intervienen en el calentamiento de la cocina, plantear las ecuaciones de la dinámica térmica, resolver las mismas y comparar con las temperaturas medidas.

Figura 8

Esquema del comportamiento térmico de una cocina solar tipo caja



Fuente: Passamai (1998).

Despreciando la inclinación de la cubierta transparente respecto de la horizontal, un horno solar tipo caja puede considerarse como un colector solar plano que opera en condiciones no estacionarias. La densidad de

radiación solar incidente, por unidad de superficie, estará dada por $q_s'' \left(\frac{W}{m^2} \right)$.

De ésta, S es la fracción absorbida por la placa colectora. La temperatura inicial de todo el sistema es T° (igual a la del ambiente) a medida que recibe radiación, la placa aumenta su temperatura hasta $T(t)$ con el transcurso del tiempo. Por su parte, la cubierta transparente, de policarbonato, adquiere una temperatura en la cara interna T_i , mayor que la temperatura de la cara externa, T_e . En general, el mecanismo de esta situación puede establecerse, de manera completa, a través de un diagrama del sistema físico (Passamai, 1998b).

En dicha figura 3 se tiene:

q1: Radiación neta incidente sobre la placa absorbente, igual a S
(W/m^2)

q2: Densidad de flujo de calor por convección libre de la placa al aire del horno.

q3: Convención del calor desde el aire a la cara interna de la cubierta transparente.

q4: Flujo de calor por conducción a través de la cubierta.

q5: Pérdida global de calor desde la cubierta hacia el aire ambiente.

q6: Intercambio radiativo entre la placa y el lado interno de la cubierta.

q7: Pérdida de calor a través de la aislación térmica, en la base
(despreciando los laterales)

▪ Ecuaciones de Balance de Calor por Passamai (1998)

1. *Placa absorbidora:*

$$S = f\sigma c \frac{dT}{dt} + U_p(T - T_i) + h_l(T - T_h) + \frac{k_b}{d_b}(T - T_b) \quad (1)$$

2. *Aire del horno:*

$$h_l(T - T_h) = h_2(T_h - T_i) \quad (2)$$

3. *Cubierta transparente, lado interno:*

$$U_p(T - T_i) + h_2(T_h - T_i) = \frac{k}{d}(T_i - T_e) \quad (3)$$

4. *Cubierta transparente, lado externo:*

$$U_c(T_e - T_a) = \frac{k}{d}(T_i - T_e) \quad (4)$$

5. *Base:*

$$U_b(T_b - T_a) = \frac{k_b}{d_b}(T - T_b) \quad (5)$$

6. *Balance global placa – aire:*

$$S = f\sigma c \frac{dT}{dt} + U(T - T_a) \quad (6)$$

Donde:

S= Fracción absorbida por la placa colectora

Fσ= Masa por unidad de área efectiva.

c = Calor específico

dT= Temperatura diferencial

U= Energía interna
p= presión
T= Temperatura
Ti= Temperatura interna
Th= Temperatura de la entalpia
hl= Coeficiente de transferencia de calor por convección.
kb= Constante de Boltzmann
db= Densidad de la base
Ub= Energía interna de la base
Tb= Temperatura de la base
h2= Coeficiente de transferencia de calor del lado interno.
k= Conductividad térmica
d= densidad
Te= Temperatura externo.
Ta= Temperatura inicial.

3.2.8 Eficiencia térmica

Una mayor eficiencia térmica significa que se puede cocinar más rápidamente y con menos pérdidas de calor, lo que resulta en un uso más efectivo de la energía solar disponible, las cocinas solares tienen un promedio de eficiencia térmica que suelen variar entre el 20% y el 60%, algunas eficiencias pueden ser bajas llegando a 22% como lo fue en la investigación de Murillo (2002); para González M. y Servín H. (2013), su

mayor eficiencia térmica fue de 39%, en cambio, algunas pueden superar los 60% (González, 2023).

La eficiencia térmica general se calculó siguiendo la ecuación (7) propuesta Imbert, (2022) :

$$\eta_u = \frac{Q_\mu}{Q_{inc}}$$
$$\eta_u = \frac{M_f C_f \Delta T_f}{I_{av} A_c \Delta t} \quad \text{Ecuación (7)}$$

Donde:

η_u : Eficiencia Térmica Global (%)

M_f : Masa del fluido (kg)

C_f : Calor específico del fluido de cocción (J/kgK)

ΔT_f : Diferencia de temperatura entre la máxima temperatura obtenida y la temperatura del aire ambiente (°C)

I_{av} : Intensidad solar promedio durante el intervalo de tiempo (W/m^2)

A_c : Área de la cocina solar (m^2)

Δt : Tiempo requerido para alcanzar la máxima temperatura en el fluido de trabajo (s)

3.2.9 Métodos de pasteurización de agua

La pasteurización, también conocida como pasterización, es un procedimiento térmico aplicado principalmente a líquidos, con el fin de disminuir la presencia de microorganismos en estado vegetativo, tales como bacterias, levaduras, mohos y protozoos. Este método lleva el nombre de su creador, el químico francés Louis Pasteur (1822–1895), quien, junto a Claude Bernard, realizó la primera pasteurización el 20 de abril de 1864. Su objetivo principal es minimizar los riesgos sanitarios causados por agentes patógenos que deterioran los alimentos y pueden afectar la salud del consumidor. Se trata de un tratamiento térmico moderado, ya que opera con temperaturas por debajo de los 100 °C. Para que el efecto sea efectivo y duradero, los alimentos deben conservarse refrigerados, en torno a los 4 °C. La intensidad del calentamiento y la duración de conservación dependen, en gran medida, del pH del alimento, especialmente en aquellos con alta acidez (pH menor a 4.6). Este método se emplea comúnmente en productos de rápida descomposición como leche, huevo líquido, jugos de frutas, vino, cerveza y hortalizas encurtidas (Palacios, 2015).

Según Palacios (2015) los diferentes tipos de procesos de pasteurización son tres, primero está la Pasteurización lenta LTLT (baja

temperatura durante mucho tiempo), que fue el primer método de pasteurización, la industria alimentaria lo ha ido sustituyendo por otros sistemas más eficaces. El proceso consiste en calentar grandes volúmenes de alimento en recipientes o marmitas a 63 °C durante 30 minutos, para luego dejar enfriar lentamente.

También está la pasteurización a altas temperaturas durante un breve periodo de tiempo, HTST (altas temperaturas por poco tiempo), éste método es el empleado en los líquidos a granel, como la leche, los zumos de fruta, la cerveza, etc, se considera como el más eficiente, ya que expone al alimento a altas temperaturas durante un período breve, reduciendo de esta manera la alteración sensoriales y fisicoquímicas del alimento. Existen dos métodos distintos bajo la categoría de pasteurización HTST: en "batch" (o lotes) y en "flujo continuo". Para ambos métodos la temperatura es la misma (72 °C durante 15 segundos).

El proceso de pasteurización a altas temperaturas, UHT (ultra pasteurización), es de flujo continuo y mantiene al alimento a una temperatura de 135-140°C durante un período de al menos dos a cuatro segundos, seguido de un rápido enfriamiento, no superior a 32°C. Alimentos etiquetados como "pasteurizados" generalmente se han tratado con el proceso HTST, mientras los etiquetados como "ultrapasteurizados", se debe entender que han sido tratados por el método UHT.

3.2.10 Aislante térmico

Para que una cocina solar logre alcanzar en su interior las temperaturas necesarias para cocinar, es fundamental que tanto las paredes como la base tengan una buena capacidad de aislamiento térmico. Al diseñar este tipo de cocinas, se debe procurar que los materiales aislantes cubran completamente el espacio destinado a la cocción, exceptuando la superficie superior, que por lo general es de vidrio o material transparente (Chavez, 2005).

- **Tecnopor**

El tecnopor es un aislamiento térmico excelente frente al frío y calor, ésta propiedad se debe a su estructura de tener aire ocluido ya que el aire en reposo es un excelente aislante térmico. También el tecnopor tiene una baja conductividad térmica, lo que significa que minimiza la pérdida de calor. En una cocina solar, esto es esencial para mantener el calor generado por la radiación solar, permitiendo que los alimentos se cocinen de manera más eficiente; los valores de conductividad térmica oscilan entre 0,029 y 0,053 W/mK, y los valores de densidad oscilan entre 10 y 25 kg/m³, dependiendo de la naturaleza y del método de elaboración (Tello, 2021).

- **Lana de oveja**

Se trata de una fibra completamente natural que se obtiene al esquilarse ciertos animales. Es empleada en la fabricación de diversos artículos textiles, como prendas de vestir y guantes. Esta fibra destaca por su capacidad para retener el calor, gracias a sus características naturales. Además de ser resistente, también actúa como un excelente regulador de la humedad en el ambiente, lo que la convierte en una opción eficaz como aislante térmico, superando en algunos aspectos a materiales como el poliestireno expandido o la lana de roca, su conductividad térmica es de: 0,042 W/m.k y densidad. 15 Kg/m³ (Ortiz, 2018).

- **Lana de vidrio**

Es un aislante formado por diminutos filamentos de vidrio unidos entre sí con aglutinante, dejando entre ellos un espacio que ocupa el aire actuando de resistencia térmica. Es de baja conductividad térmica ayudando a mantener el calor en su interior. Al utilizarla como aislante en las paredes de la caja, se minimiza la pérdida de calor, lo que mejora la eficiencia de cocción. Además, su resistencia al fuego y su durabilidad la hacen adecuada para este tipo de aplicaciones, su conductividad térmica se encuentra en un rango de 0,032 a 0,044 W/m*K y con una densidad de 12 a 96 kg/m³ (Sánchez, 2016).

3.2.11 Impactos Ambientales

En la actualidad, se busca soluciones más efectivas a los problemas ambientales a nivel global, particularmente se promueve la transición energética y el desarrollo sostenible. Entre estas nuevas tecnologías, está la cocina solar, cuyos impactos ambientales son positivos, cuyo uso de la energía solar térmica para la cocción de alimentos permitiría reducir el consumo de leña y combustibles fósiles, mitigando el impacto ambiental generado por estas alternativas y las afecciones de salud causadas por inhalación de humo. La construcción de cocinas solares está diseñada para las condiciones de baja y mediana radiación solar que se presentan en la ciudad, logrando temperaturas de cocción superiores a 90°C, de tal manera que, se pueda cocinar y freír gran variedad de alimentos (Ramirez, 2021).

3.3 Antecedentes

3.3.1 Nivel internacional

Esteves y Buenanueva (2008) en su investigación nombrada “Estudio del Comportamiento de Hornos solares tipo caja en el tiempo y con la frecuencia de uso en la ciudad de Mendoza – Argentina” reportan que en la construcción de sus hornos solares, utilizaron cajas de madera, placa absorbadora, láminas de aluminio de 0,5 mm y el aislante lana de vidrio (5 cm). Los resultados a obtener fueron que el horno HS1 tuvo una carga de 1,60 kg de agua cuya eficiencia fue 20,5 %, el horno HS2 cuya carga de 1,75 kg de agua y su eficiencia de 18,9% y el horno HS3 con una carga de 1,30 kg de agua con eficiencia de 18,1 %.

En la investigación presentada por Filippin e Iriarte (2007) titulada “Estudio de Eficiencia y Adaptabilidad de Cocinas Solares de bajo costo en núcleos habitacionales Peri – Urbanos- Argentina”, afirman que utilizaron una cocina solar tipo caja (cocina tanque) con reflectores de aluminio y una tapa con un marco de madera con doble vidrio. Las dimensiones de la cocina fueron de una longitud de 0,88 m y 0,20 m de profundidad. La olla y la tapa fue pintada externamente de pintura negro mate. Los resultados obtenidos fueron que la cocina tanque llegó a una radiación promedio de 954 W/m², el tiempo en alcanzar la ebullición de la masa de agua fue de 165 minutos y una eficiencia térmica del 37%.

En la investigación planteada por Mealla y Boonaveri (2011) titulada “Alternativas de construcción utilizando materiales de bajo costo para la evaluación térmica de cocinas solares tipo caja”, indican que las cuatro cocinas solares tipo caja tuvieron un área de $0,45\text{m} \times 0,54\text{m} = 0,24 \text{ m}^2$, el área colectora fue de $1,15 \text{ m}^2$ y la placa absorbadora de 1mm , también se utilizó una placa de hierro, y como aislante la lana de vidrio con 5 cm de espesor. Se trabajó con $1,43 \text{ L}$ de agua en ollas de aluminio pintadas con negro mate. Los resultados obtenidos fueron que la temperatura del agua alcanzó los 80°C a las $12:30 \text{ h}$ del mediodía, una radiación de 1098 W/ m^2 y una eficiencia de 45% .

Tilca y Mealla (1998) en su trabajo de investigación titulada “Resultados de primeros ensayos en un equipo de tres cocinas solares semejantes”, informa que las tres cocinas solares fueron construidas con una estructura interna de madera, aislante lana de vidrio de 5 cm de espesor con una cubierta transparente de policarbonato, reflector de papel aluminizado, un área interna de 1750 cm y con $1,5 \text{ l}$ de agua. Cabe recalcar que la Tw1 presenta la placa de hierro pintada de color negro mate, la Tw2 y Tw3 tenía la placa interna de aluminio. Los resultados fueron que la temperatura del agua llegó al hervor de $96 \text{ }^\circ\text{C}$ (Tw1) mientras que en las otras cocinas tan sólo llegan a $91 \text{ }^\circ\text{C}$ (Tw2 y Tw3). El día estuvo sin nubes con radiación pico de 850 W/ m^2 a las $13:30 \text{ h}$.

Por otra parte Gallipoliti y Martina (2008) en su investigación titulada “Cocina solar chica tipo caja, experiencias y simulación de su comportamiento térmico” indica que en la construcción de una cocina solar tipo caja, fue hecha de madera de pino, en las caras anteriores fueron vidriados (doble), el aislante térmico fue de tecnopor con 2 cm de espesor, la placa absorbidora fue pintada de negro y el resto de las superficies internas fueron revestidas con papel metalizado reflectante. Los resultados fueron que la temperatura del agua llegó a 100°C en más de 210 minutos, con una radiación solar estimada de 700 W/m², la temperatura de la placa negra alcanzó los 120 °C a las 14 h aproximadamente.

En el trabajo experimental de Bonaveri y Mealla (2010) en su investigación titulada “ Comparación térmica de cocinas solares tipo caja – Alternativas constructivas utilizando materiales de bajo costo” informa que en las cuatro cocinas, dos con placas de hierro y las otras dos con placas de aluminio pintadas con negro mate; dos de ellas con 2 cm de espesor del aislante lana de vidrio y las otras dos con lana de vidrio más hojas de papel periódico, la tapa superior de las cocinas solares fue con doble vidrio de 4 mm de espesor, las dimensiones de la cocina fueron de 53 cm de largo, un ancho de 33 cm y la altura de 35 cm. Se trabajó con 1,43 l de agua superando las cuatro cocinas la temperatura de 80°C.

Buiges y Fariello (2012) en su investigación titulada “Estudio térmico experimental y alternativas de usos de dos modelos de cocinas solares en zonas áridas” detalla en su trabajo experimental que las cocinas solares tuvieron un área de la placa absorbadora de 0,33 m² pintadas de negro, con un espesor de 3 cm del aislante lana de vidrio, así mismo, la tapa de las cocinas fue de doble vidrio. En los resultados la cocina HS alcanzó a los 60 minutos 80 °C y a los 100 min 97 °C, con una radiación solar de 766 W/ m², por consiguiente, la cocina CPL a los 30 min tuvo una temperatura de 97 °C con una radiación solar de 561 W/ m².

La investigación realizada por Merchán y Picoita (2010) titulado “Construcción, Experimentación y Modelación de Cocinas Solares tipo Caja (Rectangulares)” reporta en su investigación que se construyó tres cocinas solares de madera, cada una con diferente material de placa absorbadora (cobre, latón y aluminio), con espesores de vidrio (3 mm; 4 mm y 5 mm), los reflectores fueron en las tres cocinas de acero inoxidable, el aislante térmico a usar fue la lana de vidrio con 5 cm de espesor para todas, del mismo modo, para la cubierta se utilizó doble vidrio. La C1 su caja exterior fue de 70 cm de largo, 60 cm de ancho y 40 cm de altura; la caja interior de 60 cm de largo, 50 cm de ancho y 25 cm de altura; la C2 su medida exterior fue de 65 cm de largo, 55 cm de ancho y 40 cm de altura; la caja interior de 55 cm de largo, 45 cm de ancho y 25 cm de altura, en cambio, la C3 tiene

medidas externas de 60 cm de largo, 50 cm de ancho y 40 cm de altura, las medidas internas de 50 cm de largo, 40 cm de ancho y 25 cm de altura. Los reflectores de la C1, C2 y C3 fue 2400; 2200 y 2000 cm respectivamente, con un ángulo de inclinación de 45 ° grados; el recipiente en todas las cocinas solares fue de 1 L de agua. Los resultados fueron que la cocina C1 con la placa absorbadora de cobre y un espesor de la cubierta de 3 mm es mejor es comparación con las demás, ahora, en el rango de tiempo fue desde las 10 h hasta las 14 h, a las 13 h alcanzó la mayor temperatura del agua a 99 °C, con una radiación solar de 1030 W/m², la temperatura de la placa a 110 °C, el vidrio interior 97 °C y el vidrio exterior a 44 °C, con cocinas de volumen de 0,075 m³, material de la placa absorbadora de cobre y espesor del vidrio de cubierta de 3 mm

En la investigación planteada por Chavez (2019) titulada “Estudio del rendimiento energético de una cocina solar tipo caja en base al modelo y simulación de la transferencia de calor” indica que el diseño y los materiales son de madera, las partes laterales están constituidas por tres capas, interiormente de una placa de aluminio pintada de color negro, seguida de lana de oveja y una lámina de venesta, donde se determinó la temperatura y la radiación solar. Los resultados fueron que la cocina llegó a una temperatura del agua a 75°C a las 12:10 h con una radiación de 1082 W/m².

Morsetto y Portin (2018) en su investigación titulada “Análisis Energético y Exergético del comportamiento térmico de cocinas solares tipo caja con y sin material de cambio de fase” reporta que las cocinas solares de tipo caja construidas de madera, con un reflector, la tapa con doble vidrio, también se empleó el aislante térmico de lana de vidrio con 5 cm de espesor. Los investigadores dieron como resultado que la eficiencia llegó a 9,5 % de las cocinas solares.

En la investigación de Gonzáles (2023) titulada “Evaluación del desempeño de una cocina solar construida con materiales reciclados”, detalla que la construcción de la cocina solar fue de madera, con material reflectante y aislante térmico; las mediciones con un 1 L de agua desde las 11 h hasta las 7 h de la tarde, registraron datos cada media hora. Los resultados fueron que su máxima temperatura del agua fue de 87,2 °C a las 15:30 h, con 4,5 h de tiempo de exposición, así mismo la temperatura máxima de la placa fue de 126,3 °C y la eficiencia térmica superan los 60%.

Merzouk y Boukar (2013) en su investigación titulada “Desarrollo de cocinas solares en el Sáhara Argelino: Hacia una solución social, cocina solar adecuada” reporta que la cocina se construyó con materiales de madera contrachapada, espejos de cristal y una chapa de acero negra a modo de placa absorbente de 3 mm de espesor pintada de negro. La cocina tuvo las dimensiones de la caja interna de 70 cm de largo, 28 cm de ancho

y 14 cm de altura, se mantuvo fija la cocina durante todo el periodo de prueba. Como aislante térmico se colocó una capa de lana de vidrio de 15 cm de espesor. Como resultados se obtuvo que la temperatura máxima de la placa absorbente alcanzó una temperatura de 165 °C. Para las pruebas de calentamiento de agua se necesitó aprox. 2 h para hervir 1,25 L de agua. Alcanzó una eficiencia de 27% que fue disminuyendo hasta 5%.

Orejuela y Villavicencio (2018) en su investigación titulada “Evaluación de la incidencia de los diferentes materiales reflectantes en la eficiencia energética de un horno solar”, detalla que la construcción de la cocina solar fue de madera, con dos láminas de vidrio plana en la parte superior, en la parte del fondo y a los lados de la placa se utilizó el aislante lana de vidrio (4 cm a los lados y 7,5 cm debajo de la lámina) y para el aumento de la radiación se utilizó un reflector. Los materiales reflectantes utilizados fueron de aluminio, mylar y vidrio; las dimensiones de la cocina solar fueron: la caja exterior de 45,5 cm de largo, 76,5 cm de ancho y 25,5 cm de altura; la caja interior de 41 cm de largo, 70 cm de ancho y 25,5 cm de altura, la placa reflectante y la placa absorbidora tuvieron las mismas medidas de 41 x 70 cm. Los resultados fueron que con el reflectante de vidrio se alcanzó una temperatura de 68, 14 °C, con el reflectante de material mylar de 67,92 °C y con el reflectante de aluminio 64,71 °C

3.3.2 Nivel nacional

En el trabajo de investigación de Llaique y Salinas (2008) titulado “Diseño, desarrollo y evaluación de una cocina solar de bajo costo - Arequipa – Perú- 2018”; detalla que la cocina fue de tipo horno con las siguientes partes fundamentales; el fondo, los lados, la parte anterior (delantera), la parte posterior (trasera), la tapa, la cubierta de vidrio y las aletas reflectoras, fueron hechas de perfiles de madera, rellenos totalmente con el aislante de tecnopor; se determinó la temperatura, volumen y tiempo de cocción. Los resultados mostraron que las temperaturas son crecientes hasta alcanzar su máximo a las 13 h; se hizo diferentes pruebas con tres productos (carne, papa y arroz); pero en cuando se realizó las pruebas con el arroz, la temperatura interna del producto se incrementó en 30°C, ocasionando la ebullición en el agua de 99 °C, luego la temperatura de cocción que contenía el producto fue de 117 °C a las 12:30 h. En la prueba de los productos, éstos presentan un comportamiento creciente con una variación máxima de 10 °C entre cada registro de medida, sin embargo, el tiempo de cocción para cada producto fue distinto.

Coronel (2023) en su investigación titulado “Diseño de cocina solar aplicando AMEF para reducir riesgos a través de la determinación de prioridad de acciones – Huancayo – Perú - 2023” reporta que el diseño de

investigación que se utilizó es de un grupo con pre prueba y post prueba, donde se estudió el concentrador solar de la cocina a través de su relación con el entorno inmediato y la determinación de sus elementos (espejos reflectores, mecanismo de movimiento de espejos reflectores, aislante térmico, plancha de aluminio absorbidora de calor y almacenador de calor), sus relaciones y límites; para observar su estructura y la dinámica de su funcionamiento. Los resultados obtenidos fueron que el Análisis Modal de Fallos y Efectos permitió reducir el riesgo del modo de falla de la cocina solar después de la optimización del diseño reduciendo el porcentaje del Número de Prioridad de Riesgo en un 79%.

En la investigación planteada por Torres y Polo (2019) titulado “Construcción y Evaluación de una cocina / horno solar tipo caja – Tacna – Perú - 2019”, cuyos materiales a utilizar fueron cajas, papel de aluminio, plancha de metal y como aislante térmico utilizaron la lana de vidrio. Los resultados obtenidos fueron que la temperatura de la placa alcanzó una temperatura de 96,24°C, la temperatura del agua fue de 86,37 °C, con una irradiancia de 540, 07 W/ m² a las 12:52 h.

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

4.1 Tipo de investigación

La investigación es de tipo cuantitativo, ya que se realiza la recolección y análisis de datos numéricos. Su nivel es aplicativo ya que busca resolver problemas específicos y prácticos, aplicando teorías y conocimientos existentes a situaciones concretas. Además, la investigación tiene un carácter experimental, llevándose a cabo en entornos tanto de campo como de laboratorio, considerando las variables del estudio.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DCBA) con la finalidad de estudiar el efecto de los factores en la producción de agua pasteurizada en las tres cocinas solares tipo caja con tres diferentes aislantes (factor A) y diferentes espesores (factor B), éstas tuvieron tres dimensiones con 9 repeticiones por cocina solar, obteniendo un total de 27 unidades muestrales.

En la Tabla 2 se observa los factores teniendo en cuenta la investigación. Las variables de respuesta fueron: temperatura máxima del agua pasteurizada en las cocinas solares y la eficiencia de las cocinas solares.

Tabla 2*Factores y repeticiones del diseño experimental*

Factores		Factor B: Cocinas con diferentes espesores		
		P1: 4 cm	P2: 6 cm	P3: 8 cm
Factor A: Tipos de aislantes	A1: Lana de vidrio	R1	R1	R1
		R2	R2	R2
		R3	R3	R3
	A2: Lana de oveja	R1	R1	R1
		R2	R2	R2
		R3	R3	R3
	A3: Tecnopor	R1	R1	R1
		R2	R2	R2
		R3	R3	R3

Nota. R1: Primera repetición, R2: Segunda repetición, R3: Tercera repetición.

4.2 Población y muestra

4.2.1 Población

Para el caso del agua a pasteurizar, la muestra será el agua proveniente del Rio Uchusuma que pasa por un canal cerca de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, éste río desciende por su lecho desde la zona altoandina de Tacna y que debido a los diferentes factores ambientales y humanos puede que presente cierto grado de contaminación por lo cual la utilizaremos para realizar nuestro estudio. Para el caso de las cocinas solares, por conveniencia de la gran cantidad de

diseños de cocinas solares, hemos decidido estudiar las cocinas solares tipo caja.

4.2.2. Muestra

La muestra que se requerirá será de un total de 80 L de agua obtenida del río Uchusuma, de la provincia de Tacna, región de Tacna. El muestreo realizado fue no probabilístico de tipo por conveniencia. Las muestras de agua se almacenaron en bidones que luego fueron trasladados al Centro de Energías Renovables (CERT).

4.3 Técnicas aplicadas en la recolección de la información

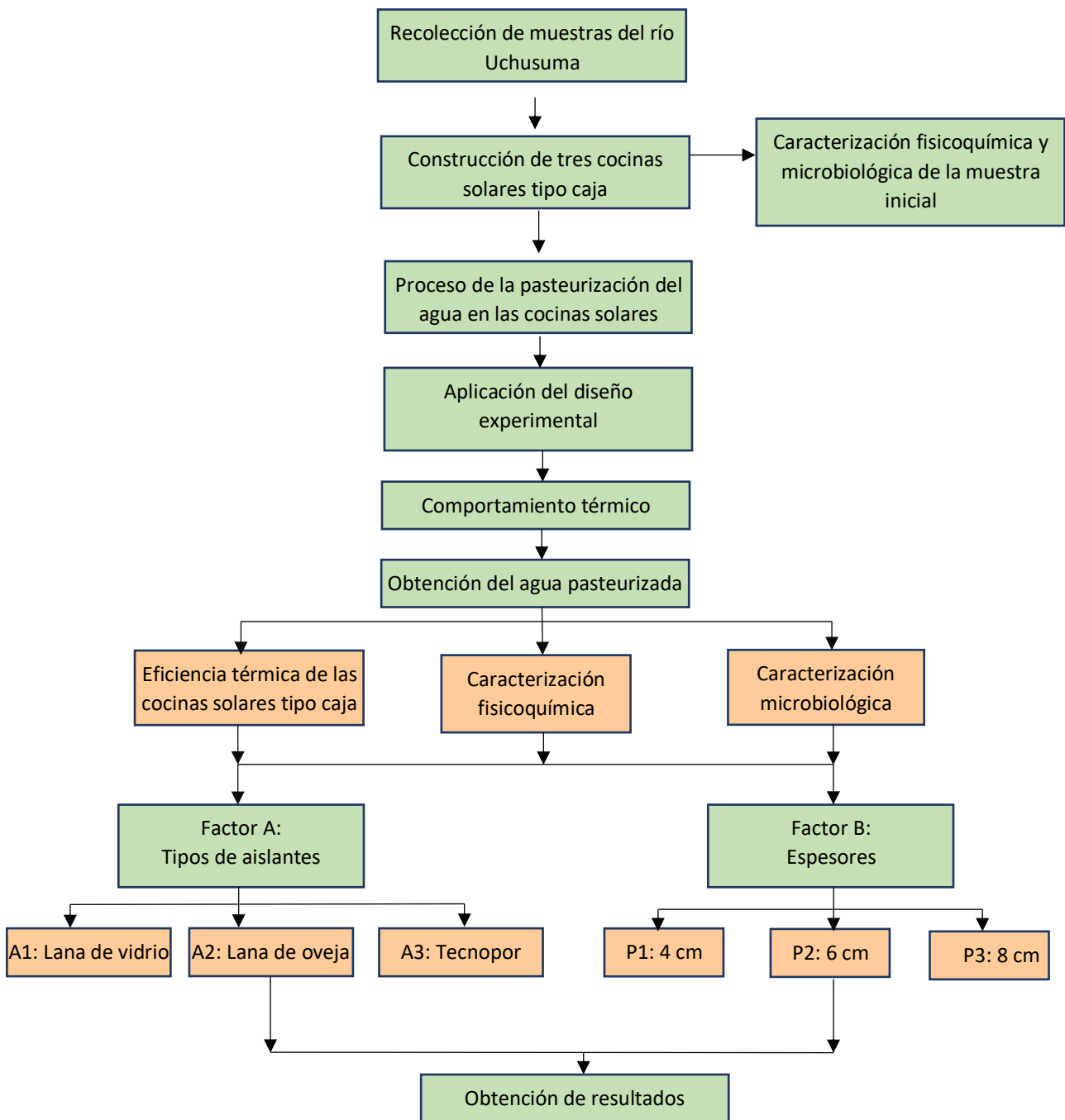
Las técnicas que se utilizaron para dicha investigación fue la observación en campo y en el diseño experimental, anotaciones durante el lapso de tiempo que demoró el experimento, toma de datos obtenidos, fotos y videos como evidencias.

4.3.1 Desarrollo de la investigación

A continuación, en la figura 9 se visualizan las etapas principales desarrolladas en el trabajo de investigación.

Figura 9

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



a) Construcción de tres cocinas solares tipo caja

Se diseñaron tres cocinas solares tipo caja mediante el programa SketchUp 2023, cada cocina con diferente tipo de espesor (4 cm, 6 cm y 8 cm). Se hizo entrega del diseño al carpintero y en su taller se realizó la construcción, el cortado y armado de la caja exterior y la caja interior, la tapa de doble lámina de vidrio con un marco de madera, así mismo también se colocaron dos reflectores de madera por cada cocina, los reflectores están cubiertos de planchas de aluminio anodizado. Estas planchas de aluminio anodizado se colocaron dentro de las paredes de cada caja interior, en la superficie se colocó una placa absorbadora que estaba pintada de negro mate.

Se utilizó una wincha para medir las dimensiones de las cocinas solares; altura, base, entre otros; se descargó al celular el aplicativo Inclínómetro y nivel de burbuja para conocer el ángulo de los reflectores.

b) Obtención de las muestras

La muestra de agua de río fue un total de 80 l de agua obtenida del río Uchusuma, un canal que está ubicado por la Av. Humboldt en el distrito de Tacna en un periodo de 1 día. Las muestras de agua fueron trasladadas al Centro de Energías Renovables de Tacna (CERT) y al laboratorio de análisis de aguas de la Escuela Profesional de Ingeniería

Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann para el análisis inicial de los parámetros: pH, conductividad eléctrica y turbiedad; asimismo, se enviaron las muestras al laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L. de Arequipa para la medición de los parámetros: , DBO5, DQO, Sólidos Totales Disueltos, coliformes fecales y coliformes totales.

c) Proceso de pasteurización

La pasteurización de las muestras de agua de río en las cocinas solares se llevó a cabo en las instalaciones del CERT de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann en días soleados y nublados, desde las 8 h hasta las 15 h, sumando un total de 7 horas.

d) Aplicación de diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DCBA) con repeticiones, los factores considerados se detallan en la Tabla 5.

e) Comportamiento térmico

Para la evaluación del comportamiento térmico se emplearon cuatro termocuplas en cada cocina solar, ubicadas en cada punto de monitoreo: cada sensor se ubicó en cuatro puntos de monitoreo: el agua almacenada en la olla, en la placa absorbadora, en el vidrio interior y en el vidrio exterior para medir la temperatura de la cocina solar y del agua a pasteurizarse. Se registraron cada minuto desde las 8 h hasta las 15 h con tres sistemas de

adquisición de datos HOBO 4-channel thermocouple logger HOBO marca ONSET - modelo UX120-014M; asimismo, se midió la temperatura ambiente con un sensor de temperatura y la irradiancia solar con la estación meteorológica cada minuto (figura 10; 11 y 12).

Figura 10

Cocinas solares tipo caja con la estación meteorológica marca Hobo

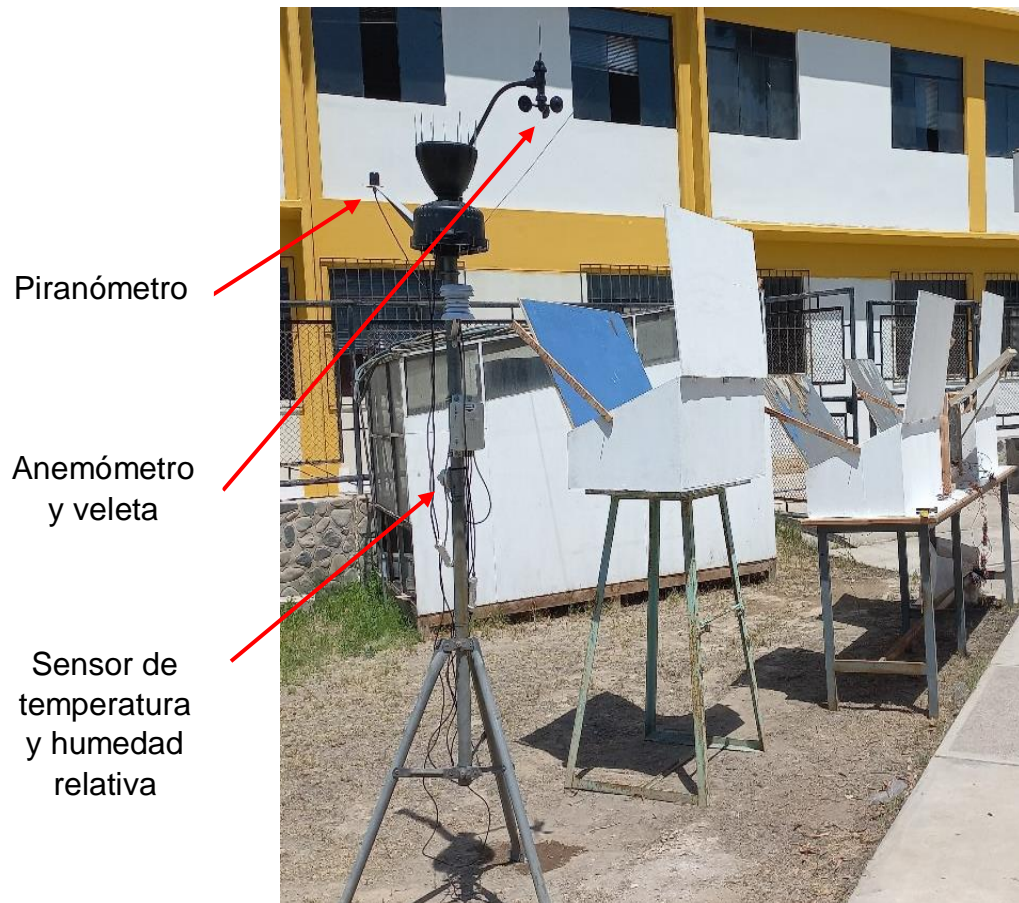


Figura 11

Ubicación de puntos de monitoreo en la cocina solar tipo caja, termocupla en el agua y termocupla en el vidrio interior

Termocupla en el vidrio interior



Termocupla en el agua

Nota: Sensores en la cocina solar tipo caja

Figura 12

Ubicación de puntos de monitoreo en la cocina solar tipo caja, termocupla en la placa absorbadora y termocupla en el vidrio exterior



Termocupla en el vidrio exterior

Termocupla en la placa absorbadora

Nota: Sensores en la cocina solar tipo caja

f) Eficiencia térmica de las cocinas solares

La eficiencia térmica de las cocinas solares se determinó mediante la ecuación 7.

g) Obtención del agua pasteurizada

El agua pasteurizada fue llevada al laboratorio de la ESAM, luego enviadas al laboratorio de ALAB en la ciudad de Arequipa para obtener los resultados de los parámetros correspondientes.

h) Análisis fisicoquímico y microbiológico

Se llevó a cabo un análisis fisicoquímico de las muestras de agua pasteurizada en el laboratorio de análisis de aguas de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann y un análisis fisicoquímico y microbiológico en el laboratorio acreditado Analytical laboratory E.I.R.L.

Se hizo una comparación de dichos resultados con el Reglamento de calidad de agua para consumo humano - D.S. N° 031- 2010-SA y con el Estándar de Calidad Ambiental para aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección (ECA categoría 1-A1) - D.S. N° 015-2017 MINAM.

Se realizó el cálculo de remoción para determinar el porcentaje de purificación del agua pasteurizada (Cruz, 2021).

$$\text{Eficiencia de remoción (\%)} = \frac{VPi-VPf}{Vpi} * 100 \quad \text{Ecuación (8)}$$

Donde:

VPi = Valor inicial del parámetro de la pasteurización

VPf = Valor final del parámetro después de la pasteurización

Algunos parámetros a analizar fueron: El pH, conductividad eléctrica, turbiedad, sólidos disueltos totales (mg/l), demanda bioquímica de oxígeno (mg/l), demanda química de oxígeno (mg/l), coliformes fecales y coliformes totales.

4.4 Instrumentos de medición

4.4.1 Materiales y equipos

a) Materiales

- Madera
- Pegamento de madera
- Pegamento de vidrio
- Placa absorbadora metálica (hierro galvanizado 2 mm)
- Aislante térmico (Tecnopor, lana de oveja, lana de vidrio)
- Planchas de vidrio (para las cubiertas)
- Planchas de aluminio anodizado.
- Pintura negra (mate)

- Pintura blanca
- Thinner
- Herramientas de carpintería
- Herramientas de mecánica.
- Material auxiliar.
- Medidor de volumen agua (2L).
- 80 l de agua del río Uchusuma
- Cinta papel de aluminio.
- Cinta masking.
- Bidones.
- Termocuplas de Cromel – Alumel.
- Botellas de 3 litros.
- Wincha métrica.

b) Equipos

- Estación meteorológica HOBO via GSM/GPRS
- Registrador de datos HOBO USB Micro Station, marca ONSET, modelo H21-USB
- Sensor inteligente de temperatura/HR HOBO modelo (S-THC-M00x)
- Piranómetro de silicio HOBO modelo S-LIB-M003
- Multiparámetro HACH, modelo HQd
- Turbidímetro TURBIQUANT, modelo 1100 T
- Laptop LENOVO.

4.5 Métodos estadísticos utilizados

Se utilizó el programa Infostat versión estudiantil 2020 para los análisis estadísticos, el programa Excel para obtener resultados a través de las fórmulas a utilizar y el programa OriginPro 2018 para Tablas y gráficos que representaran el comportamiento térmico.

Para evaluar el comportamiento térmico y la eficiencia de las cocinas se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) junto con la prueba de comparación múltiple de Tukey, con un nivel de confianza del 95% para validar la hipótesis del estudio.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Resultados

5.1.1 Construcción y evaluación de tres cocinas solares tipo caja

a) Construcción tres cocinas solares tipo caja

En la Tabla 3 se muestran los parámetros de diseño de las tres cocinas solares, las tres tuvieron las mismas medidas, pero diferentes tipos de espesores, los materiales fueron: la caja externa e interna de madera, placa absorbedora, planchas de aluminio, los reflectores, el aislante térmico (tecnopor, lana de oveja, lana de vidrio) y ollas para colocarlas al interior de las cocinas.

Tabla 3

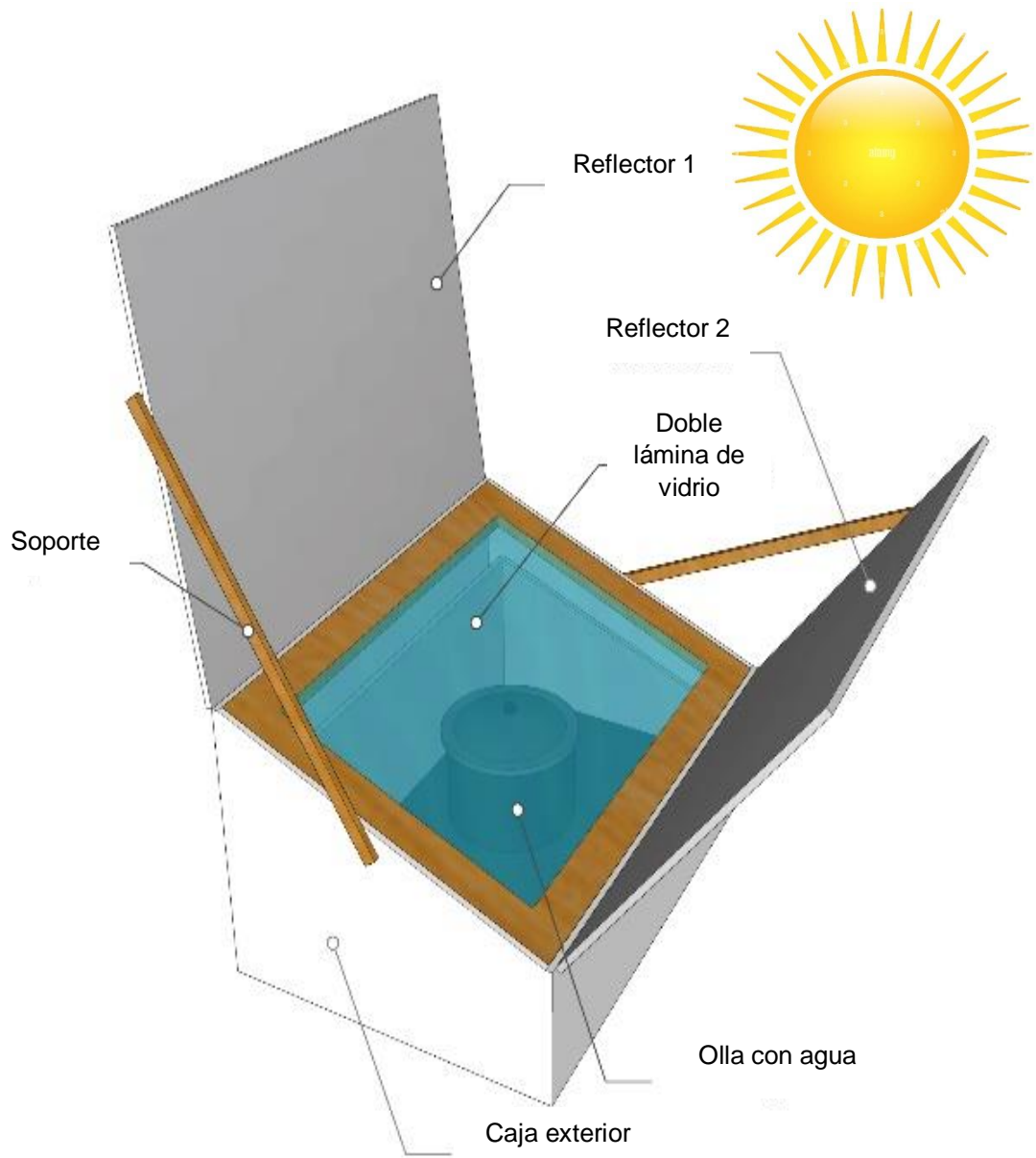
Parámetros de diseño de las cocinas solares tipo caja

Parámetro	Cocina solar (C1)	Cocina solar (C2)	Cocina solar (C3)
Área de la ventana de captación	3432 cm^2	2697 cm^2	2220 cm^2
Área de la placa absorbadora	3055 cm^2	2268 cm^2	2006 cm^2
Espesor de la placa absorbadora	2 mm	2 mm	2 mm
Espesor de la cubierta de doble lámina de vidrio	3 mm	3 mm	3 mm
Ángulo de inclinación de la ventana de captación	39 °	39 °	39 °

En la Figura 13 se visualiza los elementos externos de la cocina solar tipo caja, entre ella está el reflector superior y el reflector inferior, ambos reflectores se cubrieron con una plancha de aluminio para que los rayos solares se reflejen a través de la tapa de doble lámina de vidrio y dentro de la cámara de cocción. Esta mayor entrada de energía solar produce unas temperaturas más altas en la cocina.

Figura 13

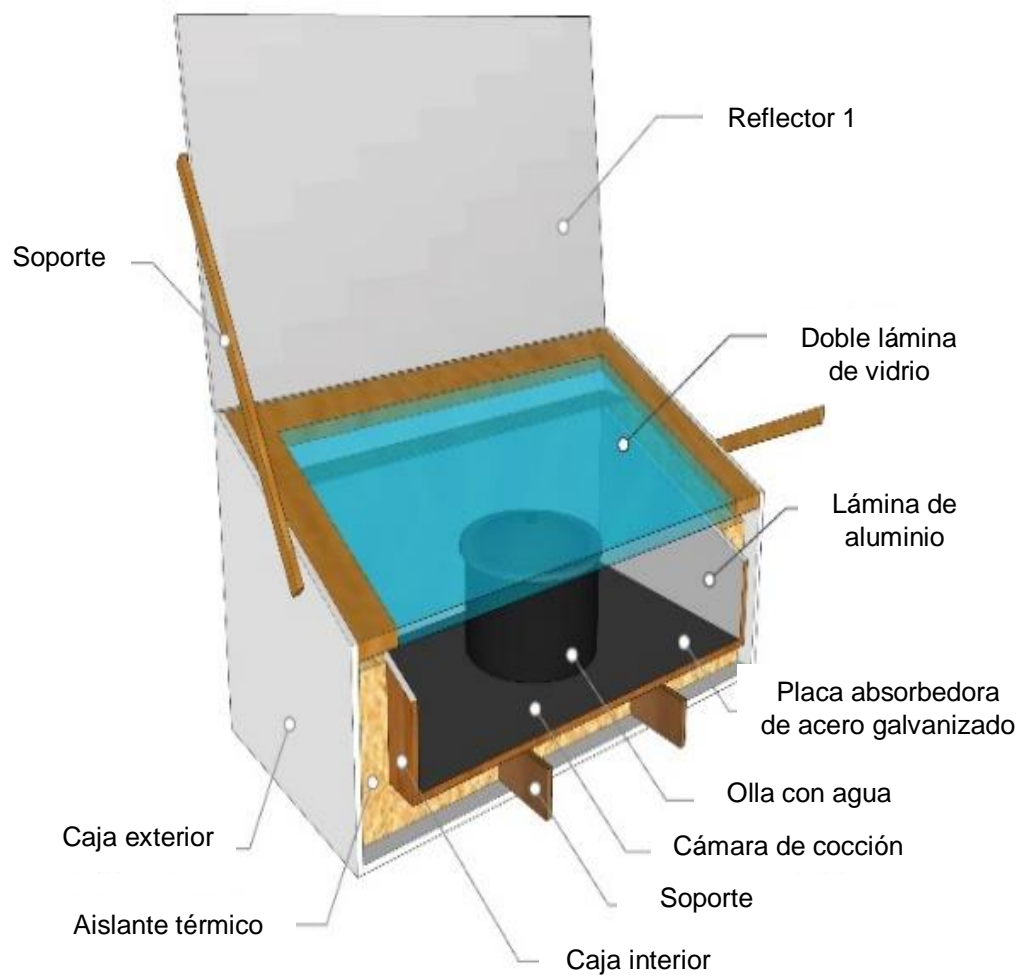
Elementos externos de la cocina solar tipo caja



En la Figura 14 se muestra los componentes internos de la cocina solar tipo caja, las cocinas fueron pintadas toda la parte exterior de color blanco, las planchas de aluminio fueron colocadas en los reflectores y en las caras laterales de la caja interna, ayudando a dirigir y concentrar los rayos solares hacia la zona de cocción. El aislante térmico se introduce en todo el contorno exterior de la caja interior, va variar de acuerdo al espesor del aislante, en la cámara de cocción está ubicada la olla pintada de color negro en todo su exterior, así también, la placa absorbedora se pintó de color negro ya que tiene una alta capacidad de absorción y una baja reflectancia, esto significa que absorbe la mayor parte de la energía solar que incide sobre él, convirtiendo la luz solar en calor de manera eficiente, la tapa fue de doble vidrio con un marco de madera y la olla pintada de color negro en todo su exterior.

Figura 14

Componentes internos de la cocina solar tipo caja



b) Evaluación del comportamiento térmico de las tres cocinas solares tipo caja

En la Figura 15; 16 y 17 se muestra la variación de la temperatura del agua de las tres cocinas solares tipo caja con el aislante térmico de tecnopor a diferentes espesores (4; 6 y 8 cm). El periodo de evaluación a sido desde las 8h hasta las 15h, cuyos registros de las temperaturas donde comienza el agua a pasteurizarse fue desde las 10 h 36 min hasta las 12h 30 min donde alcanza temperaturas altas con una irradiancia solar máxima de 981.9 W/m² y una temperatura ambiente de 25 °C.

Se observa en la Figura 15 que la cocina C1 durante el periodo de evaluación alcanzó una temperatura de la placa de 106 °C, la temperatura del agua fue de 99 °C, el vidrio interior llegó a una temperatura de 96 °C, el vidrio exterior fue de 73 °C y el tiempo de pasteurización - ebullición de 90 min.

En la Figura 16 se obtuvo los datos de la cocina C2 cuyos valores mayores de la temperatura de la placa fue de 98 °C, seguido de la temperatura del agua a 93 °C, la temperatura del vidrio interior llegó a 91 °C, la temperatura exterior del vidrio obtuvo un valor de 67 °C y el tiempo de pasteurización - ebullición de 106 min.

Figura 15

Variación de la temperatura de la cocina solar tipo caja con el aislante térmico tecnopor con un espesor de 4 cm (C1) en relación a las horas e irradiancia solar (W/m^2)

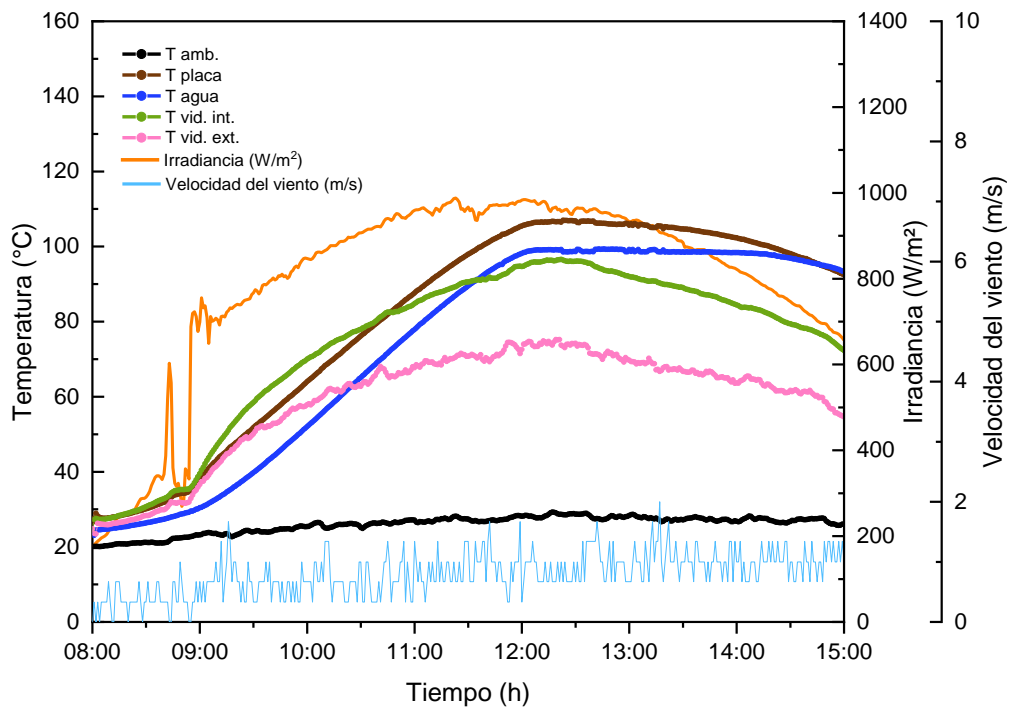
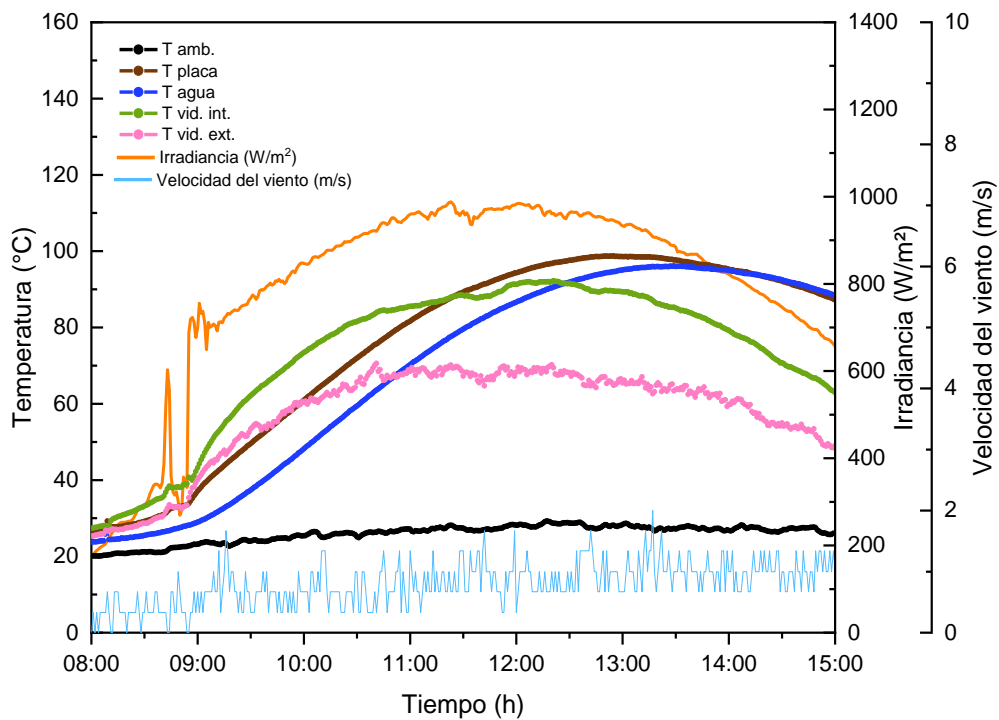


Figura 16

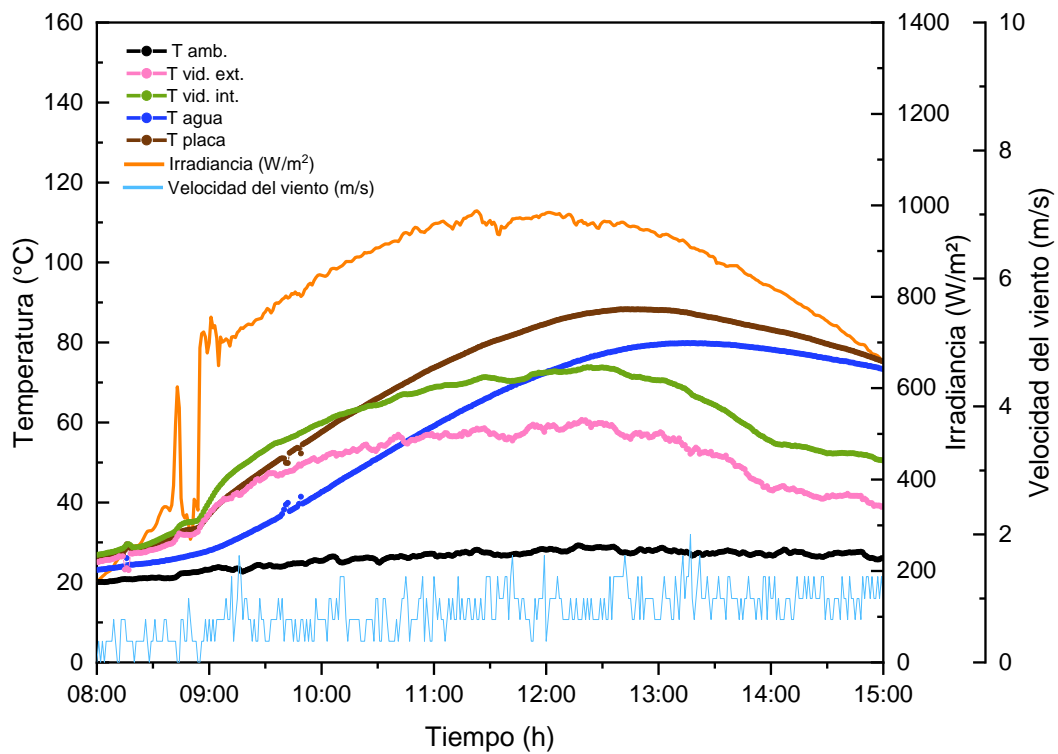
Variación de la temperatura de la cocina solar tipo caja con el aislante térmico tecnopor con un espesor de 6 cm (C2) en relación a las horas e irradiancia solar (W/m^2)



Para la cocina C3 en la Figura 17 se muestra la temperatura de la placa absorbidora de 88 °C, la temperatura del agua fue 79 °C, el registro de la temperatura interna del vidrio con un valor de 71 °C, la temperatura externa del vidrio a 57 °C y el tiempo de pasteurización - ebullición de 152 min.

Figura 17

Variación de la temperatura de la cocina solar tipo caja con el aislante térmico tecnopor con un espesor de 8 cm (C3) en relación a las horas e irradiación solar (W/m^2)



En las Figuras 18, 19 y 20 se muestra la variación de la temperatura del agua de las tres cocinas solares tipo caja con el aislante térmico lana de oveja a diferentes espesores (4; 6 y 8 cm). El periodo de evaluación a sido desde las 8h hasta las 15h, cuyos registros de la temperatura del agua a pasteurizarse fue desde las 10h 28 minutos hasta las 12h 15 minutos

alcanza temperaturas altas, con una irradiancia solar máxima de 963,1 W/m² y 25 °C de temperatura ambiente.

En la Figura 18 se muestra las mediciones de la cocina C1 que obtuvo un valor máximo de 113 °C en la temperatura de la placa, seguidamente la temperatura del agua llegó a 99°C, así mismo, la temperatura del vidrio interior fue de 98 °C, la temperatura del vidrio exterior fue de 76 °C y el tiempo de pasteurización - ebullición de 95 min.

En la Figura 19 se visualizan las cifras del comportamiento térmico de la cocina C2 cuya temperatura de la placa fue de 105 °C, así mismo, la temperatura del agua llegó a 96 °C, la temperatura del vidrio interior a 84 °C, la temperatura del vidrio exterior fue de 71 °C y el tiempo de pasteurización – ebullición de 93 min.

Figura 18

Variación de la temperatura de la cocina solar tipo caja con el aislante térmico lana de oveja con un espesor de 4 cm (C1) en relación a las horas e irradiación solar (W/m^2)

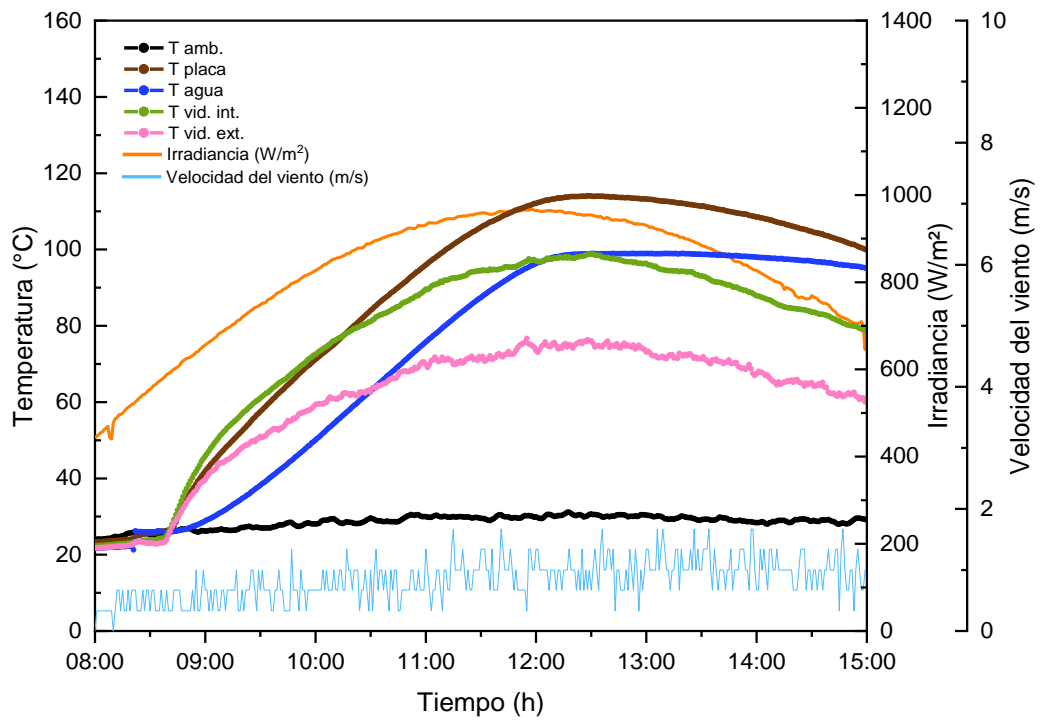
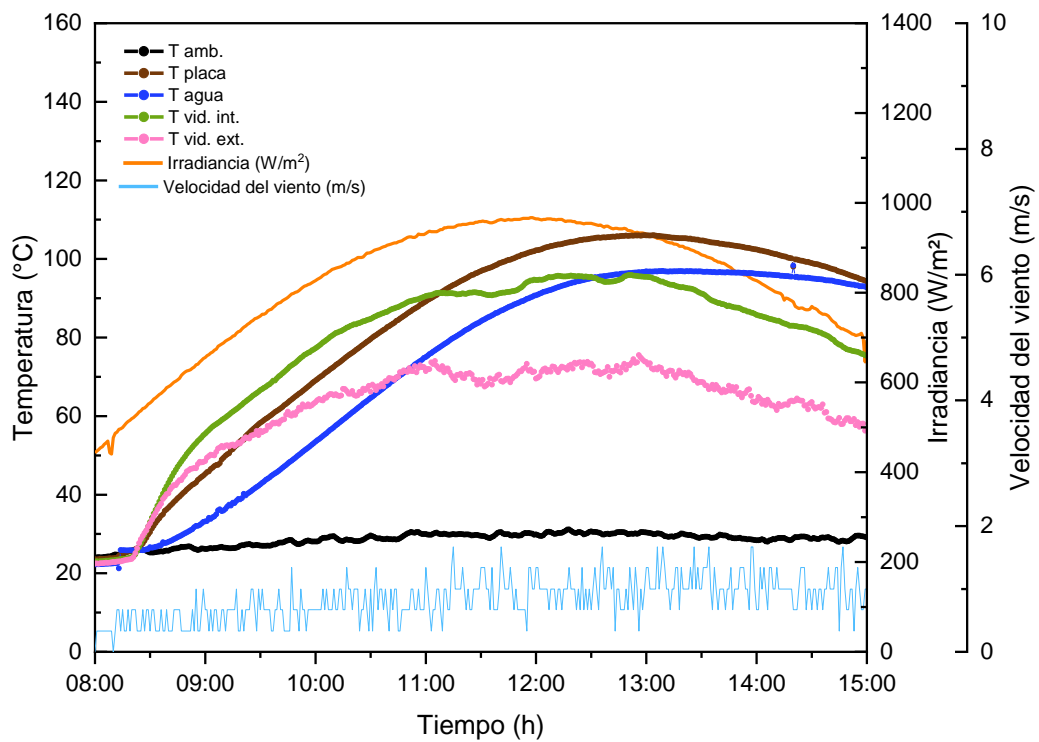


Figura 19

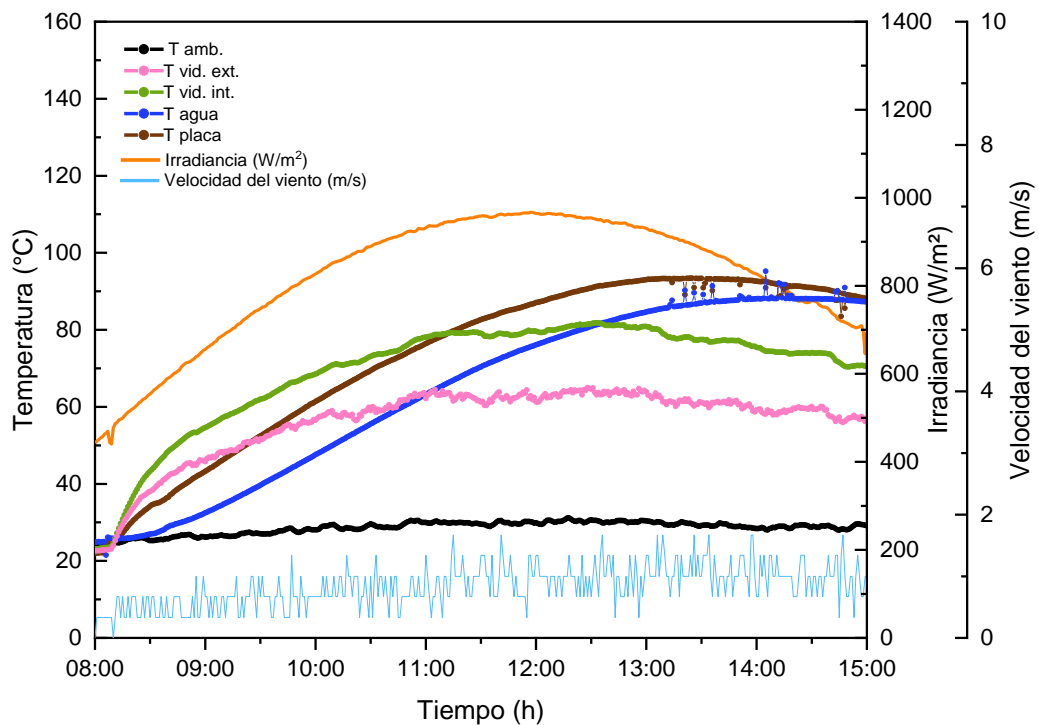
Variación de la temperatura de la cocina solar tipo caja con el aislante térmico lana de oveja con un espesor de 6 cm (C2) en relación a las horas e irradiancia solar (W/m^2)



Para la cocina C3 en la Figura 20 vemos que la temperatura de los puntos de monitoreo en la temperatura de la placa, del agua, del vidrio interior y del vidrio exterior son 93, 84, 80 y 62 $^{\circ}C$, respectivamente y el tiempo de pasteurización – ebullición de 108 min.

Figura 20

Variación de la temperatura de la cocina solar tipo caja con el aislante térmico lana de oveja con un espesor de 8 cm (C3) en relación a las horas e irradiancia solar (W/m^2)



En la Figura 21, 22 y 23 se visualiza valores máximos de la temperatura del agua de las tres cocinas solares tipo caja con el aislante térmico lana de vidrio a diferentes espesores (4; 6 y 8 cm). El periodo de evaluación a sido desde las 8h hasta las 15h, cuyos registros de las temperaturas donde comienza el agua a pasteurizarse fue desde las 10 h

25 minutos hasta las 12 h donde alcanza temperaturas altas, la irradiancia solar máxima fue de 954.4 W/m² y la temperatura ambiente de 25 °C.

En la Figura 21 la medición de la cocina C1 se registró una temperatura de la placa de 108 °C, la temperatura del agua fue de 100 °C, de la misma manera, la temperatura del vidrio interior fue de 103 °C, la temperatura del vidrio exterior llegó a 75 °C y el tiempo de pasteurización – ebullición de 97 min.

En la Figura 22 se registró los valores de la cocina C2, la temperatura de la placa con 107 °C, consecuentemente se tiene la temperatura del agua a 91 °C, la temperatura del vidrio interior 91 °C, la temperatura del vidrio exterior 68°C y el tiempo de pasteurización– ebullición de 96 min.

Figura 21

Variación de la temperatura de la cocina solar tipo caja con el aislante térmico lana de vidrio con un espesor de 4 cm (C1) en relación a las horas e irradiancia solar (W/m^2)

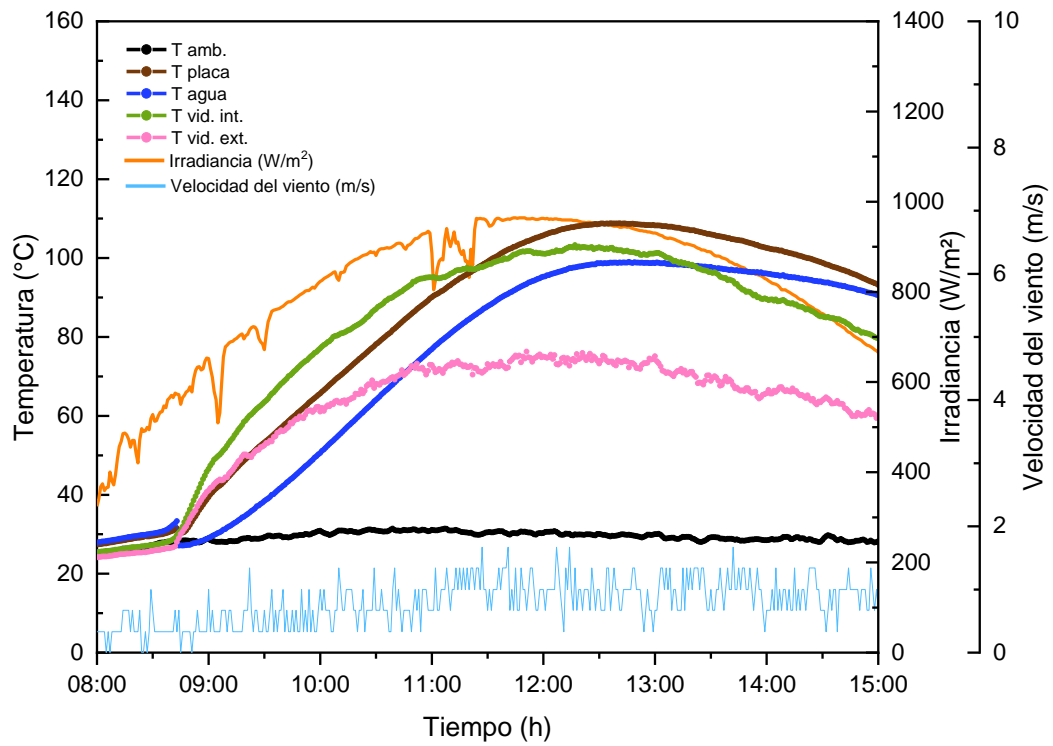
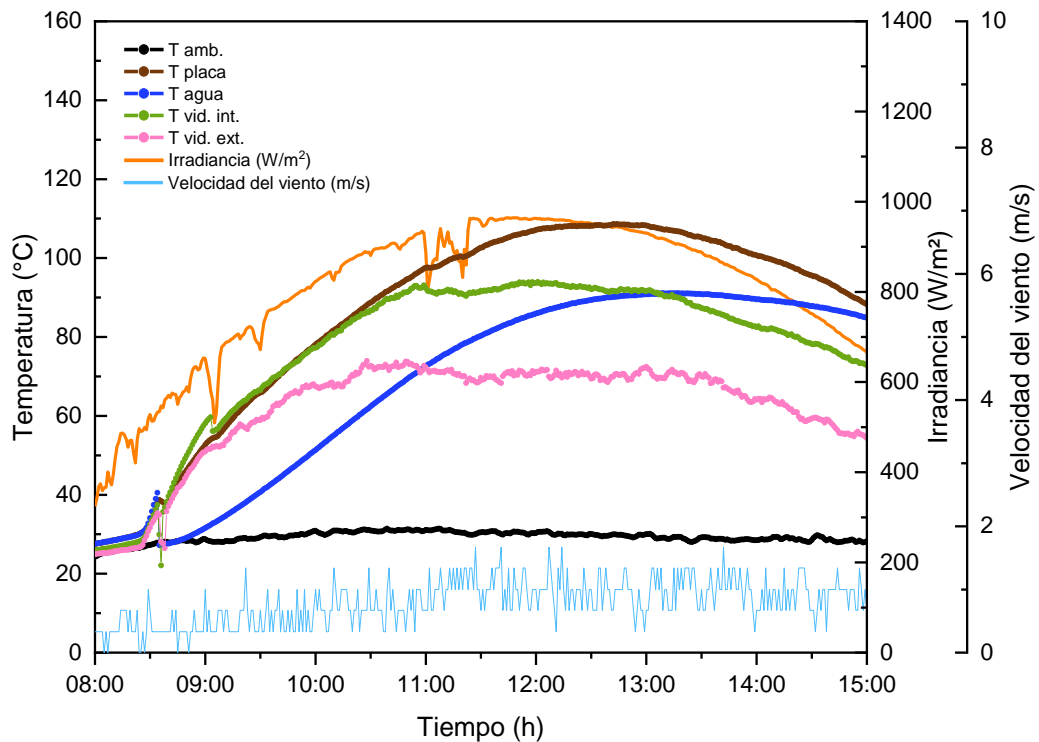


Figura 22

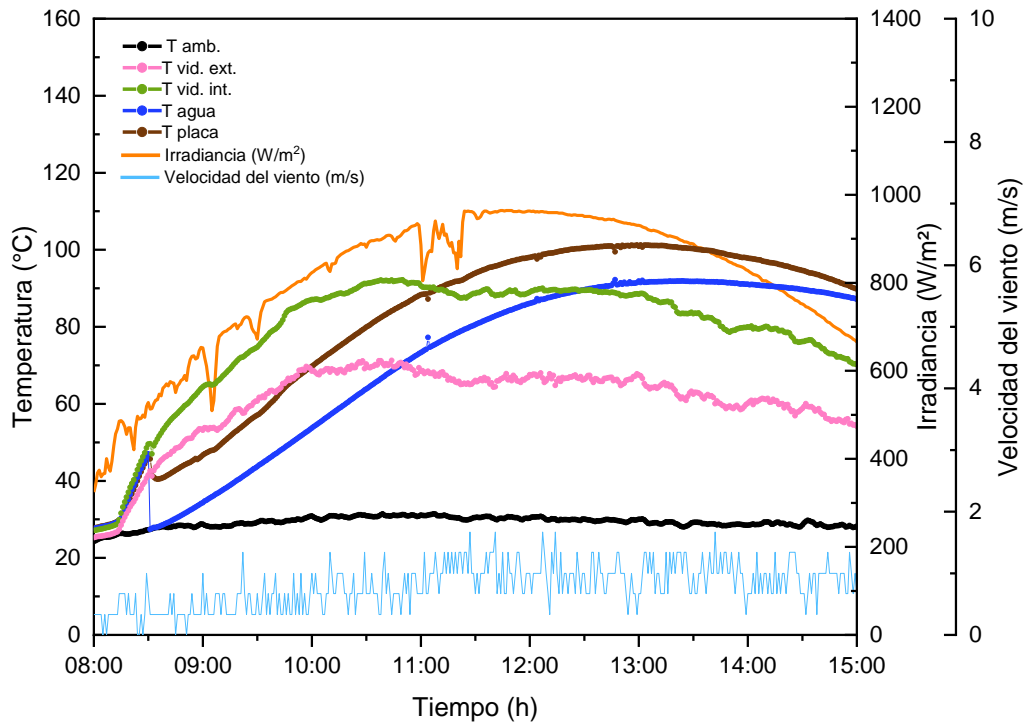
Variación de la temperatura de la cocina solar tipo caja con el aislante térmico lana de vidrio con un espesor de 6 cm (C2) en relación a las horas e irradiancia solar (W/m^2)



En la C3 de la Figura 23, se obtuvo la temperatura de la placa a 99°C, en consiguiente se tiene la temperatura del agua que llegó a 92 °C, así mismo, la temperatura del vidrio interior a 89 °C, la temperatura del vidrio exterior a 66 °C y el tiempo de pasteurización - ebullición de 98 min.

Figura 23

Variación de la temperatura de la cocina solar tipo caja con el aislante térmico lana de vidrio con un espesor de 8 cm (C3) en relación a las horas e irradiación solar (W/m^2)



c) Análisis de varianza y prueba de rango múltiple de Tukey

Temperatura máxima del agua en la olla de las cocinas solares

En la Tabla 4 se observa el análisis de varianza de la temperatura del agua en la olla de las cocinas solares con diferentes tipos de aislantes térmicos. Podemos indicar que el factor A (tipos de aislantes) y el factor B (espesores) tuvieron diferencias significativas en los resultados obtenidos, a un nivel del 95% de confianza y un p-valor menor a 0.05.

Tabla 4

Análisis de varianza de la temperatura del agua en la olla de las cocinas solares

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Factor A: Tipos de Aislantes	212,36	2	106,18	4,22	0,0280
Factor B: Espesores	748,34	2	374,17	14,88	0,0001
Error	553,17	22	25,14		
Total	1513,87	26			

También se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey ($P=0,05$) a fin de comparar la temperatura del agua en la olla con los diferentes tipos de aislantes térmicos en las cocinas solares (Tabla 5) donde el aislante lana de vidrio alcanzó un valor alto de temperatura a $93,73\text{ }^{\circ}\text{C}$ siendo significativamente diferente al aislante de tecnopor que llegó a $87,34\text{ }^{\circ}\text{C}$; pero no existen diferencias significativas entre la lana de oveja y el tecnopor. Por ello la lana de vidrio se considera como el mejor aislante.

Tabla 5

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P<0,05$) de la temperatura del agua en la olla ($^{\circ}\text{C}$) con los diferentes tipos de aislantes de las cocinas solares

Factor A: Tipos de aislantes	Promedio	Significancia	
Lana de vidrio	93,73	a	
Lana de oveja	92,71	a	b
Tecnopor	87,34		b

En la Tabla 6 los resultados muestran que la cocina C1 reportó valores más altos con un promedio de $97,70\text{ }^{\circ}\text{C}$; diferenciándose significativamente de la cocina C2 con una temperatura promedio de $91,28\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la cocina C3 con una temperatura promedio de $84,80\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivamente.

Tabla 6

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la temperatura del agua en la olla ($^{\circ}\text{C}$) con los diferentes espesores de las cocinas solares

Factor B: Espesores	Promedio	Significancia
C1 (Cocina con 4 cm de espesor)	97,70	a
C2 (Cocina con 6 cm de espesor)	91,28	b
C3 (Cocina con 8 cm de espesor)	84,80	c

Temperatura máxima de la placa absorbadora de las cocinas solares

En la Tabla 7 se realizó el análisis de varianza de la temperatura de la placa absorbadora de las cocinas solares, donde el factor A (tipos de aislantes) y el factor B (espesores) existen diferencias significativas en los resultados, a un nivel del 95% de confianza y un p-valor menor a 0.05.

Tabla 7

Análisis de varianza de la temperatura de la placa absorbadora de las cocinas solares

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Factor A: Tipos de Aislantes	942,40	2	471,20	15,30	0,0001
Factor B: Espesores	1736,97	2	868,49	28,19	0,0001
Error	677,69	22	30,80		
Total	3357,06	26			

En la Tabla 8 en la prueba de rango múltiple de Tukey de la temperatura de la placa absorbadora con los diferentes tipos de aislantes de las cocinas solares, cuyos resultados afirman que el aislante lana de vidrio alcanzó un valor alto de temperatura a 105,55 °C, diferenciándose significativamente del aislante lana de oveja y el aislante de tecnopor con una temperatura de 101,32 °C y 91,45 °C respectivamente. Cabe mencionar que existen diferencias significativas entre el aislante lana de oveja y el aislante de tecnopor.

Tabla 8

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la temperatura de la placa absorbidora ($^{\circ}\text{C}$) con los diferentes tipos de aislantes de las cocinas solares

Factor A: Tipos de aislantes	Promedio	Significancia
Lana de vidrio	105,55	a
Lana de oveja	101,32	a
Tecnopor	91,45	b

En la prueba de rango múltiple de Tukey de la temperatura de la placa absorbidora con los diferentes espesores de las cocinas solares (Tabla 9) se evidenció resultados donde existen diferencias significativas entre sí de las cocinas C1, C2 y C3 con sus temperaturas 109,28; 99,41 y 89,63 $^{\circ}\text{C}$ respectivamente. Teniendo la cocina C1 una temperatura mucho mayor en comparación con las cocinas C2 y C3.

Tabla 9

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la temperatura de la placa absorbidora ($^{\circ}\text{C}$) con los diferentes espesores de las cocinas solares

Factor B: Espesores	Promedio	Significancia
C1 (Cocina con 4 cm de espesor)	109,28	a
C2 (Cocina con 6 cm de espesor)	99,41	b
C3 (Cocina con 8 cm de espesor)	89,63	c

Tiempo de pasteurización – ebullición del agua de las cocinas solares tipo caja

En la Tabla 10 se efectuó el análisis de varianza del tiempo de pasteurización - ebullición del agua de las cocinas solares, donde el factor A (aislantes) y el factor B (espesores) presentan diferencias significativas en los resultados, a un nivel del 95% de confianza y un p-valor menor a 0,05. Este análisis indica que tanto los espesores de las cocinas solares y los diferentes tipos de aislantes influyen significativamente en el tiempo de pasteurización.

Tabla 10

Análisis de varian.za del tiempo de pasteurización - ebullición del agua de las cocinas solares

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Factor A: Tipos de Aislantes	1159,41	2	579,70	3,84	0,0372
Factor B: Espesores	3149,85	2	1574,93	10,42	0,0007
Error	3324,59	22	151,12		
Total	7633,85	26			

En la Tabla 11 en la prueba de rango múltiple de Tukey del tiempo de pasteurización - ebullición en minutos con los diferentes tipos de aislantes de las cocinas solares, cuyos resultados contribuyen que existe diferencias significativas entre el aislante lana de vidrio y el aislante de tecnopor con el tiempo 95,89 y 111,67 (min) respectivamente; así mismo hay una similitud entre sí del aislante lana de vidrio y lana de oveja.

Tabla 11

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) del tiempo de pasteurización - ebullición en (min) con los diferentes tipos de aislantes de las cocinas solares

Factor A: Tipos de aislantes	Promedio	Significancia	
Lana de vidrio	95,89	a	
Lana de Oveja	101,22	a	b
Tecnopor	111,67		b

En la prueba de rango múltiple de Tukey del tiempo de pasteurización - ebullición del agua de las cocinas solares (Tabla 12), se observó que existe diferencias significativas entre sí de las cocinas C1 y C3 con el tiempo 91,56 y 117,44 (min) respectivamente; sin embargo no existe diferencias significativas entre las cocinas C1 y C2.

Tabla 12

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) del tiempo de pasteurización - ebullición en (min) con los diferentes espesores de las cocinas solares

Factor B: Espesores	Promedio	Significancia
C1 (Cocina con 4 cm de espesor)	91,56	b
C2 (Cocina con 6 cm de espesor)	99,78	b
C3 (Cocina con 8 cm de espesor)	117,44	a

5.1.2 Eficiencia térmica de las cocinas solares tipo caja para la producción de agua pasteurizada

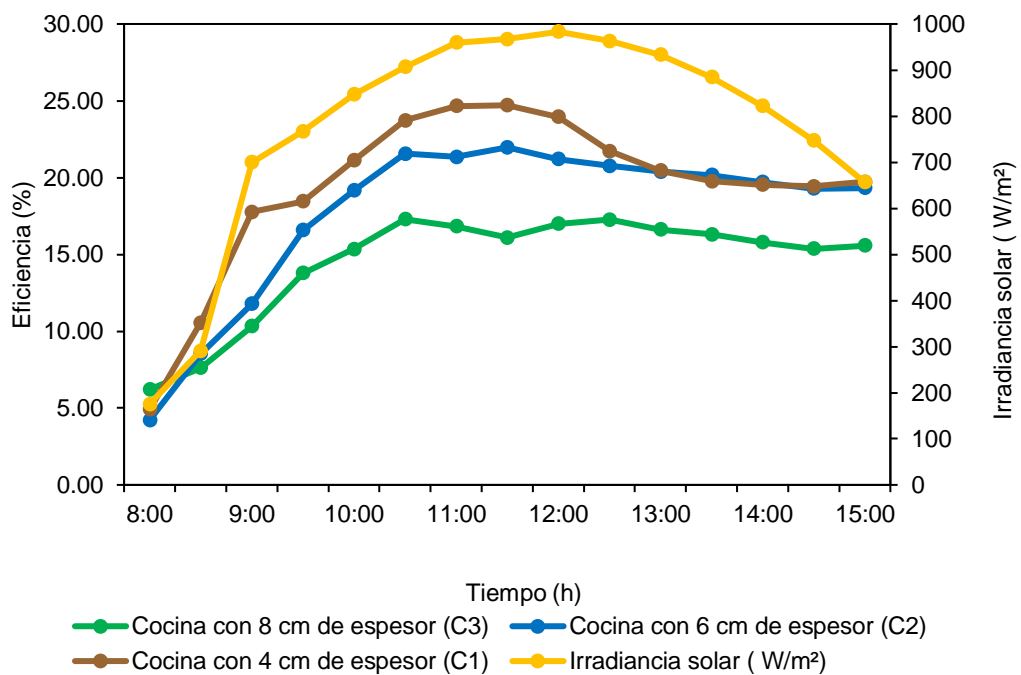
a) Eficiencia de las cocinas solares tipo caja

En la Figura 24 se observa la eficiencia de las tres cocinas solares tipo caja con sus diferentes espesores (4; 6 y 8 cm), cada una de ellas con el aislante de tecnopor en función a las horas del día e irradiancia solar en un periodo de 8 h a 15 h. Se observa en las tres cocinas solares que la eficiencia comienza a iniciar a las 9:30 h, con una irradiancia solar de 983,1 W/m², donde alcanzaron un porcentaje mayor de eficiencia a 20 % en el horario de 11 h a 12:30 h; asimismo, se demuestra que la cocina C1 alcanzó valores máximos de eficiencia de 24,71 %; seguido de la cocina C2 cuyos

valores máximos de 21,97 % y la cocina C3 obtuvo valores máximos de 17,25 %.

Figura 24

Eficiencia (%) de las cocinas solares tipo caja con el aislante de tecnopor en función a las horas del día e irradiancia solar (W/m^2)



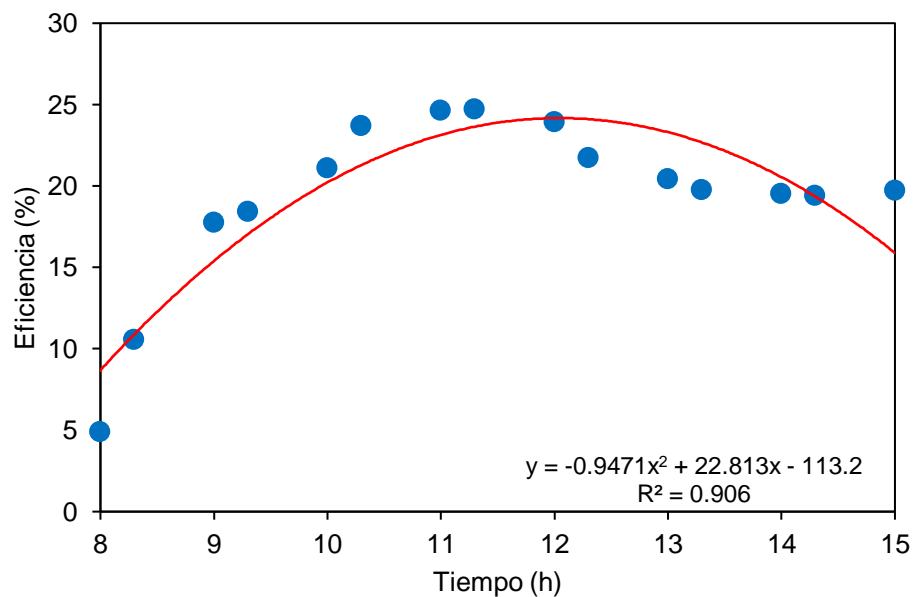
En la Figura 25; 26 y 27 se muestra la eficiencia de las cocinas solares tipo caja con el aislante de tecnopor. La Figura 25 reporta que la cocina C1 de 4 cm de espesor con el aislante de tecnopor tuvo el valor más alto de eficiencia que fue 24,71 % a las 11:00 h. De tal manera, el

modelo matemático que se ajustó más por la ecuación polinómica con un $R^2 = 0,906$ es:

$$C1T (\text{Eficiencia } \%) = -0,9471 * \text{Tiempo}^2 + (22,813 * \text{Tiempo}) - 113,2 \quad \dots(9)$$

Figura 25

Eficiencia (%) de la cocina solar tipo caja de espesor de 4cm (C1) con el aislante de 96ecnopor en función al tiempo evaluado (h)

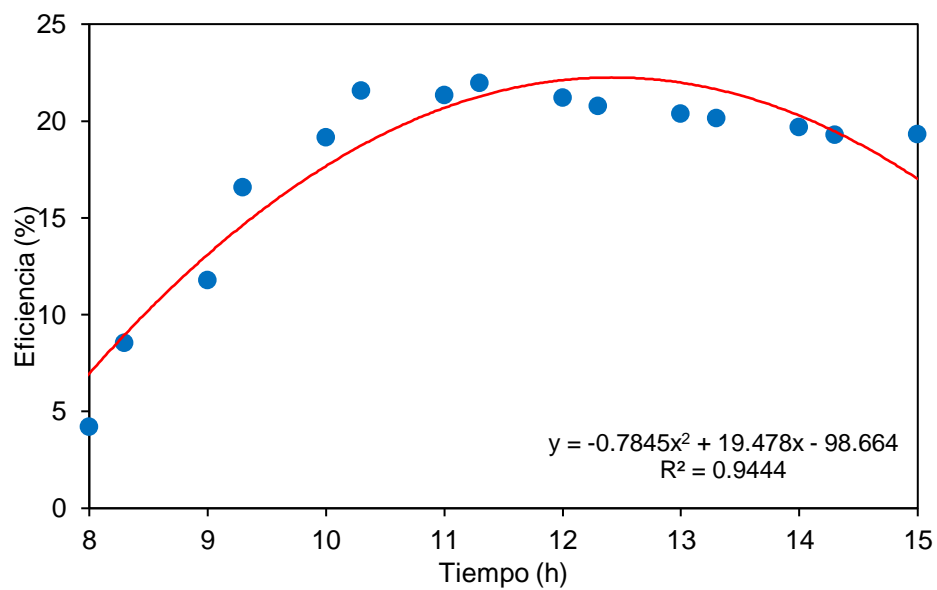


Vemos en la Figura 26 que la cocina C2 de 6 cm de espesor con el aislante de 96ecnopor tuvo el valor más alto de eficiencia que fue 21,97 % a las 11:30 h de la tarde. Del mismo modo el modelo matemático que se ajustó más por la ecuación polinómica con un $R^2 = 0,944$ es :

$$C2T (\text{Eficiencia } \%) = -0,7845 * \text{Tiempo}^2 + (19,478 * \text{Tiempo}) - 98,664 \quad \dots(10)$$

Figura 26

Eficiencia (%) de la cocina solar tipo caja de espesor de 6 cm (C2) con el aislante de 97ecnopor en función al tiempo evaluado (h)

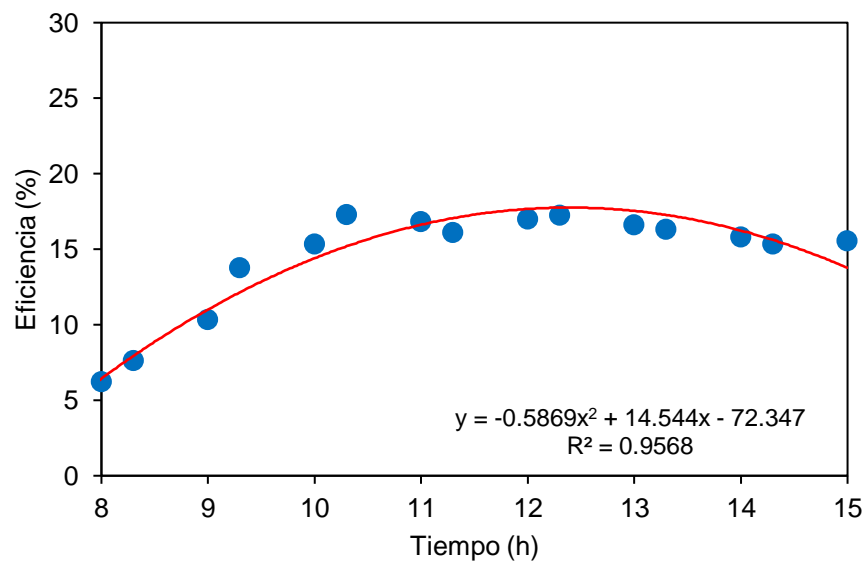


Se reporta en la Figura 27 que la cocina C3 de 8 cm de espesor con el aislante de 97ecnopor tuvo el valor más alto de eficiencia que fue 17,25 % a las 12:30 h de la tarde. Del mismo modo el modelo matemático que se ajustó más por la ecuación polinómica con un $R^2 = 0,9568$ es :

$$C3T (\text{Eficiencia } \%) = -0,5869 * \text{Tiempo}^2 + (14,544 * \text{Tiempo}) - 72,347 \dots (11)$$

Figura 27

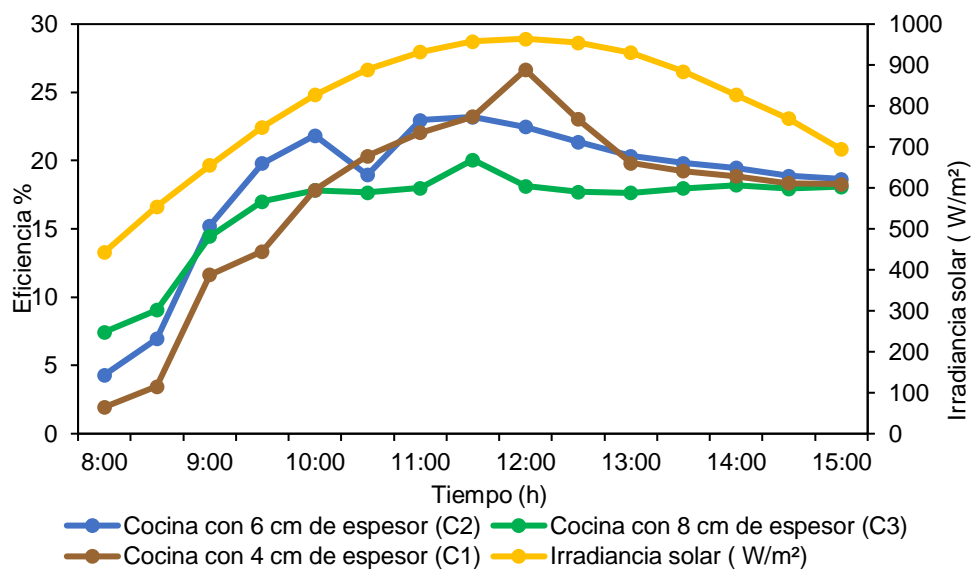
Eficiencia (%) de la cocina solar tipo caja de espesor de 8 cm (C3) con el aislante de tecnopor en función al tiempo evaluado (h)



En la Figura 28 se reporta el porcentaje de eficiencia de las tres cocinas solares tipo caja con sus diferentes espesores (4, 6 y 8 cm), cada una de ellas con el aislante de lana de oveja en función a las horas del día e irradiancia solar en un periodo de 8 h a 15 h. Se observa en las tres cocinas solares que la eficiencia comienza a iniciar a las 9 h, alcanzando una irradiancia solar de 964,4 W/m², en el cual la cocina C1 alcanzó valores máximos de eficiencia de 26,65%; seguido de la cocina C2 cuyos valores máximos de 23,20% y la cocina C3 obtuvo valores máximos de 20,07%.

Figura 28

Eficiencia (%) de las cocinas solares tipo caja con el aislante lana de oveja en función a las horas del día e irradiancia solar (W/m²)

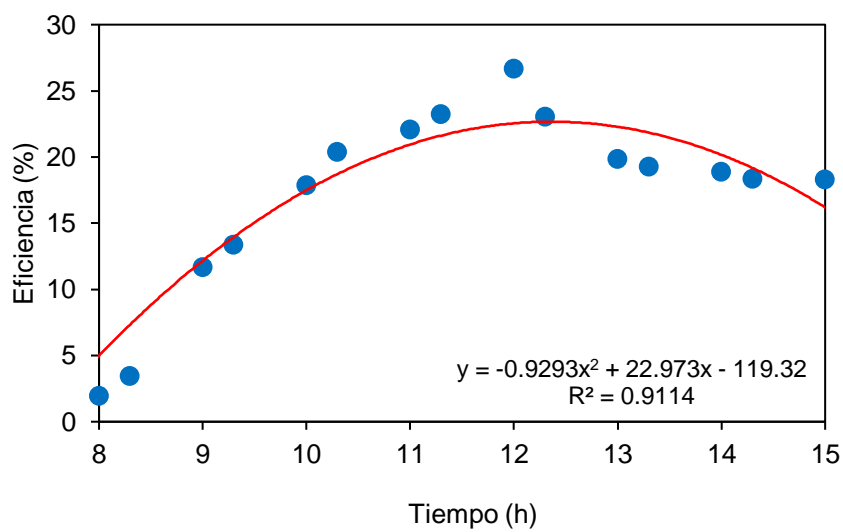


En la Figura 29; 30 y 31 se muestra la eficiencia de las cocinas solares tipo caja con el aislante de lana de oveja. En la Figura 29 se observa que la cocina C1 de 4 cm de espesor con el aislante lana de oveja tuvo el valor más alto de eficiencia que fue 26,65 % a las 12:00 h. De tal manera, el modelo matemático que se ajustó más por la ecuación polinómica con un $R^2 = 0,9114$ es:

$$C1LO \text{ (Eficiencia \%)} = -0,9293 *Tiempo^2 + (22,973* Tiempo) - 119,32...(12)$$

Figura 29

Eficiencia (%) de la cocina solar tipo caja de espesor de 4 cm (C1) con el aislante lana de oveja en función al tiempo evaluado (h)

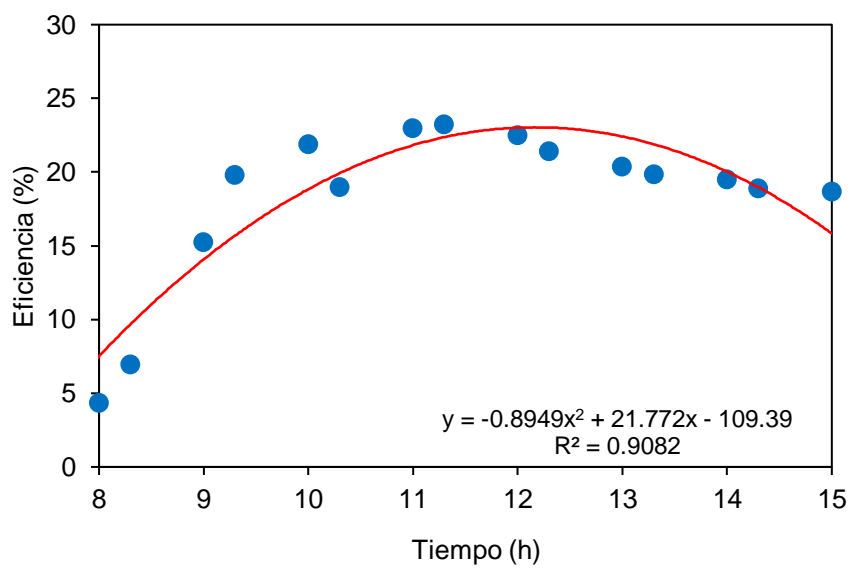


Vemos en la Figura 30 que la cocina C2 de 6 cm de espesor con el aislante lana de oveja tuvo el valor más alto de eficiencia que fue 23,20 % a las 11:30 h de la tarde. Del mismo modo el modelo matemático que se ajustó más por la ecuación polinómica con un $R^2 = 0,9082$ es:

$$C2LO \text{ (Eficiencia \%)} = -0,8949 * \text{Tiempo}^2 + (21,772 * \text{Tiempo}) - 109,39 \dots (13)$$

Figura 30

Eficiencia (%) de la cocina solar tipo caja de espesor de 6 cm (C2) con el aislante lana de oveja en función al tiempo evaluado (h)

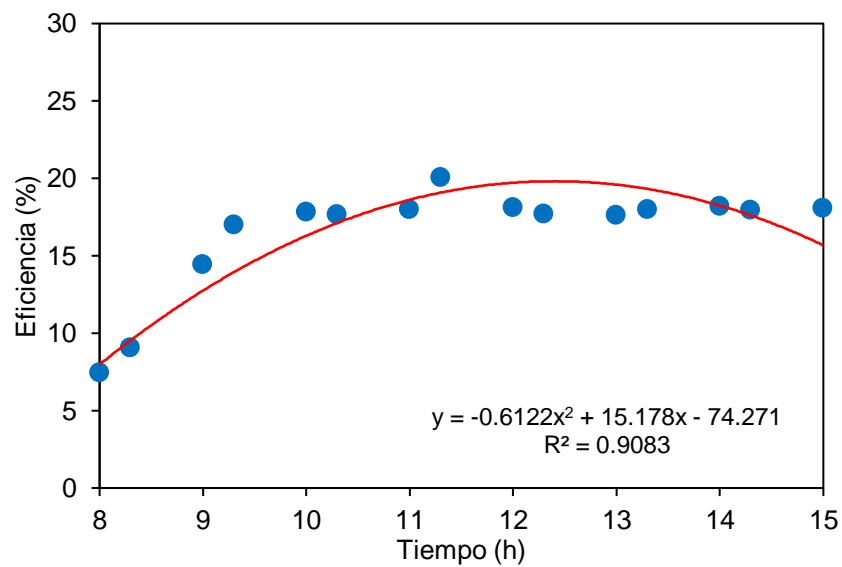


Se muestra en la Figura 31 que la cocina C3 de 8 cm de espesor con el aislante lana de oveja tuvo el valor más alto de eficiencia que fue 20,07 % a las 11:30 h de la mañana. Del mismo modo el modelo matemático que se ajustó más por la ecuación polinómica con un $R^2 = 0,9083$ es:

$$C3LO \text{ (Eficiencia \%)} = -0,6122 * \text{Tiempo}^2 + (15,178 * \text{Tiempo}) - 74,271 \dots(14)$$

Figura 31

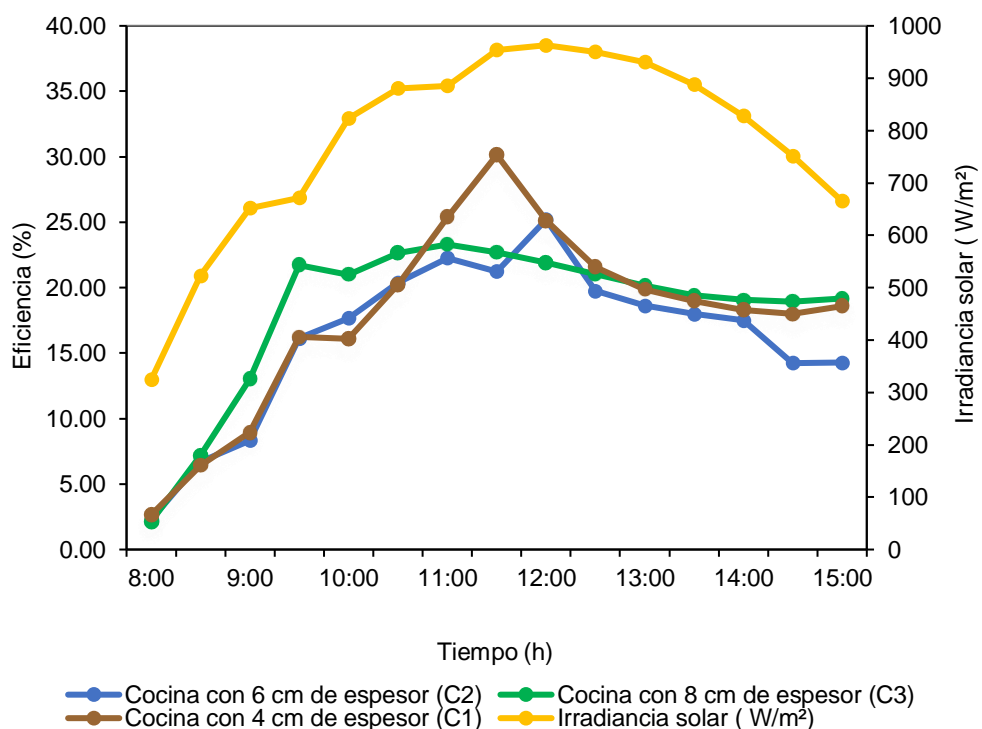
Eficiencia (%) de la cocina solar tipo caja de espesor de 8 cm (C3) con el aislante lana de oveja en función al tiempo evaluado (h)



En la Figura 32 vemos el porcentaje de eficiencia de las tres cocinas solares tipo caja con sus diferentes espesores (4, 6 y 8 cm), cada una de ellas con el aislante lana de vidrio en función a las horas del día e irradiancia solar en un periodo de 8 h a 15 h. Se observa en las tres cocinas solares que la eficiencia comienza a iniciar a las 9 h, alcanzando una irradiancia solar de 963,1 W/m²; en el cual la cocina C1 alcanzó valores máximos de eficiencia de 30,14 %; seguido de la cocina C2 cuyos valores máximos de eficiencia de 25,20 % y la cocina C3 obtuvo valores máximos de 23,30 %.

Figura 32

Eficiencia (%) de las cocinas solares tipo caja con el aislante lana de vidrio en función a las horas del día e irradiancia solar (W/m²)

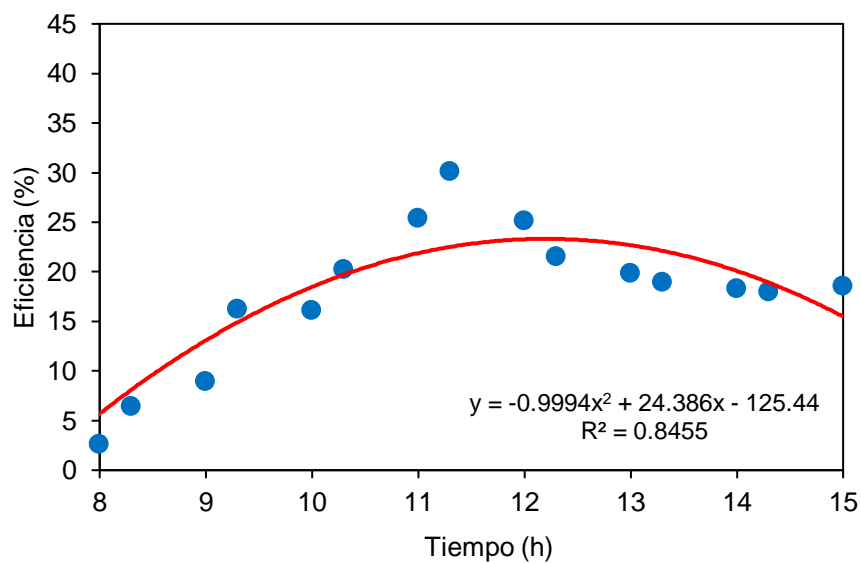


En la Figura 33; 34 y 35 se muestra la eficiencia de las cocinas solares tipo caja con el aislante lana de vidrio. En la Figura 33 se observa que la cocina C1 de 4 cm de espesor con el aislante lana de vidrio tuvo el valor más alto de eficiencia que fue 30,14 % a las 11:30 h de la mañana. De tal manera, el modelo matemático que se ajustó más por la ecuación polinómica con un $R^2 = 0,8455$ es :

$$C1LV \text{ (Eficiencia \%)} = -0,9994 * \text{Tiempo}^2 + (24,386 * \text{Tiempo}) - 125,44 \dots (15)$$

Figura 33

Eficiencia (%) de la cocina solar tipo caja de espesor de 4 cm (C1) con el aislante lana de vidrio en función al tiempo evaluado (h)

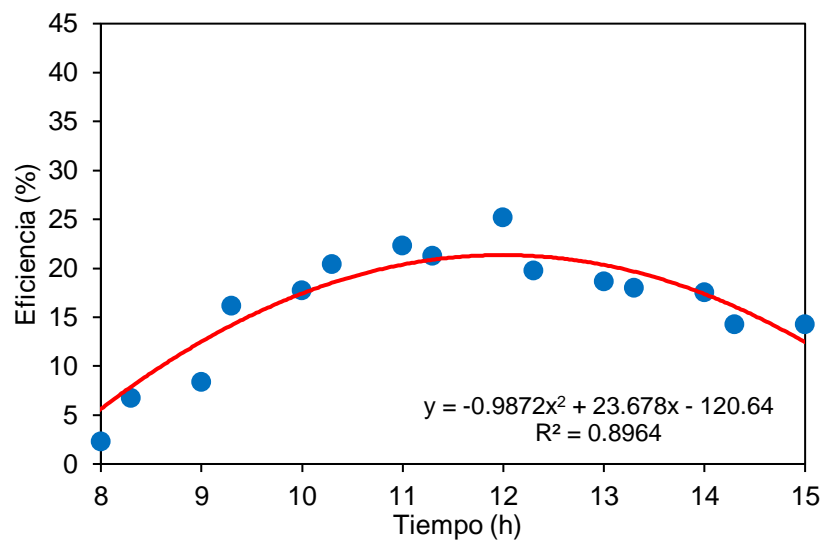


Se visualiza en la Figura 34 que la cocina C2 de 6 cm de espesor con el aislante lana de vidrio tuvo el valor más alto de eficiencia que fue 25,20 % a las 12:00 h. Del mismo modo el modelo matemático que se ajustó más por la ecuación polinómica con un $R^2 = 0,8964$ es:

$$C2LV \text{ (Eficiencia \%)} = -0,9872 * \text{Tiempo}^2 + (23,678 * \text{Tiempo}) - 120,64 \dots(16)$$

Figura 34

Eficiencia (%) de la cocina solar tipo caja de espesor de 6 cm (C2) con el aislante lana de vidrio en función al tiempo evaluado (h)

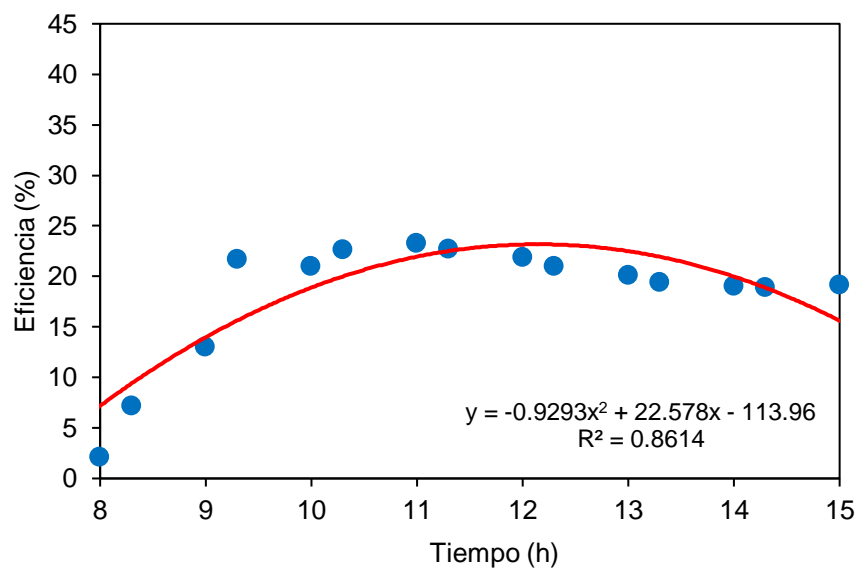


Se visualiza en la Figura 35 que la cocina C3 de 8 cm de espesor con el aislante lana de vidrio tuvo el valor más alto de eficiencia que fue 23,30 % a las 11:00 h. Del mismo modo el modelo matemático que se ajustó más por la ecuación polinómica con un $R^2 = 0,8614$ es:

$$C3LV \text{ (Eficiencia \%)} = -0,9293 * \text{Tiempo}^2 + (22,578 * \text{Tiempo}) - 113,96 \dots (17)$$

Figura 35

Eficiencia (%) de la cocina solar tipo caja de espesor de 8 cm (C3) con el aislante lana de vidrio en función al tiempo evaluado (h)



b) Análisis de varianza y prueba de rango múltiple de Tukey

En la Tabla 13 se realizó el análisis de varianza de la eficiencia de las tres cocinas solares tipo caja con sus diferentes tipos de aislantes, donde la eficiencia de las cocinas mostró que existen diferencias significativas en los resultados, a un nivel del 95% de confianza y un p-valor menor a 0,05.

Tabla 13

Análisis de varianza de la eficiencia de las cocinas solares tipo caja con sus diferentes tipos de aislantes

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Factor A: Tipos de Aislantes	204,71	2	102,36	4,48	0,0233
Factor B: Espesores	1123,17	2	561,59	24,60	0,0001
Error	502,25	22	22,83		
Total	1830,14	26			

También se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la eficiencia de las cocinas solares tipo caja con sus diferentes tipos de aislantes (Tabla 14) cuyos resultados muestran que existe diferencias significativas entre el aislante lana de vidrio y lana de oveja, con un promedio de eficiencia de 31,18 y 23,92 % respectivamente; así también existe una similitud entre los aislantes lana de oveja y el tecnopor con un promedio de eficiencia de 23,92 y 22,37 %.

Tabla 14

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la eficiencia (%) con los diferentes tipos de aislantes de las cocinas solares

Factor A: Tipos de aislantes	Promedio	Significancia
Lana de vidrio	31,18	a
Lana de Oveja	23,92	b
Tecnopor	22,37	b

En la Tabla 15 se presenta la prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la eficiencia de las cocinas solares tipo caja cuyos resultados muestran que existe diferencias significativas entre la cocina C1 y la cocina C2, con un promedio de eficiencia de 30,64 y 25,15 % respectivamente; así también existe una similitud entre la cocina C2 y la cocina C3 con un promedio de eficiencia de 25,15 y 21,50 %.

Tabla 15

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la eficiencia % de las cocinas solares tipo caja

Factor B: Espesores	Promedio	Significancia
C1 (Cocina con 4 cm de espesor)	30,64	a
C2 (Cocina con 6 cm de espesor)	25,15	b
C3 (Cocina con 8 cm de espesor)	21,50	b

5.1.3 Análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas de agua del río Uchusuma antes y después del proceso de pasteurización de las cocinas solares

Observamos en la Tabla 16 los resultados del análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas de las cuatro muestras de agua de la C1 de 4 cm de espesor: muestra inicial del agua del río Uchusuma (Mi), muestra pasteurizada de la cocina solar tipo caja C1 con el aislante tecnopor, muestra pasteurizada de la cocina solar tipo caja C1 con el aislante lana de oveja y muestra pasteurizada de la cocina solar tipo caja C1 con el aislante lana de vidrio, cuyos resultados fueron contrastados con el Límite Máximo Permisible (LMP) para el consumo humano según el Reglamento de calidad de agua para consumo humano - D.S. N° 031-2010-

SA, así como con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección (categoría 1-A1).

Se observó que las cuatro muestras cumplen con el LMP y con el ECA categoría 1-A1 y las diferencias son mínimas de los parámetros fisicoquímicos cuando comparamos la muestra (Mi) con las muestras C1 – TEC; C1 – LO y C1 – LV respectivamente.

En lo que respecta a la eficiencia de remoción, existe un alto porcentaje de remoción de los parámetros microbiológicos, de los coliformes fecales, la cocina C1 – TEC; C1 – LO y C1 – LV respectivamente, tienen una eficiencia de remoción del 92 %.

De los coliformes totales la cocina C1 – TEC; C1 – LO y C1 – LV respectivamente, tienen una eficiencia de remoción del 97 %.

No se realizó la eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos porque no existen diferencias significativas entre la muestra inicial del agua de río con las tres muestras de agua pasteurizada de la cocina C1 con sus diferentes aislantes térmicos tecnopor, lana de oveja y lana de vidrio.

Tabla 16

Análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas de muestras de agua antes y después de la pasteurización solar comparadas con el LMP para consumo humano y ECA categoría 1-A1 y la eficiencia de remoción de las cocinas solares tipo caja

Parámetro	Unidad					LMP para consumo humano	ECA categoría 1-A1	Cumplimiento	Eficiencia de remoción (%)		
		Mi	C1-TEC	C1-LO	C1-LV				C1-TEC	C1-LO	C1-LV
Fisicoquímico											
pH	pH	6,92	7,4	7,3	7,1	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	Cumple	-	-	-
Conductividad eléctrica	μS/cm	820	81 7	69 9	701	1 500	1 500	Cumple	-	-	-
Turbiedad	UNT	2.30	2.12	2.10	2.13	5	5	Cumple	-	-	-
Sólidos disueltos	mg/L	492	48	45	449	1 000	1 000	Cumple	-	-	-
DBO5	mg/L	3,1	2	2	2	-	3	Cumple	-	-	-
DQO	mg/L	8,8	5	5	5	-	10	Cumple	-	-	-
Microbiológico											
Coliformes fecales	NMP/100 ml	22,0	1,8	1,8	1,8	< 1,8	20	Cumple	92	92	92
Coliformes totales	NMP/100 ml	70,0	1,8	1,8	1,8	< 1,8	50	Cumple	97	97	97

Nota. Muestra inicial de agua de río Uchusuma (Mi), cocina solar tipo caja (C1) de 4 cm de espesor con diferentes tipos

de aislantes; tecnopor, lana de oveja y lana de vidrio

5.2 Discusión de resultados

5.2.1 Construcción y evaluación de tres cocinas solares tipo caja

a) Construcción tres cocinas solares tipo caja

La configuración de las cocinas en sus dimensiones geométricas, no son exactamente igual en las tres cocinas como se tenía pensado tener en el proyecto, sino que son de diferentes tamaños aunque sin mucha diferencia, debido a que el carpintero que construyó las cocinas no lo hizo de acuerdo a los planos e indicaciones que se le indicó, esto trajo como consecuencia que el área de captación de la radiación que ingresó a las cocinas sea diferente y el tamaño de la placa absorbadora sea diferente, lo cual puede hacer que la comparación del comportamiento térmico y la eficiencia de las cocinas no sean muy realistas.

b) Evaluación del comportamiento térmico de las tres cocinas solares tipo caja

Los resultados obtenidos indican que entre las 12 a 12 h 30 minutos el agua comenzó a llegar a su máxima temperatura cuando la irradiancia solar tuvo valores altos que variaron entre los 954,4 a 981,9 W/m² y una temperatura ambiente que llegó a 25 °C. Los resultados que se registraron de máxima irradiancia y el tiempo son casi similares a los reportados por otros investigadores como Chavez (2019), quien obtuvo su máxima irradiancia solar de 1082 W/m² a las 12h y 10 min. Con respecto a la temperatura ambiente, Merchán y Picoita Camacho (2010) afirman que para realizar pruebas de mediciones en cocinas solares, la temperatura ambiente tiene que estar entre 20 y 35 °C, por lo tanto concuerda con las temperaturas ambientales a los que se a trabajado.

Los valores obtenidos indican que con el aislante tecnopor, la cocina C1 alcanzó valores máximos de temperatura en los puntos de monitoreo que son suficientes para la pasteurización del agua, sin embargo, es necesario indicar que a estas temperaturas el tecnopor sufre daños en su estructura y por lo tanto es innecesario usarlo para éste tipo de aplicaciones.

Los resultados obtenidos en las tres cocinas solares tipo caja con el aislante de tecnopor indican que la cocina C1 alcanzó valores mayores en los puntos de monitoreo en comparación con las cocinas C2 y C3, lo cual indica que el espesor de 4 cm es el que permite tener un mejor comportamiento térmico de la cocina con éste aislante. Los investigadores Gallipoliti y Martina (2008) obtuvieron valores similares a los de la cocina C1, donde la temperatura del agua logró un valor de 100 °C en más de 210 minutos, pero la temperatura de la placa absorbadora fue de 120 °C, en cambio, en la cocina solar de Llaique y Salinas Portilla (2008) ésta alcanzó una temperatura de ebullición del agua a 99°C cerca al medio día, dichos autores usaron como aislante térmico el tecnopor.

Los valores obtenidos indican que con el aislante lana de oveja, la cocina C1 alcanzó mejores valores de temperatura del agua a 99 °C, temperatura del vidrio interior 98 °C, temperatura del vidrio exterior 76 °C, temperatura de la placa absorbadora 113 °C y el tiempo de pasteurización-ebullición de 95 min lo cual nos permite indicar que nuevamente el espesor de 4 cm del aislante es el más indicado en estos casos.

Los resultados obtenidos de las tres cocinas solares tipo caja con el aislante de lana de oveja indican que la cocina C1 alcanzó valores tanto en temperatura del agua, temperatura del vidrio interior, temperatura del vidrio exterior, temperatura de la placa absorbadora y el tiempo de pasteurización - ebullición, que nos permite usar éste tipo de tecnologías para pasteurizar agua según las normas establecidas a nivel nacional.

Aunque no se han realizado muchas investigaciones sobre el comportamiento térmico de cocinas solares tipos caja con aislante lana de oveja, vemos en los resultados obtenidos que alcanzan temperaturas altas, llegando el agua a pasteurizarse y al punto de ebullición; en comparación con las investigaciones de Chavez (2019), su cocina solar tipo caja con aislante térmico lana de oveja, alcanzó una temperatura máxima del agua a 75 °C a las 12h 10 min, siendo un valor menor a las temperaturas alcanzadas para nuestros prototipos.

Podemos afirmar que de las tres cocinas solares tipo caja con el aislante lana de vidrio, la cocina C1 alcanzó valores máximos tanto en temperatura del agua, temperatura del vidrio interior, temperatura del vidrio exterior, temperatura de la placa absorbadora y el tiempo de pasteurización - ebullición, en comparación con las cocinas C2 y C3.

Con respecto a la temperatura del agua, la cocina C1 logró valores mayores que en la investigación de Esteves (2001), Buiges y Fariello (2012), Torres y Polo (2019) y Gonzáles (2023), pero en similitud de resultados que Lucchini y Barral (2016) donde la temperatura del agua y el tiempo de pasteurización – ebullición fue de 98 °C en un tiempo de 92 minutos.

La cocina C1 con aislante lana de vidrio obtuvo 108 °C de temperatura en su placa absorbadora, siendo mayor a las investigaciones de Muro y Polo (2019) que llegó a 96,24 °C; aunque existe una semejanza de resultados con Merchán y Picoita (2010) cuya placa absorbadora llegó a 110 °C. Podemos afirmar que nuestros resultados fueron favorables, pero no podemos pasar por alto que algunos investigadores lograron valores más altos como Gonzáles (2023) donde su temperatura máxima de la placa fue de 126,3 °C y Lucchini y Barral (2016) que alcanzó una temperatura de 118 °C de la placa absorbadora de su cocina solar Ñancuñan. Éstas temperaturas alcanzadas por la cocina con aislante lana de vidrio de 4 cm de espesor nos indican que éste material es el más adecuado para la pasteurización del agua en la ciudad de Tacna, sin descartar el uso de la lana de oveja que tiene buenas características térmicas, de bajo costo y no contamina el ambiente.

5.2.2 Eficiencia térmica de las cocinas solares tipo caja para la producción de agua pasteurizada

La cocina C1 de 4 cm de espesor con el aislante lana de vidrio, cuya eficiencia fue de 30,14 %, tuvo un valor alto en comparación con la investigación de Merzouk y Boukar (2013) donde su cocina solar con 15 cm de espesor de lana de vidrio alcanzó una eficiencia de 27 % que fue disminuyendo hasta 5 %, por consiguiente, la eficiencia de la C1 fue menor a los valores obtenidos por Gonzáles (2023) donde su investigación da una eficiencia superior a 60 % de su cocina solar con el aislante lana de vidrio; para Mealla y Boonaveri (2011) la eficiencia de sus cocinas solares tipo caja fue de 45 % con 5 cm de espesor de lana de vidrio y González y Servín (2013) que afirma en su trabajo de investigación que su cocina solar obtuvo una eficiencia de 39 %.

La cocina C2 de 6 cm de espesor con el aislante lana de vidrio obtuvo una eficiencia de 25,20 %, siendo un valor alto en comparación con Esteves y Buenanueva (2008) cuya eficiencia de la cocina con nombre HS1 fue 20,5 % con 5 cm de espesor de lana de vidrio.

La cocina C3 de 8 cm de espesor con el aislante lana de vidrio, alcanzó una eficiencia de 23,30 %, cuyo valor es mayor que la investigación de Morsetto y Portin (2018), donde su eficiencia de la cocinas solar tipo caja

con 5 cm de espesor de lana de vidrio fue de 9,5 % y la de Murillo (2002) donde su estufa solar tipo caja alcanzó una eficiencia de 22 %.

Aunque no se realizaron investigaciones para conocer la eficiencia de cocinas solares tipo caja con el aislante lana de oveja, Chavez (2019) indica en su investigación de cocinas solares, que el aislante lana de oveja es una excelente opción, ya que su estructura fibrosa atrapa el aire y ayuda a mantener temperaturas interiores.

Las cocinas C1; C2 y C3 con el aislante de tecnopor, cuyas eficiencias fueron de 24,71 %; 21,97 % y 17,25 % respectivamente, fueron valores menores, en comparación con Filippin y Iriarte (2006) donde su cocina solar alcanzó una eficiencia térmica de 37 %, lo cual nos hace suponer que esto depende del tipo y densidad del tecnopor usado.

5.2.3 Análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua de río antes y después del proceso de pasteurización

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua de río antes y después del proceso de pasteurización en las tres cocinas solares tipo caja con diferentes tipos de aislantes térmicos, la pasteurización no afecta a los parámetros fisicoquímicos, ya que en la turbidez y en los sólidos suspendidos en el agua, éstos parámetros dependen más de la presencia de partículas y microorganismos en suspensión que de la temperatura; así mismo, el pH y la conductividad eléctrica, se mantienen relativamente estables durante la pasteurización porque este proceso no involucra temperaturas lo suficientemente altas como para alterar las concentraciones de iones en el agua o provocar reacciones químicas que modifiquen el equilibrio ácido-base.

Del mismo modo decimos que la pasteurización del agua de río no afecta significativamente la DBO_5 ni la DQO porque no altera de manera importante la cantidad de materia orgánica en el agua. Aunque elimina patógenos y algunos microorganismos, no destruye ni oxida de manera significativa los compuestos orgánicos responsables de estos parámetros. Por tanto, la demanda de oxígeno biológico (DBO_5) y químico (DQO) no se ve reducida de forma considerable tras el proceso de pasteurización.

El proceso de pasteurización de agua en una cocina solar reduce significativamente los parámetros microbiológicos debido a varios factores clave: la alta temperatura que puede alcanzar el agua (superior a los 65 °C), suficiente para inactivar o matar microorganismos como bacterias, virus y protozoos; el tiempo de exposición a esa temperatura, que permite desinfectar el agua de manera eficaz; y, en algunos casos, la radiación ultravioleta (UV) proveniente del sol que daña el ADN de los patógenos, interrumpiendo su capacidad de reproducción. Además, las cocinas solares concentran la radiación solar para calentar el agua de manera más eficiente, acelerando el proceso de pasteurización y mejorando la eliminación de patógenos. Todo esto contribuye a que el agua se vuelva más segura para el consumo, reduciendo considerablemente los microorganismos patógenos.

CONCLUSIONES

La construcción y evaluación de las tres cocinas solares tipo caja, cocina con 4 cm de espesor (C1), cocina con 6 cm de espesor (C2) y la cocina con 8 cm de espesor (C3) para la obtención de agua pasteurizada, presentaron dimensiones diferentes en el área de la placa absorbadora debido a la variación del espesor en cada cocina solar. La C1 con el aislante lana de vidrio, presentó temperaturas más altas del agua, de la temperatura de la placa absorbadora y del tiempo de pasteurización – ebullición.

La eficiencia térmica de las cocinas solares tipo caja con el aislante lana de vidrio, muestra que la C1 obtuvo una eficiencia térmica máxima de 30,14 %, la C2 con un valor de 25,20 % y la C3 con una eficiencia de 23,30 % para una irradiancia solar de 963,1 W/m² en un periodo de tiempo de 7 h, valores que se encuentran dentro del rango de eficiencia para cocinas solares tipo caja reportados por otros investigadores.

La evaluación comparativa de las tres cocinas solares tipo caja con diferentes aislantes térmicos para la producción de agua pasteurizada en Tacna, nos indica que la cocina solar de 4 cm de espesor con el aislante tecnopor, lana de oveja y lana de vidrio obtuvo muy buenos resultados en la eficiencia térmica, en la pasteurización del agua y sus características

fisicoquímicas y microbiológicas, cumplen con la normativa peruana para el consumo humano.

El análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua de río antes y después del proceso de pasteurización solar nos indica que la cocina C1 de 4 cm de espesor con los diferentes aislantes térmicos (tecnopor, lana de oveja y lana de vidrio) mostraron una mejora solamente en las características microbiológicas en los parámetros del agua de río, ya que reduce la cantidad de patógenos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda adquirir termocuplas nuevas, calibrarlas y realizar pruebas piloto al inicio de la investigación.
- Se recomienda que el espesor de la placa absorbadora sea de 3mm de espesor.
- Se recomienda que en las futuras investigaciones relacionadas con el tema, se realice pruebas con alimentos para conocer hasta que temperatura de cocción máxima alcanzan las cocinas solares.
- Se recomienda que las autoridades regionales y municipales realicen un proyecto para la difusión y uso de cocinas solares tipo caja en las zonas rurales, zonas interandinas y zonas altoandinas de la región Tacna, con la finalidad de mitigar los efectos del cambio climático, el cuidado de la salud pública, la descarbonización del sistema energético y la prevención en caso de desastres naturales.

BIBLIOGRAFÍA

- Altamirano R., & Ponce B. (2018). *Análisis de la transferencia de calor por conducción, convección y radiación* . 1–10.
- Áviles, M. (2017). *Adopción tecnológica sustentable de cocinas solares en comunidades indígenas y rurales de Michoacán*. 16, 1–11.
- Benavides, B. H. O. (2010). *Información Técnica sobre la radiación Ultravioleta, el Índice UV y su pronóstico*. 41.
- Bernal, Isabel, & Gómez, J. C. (2018). *Zonificación Sísmica - Geotécnica de la Ciudad de Tacna*. Lima, 132.
- Bonaveri, P.D. & Mealla Sánchez, L.E. (2010). *Comparación térmica de cocinas solares tipo caja - Alternativas Constructivas utilizando materiales de bajo costo*. 6.
- Buiges Nollens, Arturo & Marcelo Fariello. (2012). *Estudio Térmico Experimental y alternativas de usos de dos modelos de cocinas solares en zonas áridas*. 15.
- Cárdenas Lorenzo, B. (2005). *Conductividad Térmica*. 1–24.
- Carrillo Fernández, Omar Fernando. (2013). *La Cocina Solar, su conceptualización, diseño y construcción a bajo costo para la zona rural del Valle de Toluca*. México, 92.
- Castro, P. J. M. (2014). *Diseño, Construcción y pruebas de una cocina solar parabólica de uso doméstico*. 183.

- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2019). *Thermodynamics: An engineering approach. (9th ed.)*.
- Chavez Mercado, P. (2005). Elaboración de un proyecto sobre el uso de las cocinas solares y su difusión en el área rural del Departamento de la Paz, por intermedio de la pequeña y mediana empresa. *Universidad Mayor de San Andrés - La Paz*, 144.
- Chavez, Y. B. M. (2019). *Estudio del Rendimiento energético de una cocina solar tipo caja en base al modelado y simulación de la transferencia de calor*. 163.
- Coronel Quispe, E. A. (2023). *Diseño de cocina solar aplicando AMEF para reducir riesgos a través de la determinación de prioridad de acciones*. 1–75.
- Cruz L. & Fauster T. (2021). Destilador solar como método sostenible para la purificación de aguas grises. *Los Olivos, Universidad César Vallejo*.
- Díaz Cordero, G. (2012). El Cambio Climático. *Ciencia y Sociedad, XXXVII*, 2.
- Duffie, J. A. ., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes . 4th ed.*
- Eastop, T. D., & McConkey, A. (1993). *Applied thermodynamics for engineering technologists . (5th ed.)*.
- Eco Inventos. (2022). *Cocina solar, la forma ecológica de cocinar sin electricidad*.

- Esteves, A. (2001). Ensayo de potencia para medir el comportamiento térmico de hornos solares, su validez en función de la época del año. *Mendoza - Argentina*, 6.
- Esteves, A., & Buenanueva, F. (2008). Estudio del comportamiento de hornos solares tipo caja en el tiempo y con la frecuencia de uso. *Laboratorio de Ambiente Humano y Viviendo - Argentina*, 8.
- Filippin, F. (2007). *Comportamiento térmico de una cocina solar caja para la elaboración de dulces y conservas*. Vol. 11, 5.
- Filippin, F., & Iriarte A. (2006). *Estudio Comparativo de Ollas en una cocina solar tipo caja*. Vol. 10, 6.
- Fourty, A., & Bertinetti, M. (2003). *Calor específico - Calorimetría*. 1–14.
- Gallipoliti V., & Martina P. (2008). *Cocina Solar chica tipo caja, experiencias y simulación de su comportamiento térmico*. Facultad de Ingeniería- Dpto. Termodinámica, 1–6.
- García, A. (2011). *Todo el fascinante mundo de la cocina solar*. <https://cocinasolar.wordpress.com/2011/02/28/10-diferentes-usos-y-aplicaciones-de-un-horno-solar/>
- García, G. J. (2002). La Cocina solar, un sistema de aprovechamiento directo de la Energía Solar para cocer los alimentos junto a otras aplicaciones. Vol. VII, 3.
- González, J. (2023). Evaluación del desempeño de una cocina solar construida con materiales reciclados. *La Universidad de Oriente , Cuba*, 6.

- González M, & Servín H. (2013). Modelo térmico para estimar la potencia de cocción estándar de cocinas solar Thermal model to estimate the standardized cooking power of solar cookers. *Universidad de La Salle Bajío - México*, 18.
- González Rodríguez, & Méndez Lango. (2008). *Medición de la Conductividad Térmica de algunos materiales utilizados en edificaciones* . 1–5.
- Hernández E., A. Tejeda, & S. Reyes. (1991). *Atlas solar de la Republica Mexicana* . 153.
- IDMA. (1998). *Estudio de Demanda de Leña y su Impacto Ambiental en el Santuario Nacional de Ampay. Apurimac, Perú*, 10.
- Imbert, G. J. (2022). *Evaluación del desempeño de una cocina solar construida con materiales reciclados*. 3–6.
- Laborde, M. A. (2016). *Energía Solar*. "Aplicación de materiales de almacenamiento de energía térmica para la cocina solar: Una revisión exhaustiva". *Jurnal Kejuruteraan* .161.
- Leandro, S. A. (2006). *Manual de Tecnologías Limpias en Py MEs del Sector Residuos Sólidos*. 72.
- Lema, A., & Pontin, M. (2006). Estudio de diferentes materiales de cubierta para cocinas solares tipo caja. *Universidad Nacional de Río Cuarto - Argentina*, 10, 6.
- Lira, Alfredo; Juan José Javier Jara, & Liz Bautista. (2018). *El Potencial de las Energías Renovables en el Perú*. 152.

- Llaique Herreros, P., & Salinas Portilla, M. (2008). *Diseño, desarrollo y evaluación de una cocina solar de bajo costo*. 1–9.
- Lucchini, J. M., & Barral, J. R. (2016). Ensayo de época invernal de un horno solar con reflector inferior y comparación con un modelo convencional . *Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina*, 12.
- Mealla, L. E., & Morales, J. D. (2015). Evaluación del comportamiento térmico de cocinas solares tipo panel en condiciones ambientales de la costa Caribe colombiana. *Universidad Autónoma Del Caribe - Colombia*, 9.
- Mealla, S. L. E., & Boonaveri, A. P. D. (2011). *Alternativas de construcción utilizando materiales de bajo costo para la evaluación térmica de cocinas solares tipo caja*. *Universidad Industrial de Santander*, 2–8.
- Merchán Ortega, M. P., & Picoita Camacho, F. D. (2010). *Construcción, Experimentación y Modelación de Cocinas Solares tipo caja (Rectangulares)*. 1–170.
- Merzouk M, & Boukar M. (2013). Desarrollo de cocinas solares en el Sáhara Argelino: Hacia una solución social, cocina solar adecuada. *Universite Saad Dahlab*, 8.
- Morales, C., & Pérez, B. (2018). *Determinación de la Conductividad Térmica y resistencia mecánica de ladrillos y placas conformadas de cemento y polietileno teraftalato (PET)*. 1–169.
- Morsetto, J. M., & Portin, M. I. (2018). Análisis Energético y Exergético del comportamiento térmico de cocinas solares tipo caja con y sin material de cambio de fase. *Universidad Nacional de Río Cuarto - Argentina*, 9.

- Murillo, J. M. (2002). Análisis termodinámico de una estufa solar con concentradores de espejos planos. *Tesis de Maestría. ESIME - IPN. México, D.F.*, 129.
- Oliver, L. A. (2017). *Radiación solar invisible y arquitectura*. 116–124.
- ONU, O. de las N. U. (2022, November 24). *¿Qué es el combustible fósil? La energía que se obtiene de la materia orgánica*.
- Orejuela, S. R., & Villavicencio, B. J. (2018). *Evaluación de la incidencia de los diferentes materiales reflectantes en la eficiencia energética de un horno solar*. 1–62.
- Ortiz Villegas, L. G. (2018). Diseño y propuesta de un sistema de aislante térmico en paredes residenciales a base de lana de oveja. *Escuela de Tecnología En Construcciones y Domótica*, 81.
- Pareja Aparicio, Miguel. (2010). *Radiación Solar y su aprovechamiento energético* (Marcombo S.A., Ed.).
- Palacios, J. M. L. (2015). Métodos de Conservación Mediante la Aplicación de Calor. *Universidad Autónoma Del Estado de México Facultad de Medicina*, 31.
- Palomo Cano, M. (2017). *Aislantes térmicos - Criterios de selección por requisitos energéticos*. 6.
- Passamai V. (1998). *Experiencias de laboratorio y de campo con un horno solar*. *Revista ASADES*(Argentina), 4.
- Passamai, V. (1998). *Simulación del Comportamiento Térmico de una Cocina Solar*. Vol. 2, 4.

- Paz, E. M. (2005). *Guía de uso de cocinas y hornos solares*. 61.
- Pineda, C. J. S. (2014). *Diseño, construcción y pruebas de una cocina solar parabólica de uso doméstico*.
- Pineda, J. (2021). *Horno Solar*. "Diseño, construcción y evaluación del rendimiento de una cocina solar parabólica de doble eje con sistema de arrastre solar y comparación de cocinas". *Journal of Renewable Energy* 2021.
- PNUD, P. de las N. U. para el D. (2009). *Informe sobre Desarrollo Humano*. Perú, 259.
- PNUMA, P. de las N. U. para el M. A. (2021). *Informe sobre la Brecha de Emisiones 2023*.
- Quiroga, M. A., & Saravia, L. R. (2004). Evaluación del Efecto de la variación del tamaño de una cocina solar de tipo caja, mediante un programa de simulación. *Universidad Nacional de Salta, Argentina*, 6.
- Ramírez, G. R. J. (2021). *Evaluación del desempeño térmico de una estufa solar parabólica*. 9.
- Reina Ernesto, & Díaz Carlos. (2011). *Cocina Solar*. "Desarrollo y pruebas de rendimiento de cocinas solares". *Revista de Energía en el Sur de África* 18, n.º 3
- Renewable Energy World. (2023). *Global solar radiation explained*. Fabricación a medida de una cocina solar: un estudio de caso". *Advanced Materials Research* 6-8

- RME - Residuos de Manejo Especial. (2022). *Cocinas Solares*. "Cocina solar". Revista IOSR de Ciencias Ambientales, Toxicología y Tecnología Alimentaria 7, n.º 1
- Sánchez, C., F. Rodríguez, E. Collante, & O. Simbaqueva. (1993). *Atlas de Radiación solar de Colombia, Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas (INEA) e Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (HIMAT)*. Primera Edición, 85.
- Sánchez F. (2016). Diseño y análisis de un pequeño horno solar con tonatiuh. *Tesis Pregrado - Universidad ETSI Sevilla, España*, 1.
- Sánchez, M. (2016). Cocina Solar de Ultra - Bajo consumo. *Universidad Carlos III de Madrid*, 110.
- Solanki, C. S. (2015). *Solar photovoltaics: Fundamentals, technologies, and applications* . (3rd ed.).
- Tello Malpartida, O. (2021). Evaluación Comparativa del comportamiento estructural de una vivienda de 5 niveles con entrepiso de losa ligera con ladrillo y tecnopor. *Universidad Nacional Federico Villareal . Lima - Perú*, 122.
- Terrés H., & Ortega A. (2008). Evaluación de reflectores internos en una estufa solar de tipo caja. *Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco. México*, 9.
- Terrés Peña, H., & Lizardi Ramos, A. (2017). Caracterización numérica de una estufa solar tipo caja con reflectores interiores durante el proceso de cocción de papa. *Universidad Autónoma Metropolitana -México*, 10.

- Tilca, F., & Mealla, S. L. (1998). *Resultados de primeros ensayos en un equipo de tres cocinas solares semejantes. Vol. 2*(Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente), 1–4.
- Torres Muro, Hugo & Carlos Polo Bravo. (2019a). *Construcción y Evaluación de una cocina /horno solar tipo caja*. 1–10.
- Torres Muro, Hugo & Carlos Polo Bravo. (2019b). *Perspectiva Ambiental de las cocinas solares en la zona Altoandina de Tacna*. 5.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Título: Evaluación comparativa de tres cocinas solares tipo caja con diferentes tipos de aislantes térmicos para la producción de agua pasteurizada en Tacna

Formulación del problema	Hipótesis específica	Objetivos específicos	Variables	Dimensiones	Indicadores	Métodos	Pruebas estadísticas
¿Cuál es el aislante térmico que nos permite tener mayor eficiencia térmica en una cocina solar tipo caja bajo las condiciones climáticas de Tacna?	El aislante que nos permite tener mayor eficiencia térmica en una cocina solar tipo caja bajo las condiciones climáticas de la ciudad de Tacna es la lana de vidrio.	Construir tres cocinas solares tipo caja con diferentes aislantes térmicos y de diferentes espesores para la producción de agua pasteurizada bajo las condiciones climáticas de Tacna.	Independiente: X1: Aislante térmico. Dependiente: Y1: Producción de agua pasteurizada Interviniente: Z1= Radiación solar	Parámetros de diseño Comportamiento térmico Energía absorbida	Espesor del aislante(m) Reflector (m ²) Peso (kg) Volumen de agua (L) Temperatura (°C) Eficiencia térmica (%) Irradiancia solar incidente en plano horizontal (W/m ²)	Medición directa Medición directa. Medición indirecta Medición directa. Medición directa con sensores. Medición indirecta. Medición directa.	Mediante un diseño bloques completos al azar (DCBA) con tres repeticiones, análisis de varianza y prueba de contraste múltiple de Tukey a un 95 % de confianza.

¿Cuál es el aislante térmico y espesor óptimo que debe tener para lograr una mayor eficiencia en la pasteurización de agua bajo las condiciones climáticas de Tacna?	El aislante térmico y espesor óptimo que debe tener para producir agua pasteurizada en una cocina solar tipo caja bajo las condiciones climáticas de Tacna es la lana de vidrio con un espesor de 4 cm.	Evaluar la eficiencia de tres cocinas solares tipo caja en función del material usado como aislante térmico y de sus espesores para la producción de agua pasteurizada bajo las condiciones climáticas de Tacna	<p>Independiente: X1: Espesor del aislante térmico.</p> <p>Dependiente: Y1: Producción de agua pasteurizada.</p> <p>Interviniente: Z1= Radiación solar</p>	Parámetros de diseño Volumen de agua	Volumen de agua (L) Espesor del aislante(m) Eficiencia térmica (%) Temperatura (°C) Irradiancia solar incidente en plano horizontal (W/m²)	Medición directa Medición directa Medición indirecta. Medición directa con sensores. Medición directa.	Mediante un diseño bloques completos al azar (DCBA) con tres repeticiones, análisis de varianza y prueba de contraste múltiple de Tukey a un 95 % de confianza.
				Energía absorbida			
¿Cuáles son las características físico-químicas y microbiológicas del agua pasteurizada en cocinas solares con diferentes espesores de los aislantes térmicos evaluados bajo las condiciones climáticas de Tacna?	Las características físico-químicas y microbiológicas del agua pasteurizada producidas en cocinas solares bajo las condiciones climáticas de Tacna con diferentes tipos de aislamiento térmico, cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental para aguas de consumo humano.	Determinar las características físico-químicas del agua pasteurizada en las cocinas solares tipo caja producida bajo las condiciones climáticas de Tacna.	<p>Independiente: X1: Agua pasteurizada</p> <p>Dependiente: Y1: Características físico-químicas y microbiológicas</p>	Análisis físicoquímico y microbiológico	pH Conductividad eléctrica(μS/cm) Turbiedad (UNT) Sólidos Disueltos Totales (mg/l) Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l) Demanda química de oxígeno (mg/l)	Método del multiparámetro a lectura directa. Método del multiparámetro a lectura directa. Método Nefelométrico. Método del multiparámetro a lectura directa.	Mediante un análisis de varianza y prueba de contraste múltiple de Tukey a un 95 % de confianza.

Anexo 2
Panel fotográfico

Foto 1

Medidas de la caja interna y caja externa de las cocinas solares



Foto 2

Pintado de la placa absorbente metálica



Foto 3

Pintado de color blanco de las cocinas solares tipo caja



Foto 4

Pintado de todo el contorno exterior de las ollas y tapas de aluminio



Foto 5

Cortado de las planchas de aluminio anodizado



Foto 6

Instalación de la Estación Meteorológica



Foto 7

Cortado y colocación del tecnopor en las cocinas solares tipo caja

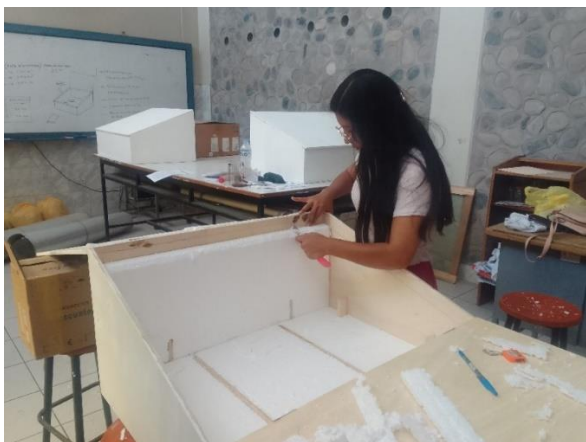


Foto 8

Viaje a Tarata para la compra de la lana de oveja



Foto 9

Lavado de la lana de oveja



Foto 10

Colocación de la lana de oveja en las cocinas solares



Foto 11

Colocación de la lana de vidrio en las cocinas solares tipo caja



Foto 12

Instalación de los Dataloggers y las termocuplas en las cocinas solares



Foto 13

Muestra de agua de río en la olla dentro de las cocinas solares



Foto 14

Cocinas solares en funcionamiento



Foto 15

Recojo de las muestras de agua pasteurizada



Foto 16

Análisis de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua



Foto 17

Recolección de las muestras para los análisis de laboratorio

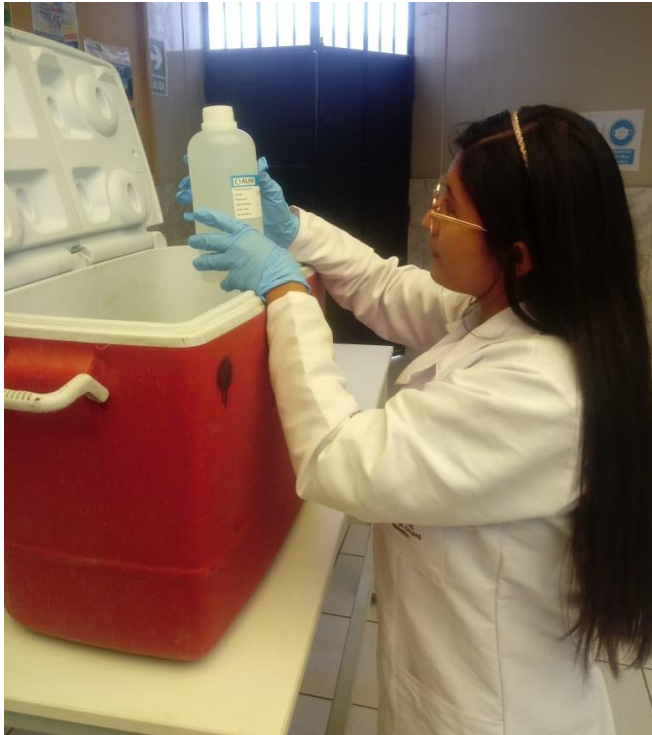


Foto 18

Descarga de la data para la obtención de resultados



Foto 19

Vista panorámica de las tres cocinas solares tipo caja con la Estación Meteorológica



Anexo 3. Informe de Análisis de Laboratorio



INFORME DE ENSAYO N°: IE-24-5287

N° Id.: 0000104950

I.- DATOS DEL CLIENTE Y/O SOLICITANTE

- 1.- RAZON SOCIAL : HERRERA DE LA ROCA MARIA DEL CARMEN
2.- DIRECCIÓN : AREQUIPA
3.- PROYECTO : EVALUACION COMPARATIVA DE TRES COCINAS SOLARES TIPO CAJA CON DIFERENTES TIPOS DE AISLANTES TERMICOS PARA LA PRODUCCION DE AGUA PASTEURIZADA EN TACNA
4.- PROCEDENCIA : UNJBG - TACNA - TACNA
5.- SOLICITANTE : HERRERA DE LA ROCA MARIA DEL CARMEN
6.- PRODUCTO : Agua Natural

II.- DATOS DEL SERVICIO

- 1.- ORDEN DE SERVICIO N° : 0000001029-2024-0001
2.- FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 2024-03-29

III.- DATOS DEL ÍTEM DE ENSAYO

- 1.- MUESTREADO POR : MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
2.- NÚMERO DE MUESTRAS : 4
3.- FECHA DE RECEPCIÓN : 2024-02-06
4.- CONDICIÓN DE RECEPCIÓN : En buen estado de conservación y preservación
5.- PERÍODO DE ENSAYO : 2024 02-06 al 2024-03-29


Erika Aliaga Ibarra
Jefe de Laboratorio
CIP N° 100391


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



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

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

Pág.1 de 3

SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 717 5802
Cel.: 977 515 129

SEDE ZARUMILLA

Prolongación Zarumilla Mz. D2
Ll. 3, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379

SEDE AREQUIPA


COOP SIDSUR Mz. E Ll. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 952 361 941

SEDE PIURA

Urb. Miraflores Mz. G Ll. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 952 617 782

SEDE TRUJILLO

Urb. Sol de Trujillo Mz. A Ll. 29,
Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 961 788 828

 www.alab.com.pe

IV.- MÉTODOS DE ENSAYO

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO	LUGAR DE ANÁLISIS
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 24th Ed. 2023.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E.coli.	SIN ACREDITACION
Coliformes Totales (NMP)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 24th Ed. 2023.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.	SIN ACREDITACION
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24th Ed. 2023.	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.	SIN ACREDITACION
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24th Ed. 2023.	Chemical Oxygen Demand by Closed Reflux, Colorimetric Method.	SIN ACREDITACION
Sólidos Totales Disueltos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C, 24th Ed. 2023.	Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C.	SIN ACREDITACION

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

"APHA" : American Public Health Association

SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 717 5802
Cel.: 977 515 129

SEDE ZARUMILLA

Prolongación Zarumilla Mz. D2
Ll. 3, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379

SEDE AREQUIPA

COOP SIDSUR Mz. E Ll. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 952 361 941

SEDE PIURA

Urb. Miraflores Mz. G Ll. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 952 617 762

SEDE TRUJILLO

Urb. Sol de Trujillo Mz. A Ll. 29,
Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 961 768 828

V.- RESULTADOS

ITEM	1	2	3	4
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-24-14157	M-24-14158	M-24-14159	M-24-14160
CÓDIGO CLIENTE	MUESTRA INICIAL	MUESTRA C1-TEC	MUESTRA C1-LO	MUESTRA C1-LV
COORDENADAS - UTM WGS 84	E:70.164304° N:18.023082°	E:70.150359° N:18.012799°	E:70.150360° N:18.012803°	E:70.150359° N:18.012806°
PRODUCTO	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural
SUB PRODUCTO	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural
FECHA y HORA DE MUESTREO	05-02-2024 13:10	05-02-2024 13:40	05-02-2024 14:00	05-02-2024 14:30

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) (**)	NMP/100mL	NA	1,8	22,0	<1,8	<1,8	<1,8
Coliformes Totales (NMP) (**)	NMP/100mL	NA	1,8	70,0	<1,8	<1,8	<1,8
Demanda Bioquímica de Oxígeno (**)	mg/L	0,4	2,0	3,1	<2,0	<2,0	<2,0
Sólidos Totales Disueltos (**)	mg/L	2	5	492	487	454	449
Demanda Química de Oxígeno (**)	mg/L	2,0	5,0	8,8	<5,0	<5,0	<5,0

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado
 L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.
 L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.
 NA: No Aplica

VI.- OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

Anexo 4. Tabla del comportamiento térmico de la cocina solar tipo caja C1 con el aislante térmico tecnopor

Hora	T° del agua	T° de la placa	T° vidrio interior	T° vidrio exterior	T° amb.	Irradiancia W/m2	Velocidad del viento (m/s)
08:00	26.46	24.03	24.63	24.84	20.10	175.6	0
08:30	28.51	25.17	28.47	26.51	20.64	236.74	0.32
09:00	33.19	28.11	34.15	31.24	21.92	416.44	0.39
09:30	45.13	34.53	49.73	43.86	23.52	725.13	0.74
10:00	57.56	45.55	64.26	54.11	24.59	803.76	0.58
10:30	69.88	58.30	74.14	61.08	24.81	875.80	0.71
11:00	81.70	71.35	81.53	65.74	24.34	932.29	0.69
11:30	92.76	83.66	87.85	69.56	25.23	966.42	0.85
12:00	101.80	94.05	92.17	71.56	25.27	965.87	0.96
12:30	106.46	98.87	95.94	74.09	25.43	969.54	0.81
13:00	106.29	99.03	94.24	71.64	25.05	954.04	1.03
13:30	105.34	98.74	90.52	68.25	25.57	915.33	1.08
14:00	103.62	98.49	86.92	65.80	25.33	853.96	1.01
14:30	100.42	97.87	82.36	63.28	25.15	786.26	1.00
15:00	95.42	95.29	76.61	59.20	25.91	704.25	1.02

Anexo 5. Tabla del comportamiento térmico de la cocina solar tipo caja C1 con el aislante térmico lana de oveja

Hora	T° del agua	T° de la placa	T° vidrio interior	T° vidrio exterior	T° amb.	Irradiancia W/m2	Velocidad del viento (m/s)
08:00	23.35	21.68	22.24	21.75	23.83	443.10	0.00
08:30	24.10	23.02	22.93	22.42	24.99	495.72	0.42
09:00	31.17	26.64	32.21	29.65	24.05	604.74	0.49
09:30	49.61	33.02	53.98	45.74	24.70	701.83	0.61
10:00	64.26	43.79	66.56	54.62	24.69	787.63	0.63
10:30	77.19	56.27	77.10	61.33	24.64	859.45	0.79
11:00	89.85	69.11	85.06	66.74	25.39	912.25	0.77
11:30	100.97	81.52	92.24	70.86	25.89	945.92	0.91
12:00	109.14	92.06	95.54	73.09	25.77	961.74	0.98
12:30	113.40	98.09	97.75	74.93	25.28	960.04	0.97
13:00	113.66	98.91	97.38	74.75	25.23	942.45	0.97
13:30	112.36	98.89	94.57	72.10	25.72	909.28	1.15
14:00	110.05	98.41	90.65	70.01	25.08	857.66	1.10
14:30	106.75	97.49	85.50	65.76	25.77	791.22	1.01
15:00	102.46	96.09	81.25	62.49	25.82	727.28	0.96

Anexo 6. Tabla del comportamiento térmico de la cocina solar tipo caja C1 con el aislante térmico lana de vidrio

Hora	T° del agua	T° de la placa	T° vidrio interior	T° vidrio exterior	T° amb.	Irradiancia W/m2	Velocidad del viento (m/s)
08:00	27.40	27.86	25.40	24.15	24.27	324.40	0.33
08:30	28.51	29.05	26.36	24.96	24.99	439.03	0.37
09:00	32.18	29.37	33.33	30.97	24.07	576.28	0.35
09:30	46.34	33.19	55.28	47.04	24.51	667.63	0.52
10:00	59.28	44.12	70.39	57.77	24.70	776.41	0.54
10:30	71.70	57.09	81.72	64.49	24.65	856.92	0.76
11:00	83.92	70.32	91.75	70.52	24.96	907.86	0.72
11:30	94.47	82.40	96.47	72.18	25.66	900.66	1.08
12:00	102.67	91.71	100.43	73.95	25.39	960.46	1.01
12:30	107.51	99.65	102.22	74.50	25.11	958.08	0.99
13:00	108.61	98.79	101.71	73.53	25.70	941.99	0.90
13:30	107.37	98.27	98.87	70.82	25.02	909.46	1.04
14:00	104.47	96.83	93.00	67.28	25.73	858.70	1.02
14:30	100.92	95.06	87.99	65.49	25.75	791.64	0.93
15:00	96.15	92.39	82.72	61.74	25.52	709.23	0.88

Anexo 7. Comparación de eficiencias (%) de las tres cocinas solares tipo caja con el aislante térmico tecnopor

Horas	Irradiancia solar (W/m²)	Eficiencia (%) de la cocina C1 con 4 cm de espesor	Eficiencia (%) de la cocina C2 con 6 cm de espesor	Eficiencia (%) de la cocina C3 con 8 cm de espesor
08:00	175.6	4.90	4.22	6.21
08:30	290.6	10.56	8.53	7.61
09:00	699.4	17.76	11.78	10.33
09:30	766.9	18.45	16.57	13.78
10:00	846.9	21.12	19.16	15.35
10:30	906.9	23.72	21.56	17.29
11:00	959.4	24.66	21.35	16.82
11:30	966.9	24.71	21.97	16.10
12:00	983.1	23.95	21.20	16.98
12:30	963.1	21.72	20.77	17.25
13:00	933.1	20.44	20.38	16.62
13:30	884.4	19.75	20.16	16.31
14:00	821.9	19.53	19.69	15.79
14:30	746.9	19.44	19.29	15.36
15:00	656.9	19.73	19.32	15.57

Anexo 8. Comparación de eficiencias (%) de las tres cocinas solares tipo caja con el aislante térmico lana de oveja

Horas	Irradiancia solar (W/m²)	Eficiencia (%) de la cocina C1 con 4 cm de espesor	Eficiencia (%) de la cocina C2 con 6 cm de espesor	Eficiencia (%) de la cocina C3 con 8 cm de espesor
08:00	443.1	1.94	4.31	7.45
08:30	554.4	3.45	6.94	9.07
09:00	655.6	11.64	15.24	14.46
09:30	748.1	13.35	19.80	17.01
10:00	826.9	17.85	21.85	17.83
10:30	889.4	20.34	18.96	17.67
11:00	931.9	22.04	22.96	17.99
11:30	958.1	23.23	23.20	20.07
12:00	964.4	26.65	22.48	18.14
12:30	954.4	23.03	21.38	17.70
13:00	930.6	19.82	20.34	17.64
13:30	884.4	19.24	19.82	17.98
14:00	826.9	18.87	19.47	18.20
14:30	769.4	18.34	18.89	17.96
15:00	694.4	18.28	18.64	18.10

Anexo 9. Comparación de eficiencias (%) de las tres cocinas solares tipo caja con el aislante térmico lana de vidrio

Horas	Irradiancia solar (W/m²)	Eficiencia (%) de la cocina C1 con 4 cm de espesor	Eficiencia (%) de la cocina C2 con 6 cm de espesor	Eficiencia (%) de la cocina C3 con 8 cm de espesor
08:00	324.4	2.66	2.28	2.15
08:30	523.1	6.43	6.70	7.18
09:00	651.9	8.94	8.33	13.03
09:30	671.9	16.22	16.13	21.72
10:00	823.1	16.11	17.68	21.01
10:30	880.6	20.23	20.38	22.65
11:00	885.6	25.41	22.27	23.30
11:30	954.4	30.14	21.24	22.70
12:00	963.1	25.14	25.20	21.91
12:30	950.6	21.58	19.75	21.01
13:00	930.6	19.87	18.62	20.13
13:30	888.1	18.99	17.98	19.40
14:00	828.1	18.30	17.49	19.06
14:30	751.9	18.00	14.24	18.94
15:00	665.6	18.59	14.27	19.15