

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
ESCUELA DE POSGRADO
Programa de Maestría en Gestión Ambiental



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

**Impacto de tres tipos de cocinas solares en el tiempo,
calidad de cocción de alimentos y reducción de CO2**

**Tesis para obtener el grado de Maestro en
Ciencias en Gestión Ambiental**

Autor:

Bach. Risco Franco, Francisco Javier
DNI. N° 32804209
Código ORCID: 0000-0002-1510-4211

Asesor:

Dr. Loayza Aguilar, Rómulo Eugenio
DNI. N° 32813194
Código ORCID. 0000-0002-1247-8277

Nuevo Chimbote - PERÚ
2025



CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

Yo, **Dr. Loayza Aguilar, Rómulo Eugenio**, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la tesis titulada: **“Impacto de tres tipos de cocinas solares en el tiempo, calidad de cocción de alimentos y reducción de CO₂”**, elaborado por el tesista **Risco franco, Francisco Javier**, para obtener el grado de **Maestro en Ciencias en Gestión Ambiental**, en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, noviembre del 2025

Dr. Loayza Aguilar, Rómulo Eugenio

Asesor

DNI: 32813194

Código ORCID: 0000-0002-1247-8277



AVAL DE CONFORMIDAD DEL JURADO

Tesis titulada: “Impacto de tres tipos de cocinas solares en el tiempo, calidad de cocción de alimentos y reducción de CO₂”, elaborado por el tesista **Risco franco, Francisco Javier**

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:

Dr. Reyes Avalos, Walter Eduardo
Presidente

DNI: 17878579

Código ORCID: 0000-0002-4277-9521

Dr. Aranguri Cayetano, Denis Javier
Secretario

DNI: 42009679

Código ORCID 0000-0002-6119-2072

Dr. Loayza Aguilar, Rómulo Eugenio
Vocal

DNI: 32813194

Código ORCID: 0000-0002-1247-8277

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

A los doce días del mes de noviembre del año 2025, siendo las 11:10 horas, en el aula P-01 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 870-2025-EPG-UNS de fecha 22.10.2025, conformado por los docentes: Dr. Walter Eduardo Reyes Avalos (Presidente), Dr. Denis Javier Aranguri Cayetano (Secretario) y Dr. Rómulo Eugenio Loayza Aguilar (Vocal); con la finalidad de evaluar la tesis intitulada: "IMPACTO DE TRES TIPOS DE COCINAS SOLARES EN EL TIEMPO, CALIDAD DE COCCIÓN DE ALIMENTOS Y REDUCCIÓN DE CO₂"; presentado por el tesista **Francisco Javier Risco Franco**, egresado del programa de Maestría en Gestión Ambiental.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 900-2025-EPG-UNS de fecha 10 de noviembre de 2025.

El presidente del jurado autorizó el inicio del acto académico; producido y concluido el acto de sustentación de tesis, los miembros del jurado procedieron a la evaluación respectiva, haciendo una serie de preguntas y recomendaciones a la tesista, quien dio respuestas a las interrogantes y observaciones.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como APROBADO, asignándole la calificación de DIECISIETE (17).


Siendo las 12:20 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.



Dr. Walter Eduardo Reyes Avalos
Presidente



Dr. Denis Javier Aranguri Cayetano
Secretario



Dr. Rómulo Eugenio Loayza Aguilar
Vocal/Asesor

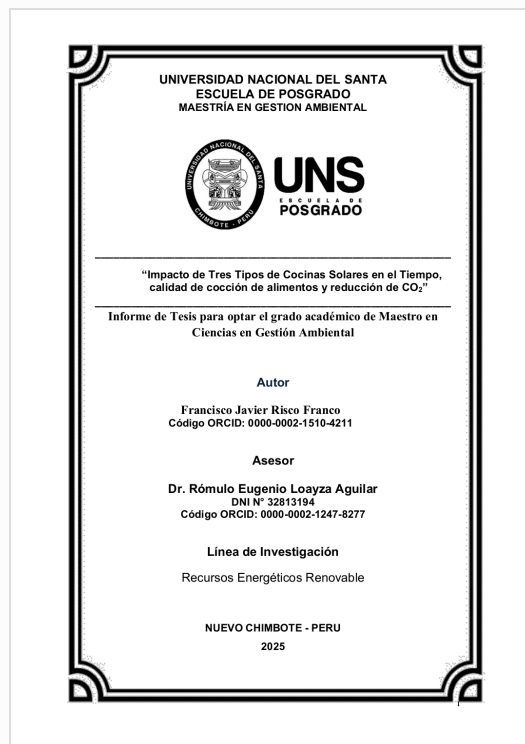


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Francisco Risco
Título del ejercicio: Informe de tesis
Título de la entrega: Informe de tesis de maestría
Nombre del archivo: Informe_de_tesis_de_maestr_a.pdf
Tamaño del archivo: 1.44M
Total páginas: 93
Total de palabras: 22,780
Total de caracteres: 114,291
Fecha de entrega: 11-nov-2025 01:50p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2811198970



Informe de tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1%
5	bdigital.uncu.edu.ar Fuente de Internet	<1%
6	Submitted to Universidad San Francisco de Quito Trabajo del estudiante	<1%
7	docplayer.es Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

En memoria de mi papá, Lorenzo Risco Barrueto por su entrega y ejemplo, de vida y superación. A mi mamá María Eloísa Franco Bouby por darme siempre su amor. A mis hijos Diana, Main, a mis nietos Frank y Jasmín por ser motivo de mi esfuerzo constante y a todos mis hermanos por su apoyo incondicional

-

Francisco Javier Risco Franco

AGRADECIMIENTOS

- A los jurados por su apoyo a mejorar este trabajo y en especial a mi asesor Dr. Rómulo Loayza Aguilar por su guía constante y valioso aporte que hicieron posible culminar este trabajo.

-

-

Francisco Javier Risco Franco

INDICE GENERAL

Capítulo I	i
Certificación del asesor	ii
Aval del jurado evaluador	iii
Resumen	xi
Abstract	xii
1. Introducción	1
1.1 Descripción y Formulación del Problema.	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Formulación de Hipótesis	3
1.4 Justificación	4
1.5 Importancia	5
Capítulo II	7
2 Marco Teórico	7
2.1 Antecedentes	7
2.2 Marco conceptual	11
2.2.1 Irradiancia solar	11
2.2.2 Irradiancia directa normal (H_b)	11
2.2.3 Irradiancia difusa	11
2.2.4 Irradiancia global	12
2.2.5 Irradiancia reflejada	12
2.2.6 Métodos de evaluación de la Irradiancia	12
2.2.7 Pirheliómetro	12
2.2.8 Piranómetro	13
2.2.9 Estimaciones satelitales	13
2.2.10 Tecnologías específicas que aprovechan la energía solar.	13
2.2.11 Cocina solar tipo caja	14
2.2.12 Principio de funcionamiento	14
2.2.13 Ventajas y limitaciones	15
2.2.14 Concentrador parabólico	15
2.2.15 Principio de funcionamiento	16

2.2.16	Ventajas y limitaciones	16
2.2.17	Cocina solar de concentrador parabólico compuesto con tubo de vacío	16
2.2.18	Principio de funcionamiento	17
2.2.19	Ventajas y limitaciones	17
2.4	Eficiencia de la cocina solar tipo caja	18
2.5	Gases de efecto invernadero	21
2.5.1	dióxido de carbono CO ₂	21
2.5.2	Metano (CH ₄)	21
2.5.3	Monóxido de carbono (CO)	22
2.5.4	Leña/ Biomasa	22
2.5.5	Gas (GLP o gas natural)	23
2.5.6	Carbón	23
2.5.7	Electricidad a base de petróleo	24
2.6	Metodología para estimar emisiones evitadas por sustitución de combustible	24
2.6.1	Definición de escenario de línea base	25
2.6.2	Definición del escenario del proyecto.	25
2.6.3	Cálculo de las emisiones de referencia (emisiones línea base)	25
2.6.4	Cálculo de las emisiones del proyecto	26
2.7	Desarrollo del impacto ambiental del uso de cocinas solares.	26
2.7.1	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero	26
2.7.2	Mejora de eficiencia energética y menores pérdidas.	26
2.7.3	Impacto de salud y calidad del aire interior	27
2.7.4	Impacto en recursos forestales y biodiversidad	27
2.7.5	Principios físicos	27
2.8	tiempo de cocción y variables que lo afectan	28
2.8.1	Definición de tiempo de cocción	28
2.8.2	Variables que afectan el tiempo de cocción	28
2.8.3	tiempos de cocción reportados en la literatura	29
2.9	Métodos de evaluación de cocinas solares.	29
2.9.1	Cocina solar tipo caja	30

2.9.2 Métrica clave	30
2.10 Cocina solar tipo concentrador parabólico.	30
2.10.1 Métrica clave	31
2.11 Cocina solar de tubo evacuado / híbridas	31
2.11.1 Métrica clave	31
Capítulo III	33
3. Metodología	33
3.1 Enfoque de la investigación	33
3.2 Método de la investigación	33
3.3 Diseño de la investigación	33
3.3.1 Diseño experimental	33
3.4 Población y muestra	35
3.4.1 Variables independientes	38
3.4.2 Variables dependiente	38
3.5 Técnica e instrumento de la investigación	41
3.6 Materiales e instrumentos	41
3.6.1 Materia prima	41
3.6.2 Insumos	41
3.6.3 Equipos de laboratorio	42
3.6.4 Materiales de laboratorio	43
3.7 Métodos De Análisis	44
3.7.1 Caracterización de la papa, zanahoria y carne de pollo	44
3.7.2 Métodos de caracterizar los productos cocidos En las cocinas solares	45
3.7.3 análisis térmico	45
3.7.4 Análisis de incertidumbre	47
3.7.5 Procedimiento para la recolección de datos	47
Capítulo IV	49
4. Resultados y Discusión	49

4.1 Papa	50
4.2 Pollo	51
4.3 Zanahoria	53
Capítulo V	77
5. Conclusiones y Recomendaciones	77
5.1 Conclusiones	77
5.2 Recomendaciones	78
Capítulo VI	79
6. Referencias bibliográficas	79
ANEXOS	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cocina solar tipo caja	14
Figura 2 Cocina tipo concentrador parabólico.	15
Figura 3 Cocina del tipo c	17
Figura 4 Aminoácidos identificados en la papa cocida en la cocina solar tipo c.	55
Figura 5 Curva característica de carga vs. Tiempo, papa. Cocina tipo c.	55
Figura 6 Curva característica de carga vs. Tiempo, papa. Cocina tipo b.	56
Figura 7 Curva característica de carga vs. Tiempo, papa. Cocina tipo a	56
Figura 8 Curva característica de carga vs. Tiempo, papa. Cocina tipo a	56
Figura 9 Curva característica de carga vs. Tiempo, zanahoria. Cocina tipo a.	57
Figura 10 Curva característica de carga vs. Tiempo, papa. Cocina tipo a	57
Figura 11 Curva característica de carga vs. Tiempo, zanahoria. Cocina tipo c	57
Figura 12 Curva característica de carga vs. Tiempo, zanahoria. Cocina tipo b	58
Figura 13 Curva característica de carga vs. Tiempo, Zanahoria. Cocina tipo a	58
Figura 14 Curva característica de carga vs. Tiempo, pollo. Cocina tipo b	58
Figura 15 Espacio de diseño	61
Figura 16 Respuesta 1: Calidad sensorial	63
Figura 17 Dureza	65
Figura 18 Emisión evitada de CO ₂	67
Figura 19 Todas las respuestas	68
Figura 20 Todas las respuestas	69
Figura 21 Todas las respuestas	71
Figura 22 Variación de temperatura vs. Hora local	74
Figura 23 Eficiencia térmica de la cocina solar concentrador parabólico.	75
Figura 24 Eficiencia térmica de la cocina solar tipo caja.	75

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1 Comparativo entre tipos de cocinas solares.	18
Tabla 2 Diseño de experimentos según el Design Expert corridas.	34
Tabla 3 Operacionalización de las variables de estudio.	36
Tabla 4 Análisis Proximal de la zanahoria, papa y pollo (Sin cocción) en 100g	49
Tabla 5 Análisis Proximal de la zanahoria, papa y pollo (Cocido)	49
Tabla 6 Resultados del análisis de aminoácidos por el método de UHPLC en las muestras de los alimentos cocidos en la cocina tipo c	53
Tabla 7 Información del diseño	59
Tabla 8 Corridas experimentales	59
Tabla 9 Factores	60
Tabla 10 Respuestas	60
Tabla 11 Respuesta 1: Calidad sensorial	61
Tabla 12 Respuesta 2: Dureza	63
Tabla 13 Respuesta 3: Emisión de CO ₂	65
Tabla 14 Optimización para el alimento “Zanahoria”	67
Tabla 15 Soluciones	67
Tabla 16 Optimización para el alimento “Papa”	68
Tabla 17 Soluciones	69
Tabla 18 Optimización para el alimento “Pollo”	70
Tabla 19 Soluciones	70
Tabla 20 Resultados del análisis de metales en los alimentos, cocidos por la cocina tipo c	71
Tabla 21 Factores equivalentes en kg de CO ₂ por cada GJ producido Al quemar combustible	73
Tabla 22 Alimentos cocidos por una cocina convencional	73
Tabla 23 Alimentos cocidos por las cocinas solares	74

RESUMEN

Uno de los sectores que aporta gran cantidad de gases de efecto invernadero al calentamiento global son las cocinas convencionales de las familias que durante la cocción de los alimentos; porque utilizan combustibles sólidos, líquidos y gaseosos; sólidos como la madera, líquido como el gas natural, GLP y otros desechos de biomasa. Mayormente en estufas de muy baja eficiencia térmica y ambientes que no son los adecuados, produciendo deterioro en la salud familia al aspirar los gases y partículas como resultado de la combustión al preparar sus alimentos. La solución a este problema es el uso de otra fuente de energía, que sea limpia con el medio ambiente y sostenible en el tiempo. Esta fuente energética es la energía solar Por lo que se planteó el siguiente problema. cuál es el impacto de tres tipos de cocinas solares en el tiempo, calidad de cocción de alimentos y reducción de CO₂, los objetivos fueron, analizar el impacto de tres tipos de cocinas solares en el tiempo, calidad de cocción de alimentos y reducción de CO₂. Y se siguió el siguiente procedimiento para la construcción de una cocina tipo caja a fin de evaluar el tiempo, calidad de cocción y principalmente emisión de CO₂ para lo cual se preparó las muestras pollo, papa y zanahorias mediante un procesamiento mínimo obteniéndose como resultados de emisión de CO₂ para la papa 0,093 m³, para zanahoria 0,098m³ y para el pollo 0.036m³.con respecto al tiempo de cocción para la papa, zanahoria y pollo fue de 37,40,14minutos respectivamente. Con estos resultados se concluye que la emisión de CO₂ disminuye en un 50% con respecto a las cocinas tradicionales, el tiempo de cocción disminuye respecto a la cocina tradicional y la calidad de los alimentos respecto a su composición proximal pierde, pero menos que la cocina tradicional.

PALABRAS CLAVE: Cocinas solares, calentamiento global, cocción de alimentos.

ABSTRACT

One of the sectors that contributes a large amount of greenhouse gases to global warming is conventional family stoves. These stoves use solid, liquid, and gaseous fuels—solid fuels such as wood, liquid fuels such as natural gas, LPG, and other biomass waste—during cooking. These stoves are mostly used in stoves with very low thermal efficiency and in unsuitable environments, causing deterioration in family health by inhaling gases and particles resulting from combustion while preparing food. The solution to this problem is the use of another energy source that is environmentally friendly and sustainable over time. This energy source is solar energy. Therefore, the following problem was posed: What is the impact of three types of solar cookers on time, food cooking quality, and CO₂ reduction? The objectives were to analyze the impact of three types of solar cookers on time, food cooking quality, and CO₂ reduction. And the following procedure was followed for the construction of a box-type kitchen in order to evaluate the time, cooking quality and mainly CO₂ emission for which the samples chicken, potato and carrots were prepared through minimal processing obtaining as results of CO₂ emission for potato 0.093 m³, for carrot 0.098 m³ and for chicken 0.036 m³. with respect to the cooking time for potato, carrot and chicken was 37, 40, 14 minutes respectively. With these results it is concluded that the CO₂ emission decreases by 50% with respect to traditional kitchens, the cooking time decreases with respect to traditional cooking and the quality of the food with respect to its proximal composition loses but less than traditional cooking

KEY WORDS: Solar cookers, global warming, food cooking

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.

1.1 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

El uso de combustibles tradicionales como leña, keroseno y Gas licuado de petróleo en cocinas domésticas representa una de las principales fuentes de contaminación ambiental y problemas de salud pública en países en desarrollo; según la OMS (2018), más del 40% de la población mundial aún depende de estos combustibles generando emisiones contaminantes. La combustión incompleta en la cocción de alimentos libera partículas PM2.5, como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), entre otros, responsables del 7.7% de las muertes prematuras anuales (GBD, 2019); debido al uso de leña para la combustión, se ocasiona el 15% de la pérdida de bosques en el Perú (MINAM, 2021), empeorando la crisis climática; por otro lado las cocinas tradicionales aprovechan solo el 10-20% de la energía generada (Duffie & Beckman, 2020), desperdiciando recursos y aumentando la pobreza energética.

Los factores que agravan esta realidad son: a) el acceso limitado a los recursos y la pobreza; representando el 60% de las familias rurales en Latinoamérica, que destina hasta el 30% de sus ingresos a comprar combustibles (OLADE, 2022). b) Políticas públicas, solo el 20% de los países en desarrollo, en relación a mitigar el efecto invernadero, tienen programas efectivos para promover energías limpias en cocción (IEA, 2021). La cocción de alimentos contribuye al calentamiento global, problema ambiental que causa el cambio climático, en el que las cocinas tradicionales emiten 1.9 GT de CO₂ anuales (IPCC, 2021), equivalente al 5% de las emisiones globales, el uso de leña en la cocción de alimentos reduce la biodiversidad aumentando la desertificación y degradando los ecosistemas (FAO, 2020).

La exposición al humo causa enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), cáncer de pulmón y reduce el peso al nacer (Gordon et al., 2018); por otro lado, las mujeres y niños dedican 20 horas semanales a recolectar leña (UNDP, 2022), limitando su acceso a educación y otras actividades más rentables para ellos, los gastos en salud asociados a la contaminación intradomiciliaria superan los 150 mil millones anuales de dólares (World Bank, 2020).

Cocinar es una actividad humana fundamental; sin embargo, las fuentes de energía utilizadas para esta necesidad diaria varían ampliamente en Perú, las Américas, la India, Asia, China y Europa con importantes implicaciones para la salud pública, la sostenibilidad ambiental y el desarrollo económico, las zonas urbanas dependen cada vez más del gas licuado de petróleo (GLP) o gas natural (GN) y la electricidad, las regiones rurales, en particular en Perú y Centroamérica, siguen dependiendo en gran medida de la biomasa, como la leña y el carbón vegetal.

En Perú, la matriz energética para cocinar refleja una marcada brecha entre zonas urbanas y rurales; en las zonas urbanas el gas licuado de petróleo predomina, representando el 75% del consumo doméstico, seguido de la electricidad (15%) y el gas natural (10%) (INEI, 2021); por otro lado, en las zonas rurales la biomasa, principalmente leña y residuos agrícolas, abastece al 60% de los hogares, mientras que el GLP solo lo utiliza el 30% (MINAM, 2022).

En este contexto, la dependencia de la biomasa en las zonas rurales de Perú contribuye a la contaminación del aire en interiores, vinculada a enfermedades respiratorias como la neumonía infantil (OMS, 2018). La deforestación para obtener leña agrava la erosión del suelo y la pérdida de biodiversidad, especialmente en la sierra andina y la Amazonía (FAO, 2020).

En las Américas, las fuentes de energía para cocinar varían según el nivel de ingresos y la infraestructura; por ejemplo, en EE. UU. y Canadá utilizan predominantemente electricidad y gas natural, con una dependencia mínima de la biomasa, en América Central (Guatemala, Honduras, Nicaragua) utilizan leña y sigue siendo el combustible principal para el 50-70% de los hogares rurales (OLADE, 2022); en Brasil y Colombia, las zonas urbanas utilizan gas licuado de petróleo, mientras que las comunidades rurales dependen del carbón vegetal y la leña.

Las cocinas solares utilizan energía renovable gratuita, lo que elimina los costos de combustible y las emisiones, que se alinean con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de la ONU: ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) y ODS 13 (Acción por el clima) y la Política Energética Nacional del Perú que promueve las energías renovables para reducir las importaciones de GLP (MINEM, 2023). La solución a los problemas aludidos es el uso de la energía solar, que es limpia con el medio ambiente y sostenible en el tiempo.

Se plateó como problema ¿Cuál sería el Impacto de Tres Tipos de Cocinas Solares en el Tiempo, calidad de cocción de alimentos y reducción de CO₂?

1.2 OBJETIVOS.

1.2.1 Objetivo General

El objetivo principal de esta investigación es analizar el impacto de tres tipos de cocinas solares (tipo caja, tipo concentrador parabólico, tipo concentrador parabólico compuesto con tubo de vacío) en el tiempo, calidad de cocción de alimentos y reducción de CO₂.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Comparar la eficiencia térmica (% de energía solar aprovechada) de las tres cocinas solares
- b) Determinar el tiempo de cocción.
- c) Analizar la calidad de cocción de los alimentos de tres cocinas solares.
- d) Cuantificar la reducción del CO₂ por uso de cocinas solares.
- e) Proponer recomendaciones para masificar el uso de cocinas solares en zonas rurales.

1.3 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

1.3.1 Hipótesis general: Existe una diferencia significativa en el tiempo de cocción, la calidad de los alimentos y la reducción de emisiones de CO entre los tres tipos de cocinas solares (tipo caja, concentrador parabólico y concentrador compuesto más tubo de vacío o evacuado); además, se formularon las siguientes hipótesis:

1.3.2 Hipótesis específicas:

- H₁: La cocina solar de concentrador compuesto más tubo de vacío o evacuado reduce significativamente el tiempo de cocción en comparación con las cocinas de concentrador parabólico y de caja.
- H₂: La calidad de cocción de los alimentos es superior en la cocina de tubo evacuado en comparación con las otras dos.
- H₃: El uso de cocinas solares disminuye significativamente las emisiones de CO en comparación con el método de cocción usando gas natural.

1.4 JUSTIFICACIÓN.

El uso de combustibles tradicionales como la leña, keroseno, y GLP en las cocinas de muchas familias, especialmente en áreas rurales, genera serios problemas de salud debido a la liberación de partículas finas (PM2.5) y gases contaminantes, como el monóxido de carbono (CO), que se aspiran durante la cocción (Dufrou et al., 2012). Según la OMS (2018), millones de personas en todo el mundo mueren prematuramente por enfermedades respiratorias relacionadas con el uso de estas fuentes de energía. La introducción masiva de cocinas solares tipo concentrador, que funcionan sin combustibles fósiles, ayudaría a reducir estas enfermedades respiratorias y mejoraría la calidad de vida de las familias al eliminar la exposición a contaminantes (Lecuona et al., 2013, p. 1136). Además, esta tecnología promueve la equidad social al ofrecer a las comunidades rurales una fuente de energía limpia, gratuita y sostenible para cocinar sus alimentos, aliviando también el trabajo pesado que implica la recolección de leña (Duffie & Beckman, 2020, pp 604-619). Desde una perspectiva económica, la transición hacia cocinas solares tipo concentrador reduciría el gasto en combustibles como GLP o leña, que representan un porcentaje significativo del presupuesto familiar en áreas rurales y de bajos ingresos. Este ahorro permitiría a las familias destinar esos recursos a otras necesidades básicas como educación o salud; además, el uso de energía solar, que es gratuita y abundante en muchas regiones de Perú, contribuiría a la autosuficiencia energética, disminuyendo la dependencia de combustibles externos. A nivel macroeconómico, la reducción de la demanda de combustibles fósiles también beneficiaría la balanza comercial del país al reducir la importación de combustibles. La implementación masiva de cocinas solares generaría empleo en sectores como la manufactura, distribución y mantenimiento, favoreciendo el desarrollo económico local.

La teoría detrás de la cocina solar tipo concentrador se basa en la captación y concentración de la radiación solar mediante superficies reflectoras, que permiten alcanzar temperaturas adecuadas para la cocción de alimentos sin la necesidad de combustibles fósiles. Este tipo de tecnología encaja perfectamente dentro del marco del desarrollo sostenible, al promover una fuente de energía renovable y limpia. Se busca soluciones energéticas que aborden problemas

tanto ambientales como sociales a largo plazo; la energía solar ofrece una solución alineada con la sostenibilidad ambiental y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, que son uno de los principales contribuyentes al cambio climático; este enfoque también responde a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de la ONU, (2015) específicamente el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) y el ODS 13 (Acción por el clima). La implementación masiva de cocinas solares tipo concentrador contribuiría de manera significativa a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, mejoraría la salud pública al reducir la exposición a contaminantes domésticos; además, permitiría a las familias rurales alcanzar una mayor autonomía energética y mejorar su bienestar económico. Esta solución se alinea con principios de sostenibilidad, equidad social y eficiencia económica, además de estar respaldada por un sólido fundamento teórico en energías renovables (Duflou et al., 2012).

1.5 IMPORTANCIA.

El estudio comparativo de tres tipos de cocinas solares en cuanto a calidad de cocción, tiempo de cocción y reducción de CO es crucial por las siguientes razones, basadas en el análisis económico, ambiental y social. En cuanto a Calidad de cocción: La eficiencia térmica de cada diseño afecta directamente la capacidad para cocinar alimentos de manera uniforme y segura. Por ejemplo, las cocinas de concentrador pueden alcanzar temperaturas más altas que las de tipo caja, lo que podría mejorar la calidad en platos que requieren mayor calor. Una evaluación comparativa permitiría identificar qué tecnología se adapta mejor a las necesidades culinarias locales, facilitando su adopción en comunidades rurales. Tiempo de cocción: El tiempo influye en la viabilidad práctica. Cocinas más rápidas (como las de concentrador) pueden reducir la carga de trabajo, especialmente para mujeres y niños, quienes suelen dedicar horas a recolectar leña. Un estudio comparativo ayudaría a optimizar diseños para equilibrar eficiencia y costos, asegurando que la tecnología sea accesible y útil en contextos de bajos recursos. Reducción de CO y otros contaminantes: Las cocinas solares eliminan emisiones de CO y partículas PM2.5 asociadas a combustibles tradicionales (leña, keroseno), responsables de enfermedades respiratorias (OMS, 2018). Comparar los tres tipos de cocinas solares permitiría cuantificar

su impacto ambiental diferencial. Por ejemplo, aunque todas reducen CO₂, algunas podrían ser más eficientes en zonas con menor radiación solar, maximizando la mitigación del cambio climático. El análisis de estos tres aspectos en diferentes cocinas solares es esencial para diseñar políticas públicas e inversiones que prioricen la tecnología más adecuada según el contexto geográfico y cultural. Esto no solo optimizaría beneficios en salud y economía, sino que también aceleraría el cumplimiento de los ODS 7 y 13, respaldando un desarrollo verdaderamente sostenible.

La irradiancia solar es un recurso fundamental para la transición energética global, y su estudio es clave para la implementación de tecnologías sostenibles como las cocinas solares. Las cocinas solares presentan ventajas significativas, como la reducción del uso de combustibles fósiles, la mejora de la salud y la protección del medio ambiente. A través de los estudios de casos en diferentes regiones del mundo, se evidencia que estas tecnologías tienen el potencial de mejorar la calidad de vida de millones de personas, aunque su implementación requiere superar desafíos como el costo inicial, la educación comunitaria y la infraestructura de apoyo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.

2.1 Antecedentes.

Aramesh et al., (2019, pp 419) manifiesta que uno de los factores que afectan la cantidad de consumo de energía mundial son la cocción de alimentos y por ende la emisión de gases de efecto invernadero; hace un análisis de la tecnología actual de las cocinas solares, puntos de vista de viabilidad social y económica de los diferentes tipos de cocinas solares.

Harmim et al., (2013, p. 422) presentan en su trabajo la construcción y evaluación del desempeño de una nueva cocina solar de tipo caja sin bastidor, el diseño geométrico óptimo de la cocina fue optimizado para la ciudad de Adrar, que se encuentra en el Sahara argelino, el prototipo está construido con materiales disponibles localmente y medios rústicos, está equipado con un concentrador parabólico compuesto asimétrico fijo (CPC) como reflector de refuerzo y su placa absorbente tiene forma de escalón, las diversas pruebas realizadas en las condiciones climáticas reales de Adrar demostraron su eficacia para cocinar dos comidas al día para una familia de cuatro personas, durante las pruebas en condiciones sin carga de la cocina con su reflector, la temperatura máxima de la placa absorbente alcanzó 166 °C y 165 °C en la estación cálida y fría respectivamente; sin su reflector, la temperatura máxima de la placa absorbente alcanzó 127,7 °C en la estación fría. El rendimiento de la cocina se calificó utilizando la primera figura de mérito ($F_1 = 0,152$) y la segunda figura de mérito ($F_2 = 0,470$). Según el procedimiento estándar internacional, la potencia de cocción normalizada es de 78,9 W. Este sistema permanece en una posición estacionaria durante todo el período de cocción; se puede integrar en la pared de la cocina de un edificio y se puede utilizar sin tener que salir a tomar el sol.

Sosa et al., (2014, p. 1593) presentaron un estudio integral de transferencia de tecnología, basado en el desarrollo de varios prototipos de cocinas solares, todas ellas de diseño y construcción propios, cuya funcionalidad es la de componer concentradores parabólicos de revolución, se realizó el proyecto para implementar esta ecotecnología, el prototipo implementado utiliza reflectores de aluminio pulido espejo, dispositivo de seguimiento manual de ollas de presión de aluminio e inclinación solar; con el apoyo de programas sociales, se implementaron 70

cocinas solares en una comunidad indígena de Michoacán, México; previamente se realizó un diagnóstico del consumo de recursos maderables en cada familia beneficiaria; asimismo, se realizaron pruebas de cocción con diversas parcelas prototipo para seleccionar la mejor con características térmicas y ergonómicas. se esperó reducir en un 30% el consumo de madera como combustible utilizado para cocinar; incentivar el uso de energías renovables, mitigar enfermedades respiratorias causadas por la inhalación de humo de combustión y ayudar a la economía familiar; actualmente se trabaja con el monitoreo para cuantificar las mejoras logradas en el consumo-apropiación y existe un manual de usuario de mantenimiento y construcción de cocinas solares en lengua indígena y este estudio quiere ser la base para futuras implementaciones de Eco tecnologías.

Mbodji & Hajji, (2016, p. 1-40) estudió experimentalmente el rendimiento de un concentrador solar parabólico de cocción, donde destaca brevemente las pruebas de rendimiento estándar de las cocinas solares y presenta un dispositivo experimental, fabricado con medios simples utilizando materiales locales que consiste en un concentrador parabólico, los resultados muestran que el uso de aceite sintético como medio de transferencia de calor ha logrado una temperatura máxima de 153 °C contra 97 °C con agua; el coeficiente de pérdida de calor general estimó en $17,6 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ y las eficiencias térmicas y de exergía son 29,0–2,4% respectivamente; la adición de una cubierta de vidrio en la cara frontal del absorbedor mejoró la temperatura máxima en 15 °C; el sistema automático de seguimiento solar de dos ejes también aumentó la temperatura máxima en 13 °C en comparación con el sistema de seguimiento manual.

Zhao et al., (2018, p. 262) expresaron que las cocinas solares utilizan energía limpia y accesible para cocinar los alimentos, ofrecen a los usuarios una nueva opción para hacerlo al aire libre; sin embargo, manifiestan que las cocinas solares disponibles actualmente tienen algunas debilidades; como, ser demasiado grandes para transportarlas, tener una temperatura de calentamiento baja y un tiempo de cocción demasiado largo, para superar estos problemas, plantean una nueva cocina solar portátil que utiliza una lente curva Fresnel como concentrador, enfocaron la luz solar sobre un colector de tubo de vacío para cocinar los alimentos, tiene una alta relación de concentración y permite rastrear el sol tanto en ángulos cenital y azimutal de forma manual, por lo que es posible obtener una temperatura de

cocción más elevada acortando el tiempo de cocción; también, presentaron la estructura y el principio de funcionamiento del dispositivo; los resultados indican que cuando la irradiancia directa es $I_b = 712 \text{ W/m}^2$ la temperatura media más alta obtenida del sistema sin carga puede alcanzar unos $361 \text{ }^\circ\text{C}$, el rendimiento de la cocina solar donde se han probado cuatro tipos de alimentos representativos de $0,5 \text{ kg}$, a saber, batata, cerdo (todo magro), ñame y rábano, se muestra que el tiempo de cocción del cerdo es el más corto (solo 34 min) y el del rábano es el más largo (64 min), todos los alimentos cocinados alcanzan el estándar comestible.

Hebbar et al., (2021, p. 1) dice, una cocina solar es un dispositivo simple y de cero emisiones que cocina alimentos y hierve agua utilizando únicamente la energía luminosa del sol; un colector solar de tubos de vacío es esencialmente un sellado al vacío entre dos capas de vidrio que reduce drásticamente la pérdida de calor al medio ambiente, en este trabajo, muestran el diseño de un dispositivo de cocina de cero emisiones con un tiempo de cocción reducido y un bajo costo de mantenimiento en comparación con otras cocinas solares convencionales, la olla de cocción es una disposición de dos cilindros concéntricos huecos hechos de acero inoxidable, el espacio entre los cilindros se llenará con fluido de transferencia de calor (HTF), los tubos de cobre llenos de material de cambio de fase (PCM) se colocan diametralmente en la olla de cocción exterior, lo que permite cocinar fuera de las horas de sol, el fluido de transferencia de calor de la olla de cocción está conectado a los tubos de vacío mediante mangueras, esta disposición agregará calor al fluido de transferencia de calor dentro del tubo de vacío y el fluido caliente ascenderá hacia la olla de cocción desde el tubo de vacío mediante un ciclo de termosifón y transferirá el calor a la olla de cocción y al material de cambio de fase.

Lecuona et al., (2013, p. 1136) en este trabajo se revisan aspectos relevantes de la cocina solar con el fin de definir y evaluar un diseño innovador de una cocina solar portátil del tipo parabólico de concentración estándar que incorpora un utensilio de almacenamiento térmico diario, este utensilio está formado por dos ollas de cocción cilíndricas coaxiales convencionales, una interna y otra externa de mayor tamaño el espacio vacío entre las dos ollas coaxiales se rellena con un material de cambio de fase formando una camisa intermedia el conjunto se simula

térmicamente mediante diferencias finitas 1-D, utiliza un modelo de elementos concentrados con correlaciones de transferencia de calor convectivo para el comportamiento interno del utensilio, sometido a radiación externa, este modelo numérico se utiliza para estudiar su comportamiento transitorio para las condiciones climáticas de Madrid, y se valida con datos experimentales; se han comprobado dos opciones como posibles PCM, parafina de grado técnico y eritritol, los resultados indican que es posible cocinar el almuerzo para una familia simultáneamente con almacenamiento de calor a lo largo del día guardar después el utensilio dentro de una caja aislante en el interior permite cocinar la cena con el calor retenido y también el desayuno del día siguiente, esto amplía la aplicabilidad de la cocina solar.

Xue et al., (2024, p. 1-17) dice la energía necesaria para la supervivencia humana se deriva directa o indirectamente de la radiación solar, por lo que es importante investigar las fluctuaciones periódicas de la radiación solar global a lo largo del tiempo, en este estudio, se seleccionaron seis ciudades (Harbin, Shenyang, Pekín, Shanghái, Wuhan y Cantón) ubicadas en las áreas utilizables de energía solar en China, y se investigó la periodicidad de la radiación solar global diaria de estas seis ciudades con el tiempo mediante un análisis del espectro de potencia wavelet; además, se seleccionó Harbin, que tiene el promedio mensual más bajo de radiación solar global en el frío del invierno, para explorar la relación de evolución temporal entre la radiación solar global y otros factores meteorológicos, y factores de calidad del aire mediante un análisis de coherencia wavelet, entre los factores meteorológicos, la correlación entre la radiación solar global y la duración de la luz solar exhibe el mayor nivel de consistencia, la radiación solar global demuestra una asociación positiva con la temperatura atmosférica, velocidad del viento, precipitación durante el ciclo anual; por el contrario, muestran una correlación negativa con la presión atmosférica durante este período de tiempo; además, en escalas de tiempo más cortas, la radiación solar global está correlacionada negativamente con la humedad del aire y la precipitación; entre los factores de calidad del aire, la relación entre la radiación solar global y los componentes: CO, NO₂, O₃, PM_{2.5}, PM₁₀ y SO₂ se manifiesta principalmente en la escala de tiempo del ciclo anual más amplia, en este contexto, la radiación solar global muestra una correlación positiva con el O₃,

mientras que muestran asociaciones negativas con los otros cinco indicadores de calidad del aire; estos hallazgos, contribuyen a la planificación ambiental urbana y a la gestión y utilización efectivas de la radiación solar, proporcionando así información valiosa para orientar el desarrollo futuro de proyectos integrales de utilización de energía trans-regional en diversas condiciones climáticas y geográficas, además, sirven como referencia para investigaciones posteriores destinadas a mejorar la precisión de los modelos de predicción de la radiación solar global.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Irradiancia solar

La irradiancia solar se refiere a la cantidad de energía que llega a una superficie por unidad de área y se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2). Es un parámetro esencial para dimensionar sistemas solares y evaluar el rendimiento de dispositivos que dependen de la radiación solar, como las cocinas solares y los paneles fotovoltaicos. La irradiancia solar varía según varios factores, entre ellos, la latitud, la hora del día, la estación del año y las condiciones atmosféricas (Duffie & Beckman, 2020, p. 76)

2.2.2 Irradiancia directa normal (H_b)

La irradiancia directa es la componente de la radiación solar que llega directamente desde el sol sin haber sido dispersada. En días despejados la más intensa y la más importante para dispositivos como los concentradores solares, que dependen de la luz directa para generar altas temperaturas, la irradiancia directa varía considerablemente con la altitud y los periodos estacionales. En regiones desérticas, donde el aire es seco y hay menos nubes, la irradiancia directa es mayor (Duffie & Beckman, 2020, p. 80).

2.2.3 Irradiancia difusa

La irradiancia difusa, en contraste, es la radiación solar que ha sido dispersada por moléculas y partículas en la atmósfera antes de llegar a la superficie terrestre. En días nublados o parcialmente nublados, la mayor cantidad de radiación solar que llega a la Tierra es de tipo difuso. Aunque la irradiancia difusa tiene menos intensidad, es importante para sistemas de

energía solar que no requieren un seguimiento exacto del sol, como las cocinas solares de panel o tipo caja (Marino et al., 2024, p. 1-14).

2.2.4 Irradiancia global

La irradiancia global es la suma de la irradiancia directa más la difusa en una superficie horizontal. Es un indicador que permite evaluar el potencial solar de una región. La irradiancia global es crucial para el diseño de sistemas fotovoltaicos y cocinas solares que funcionan sin concentrar la luz solar (Zhou et al., 2023, p. 1-17).

2.2.5 Irradiancia reflejada

Finalmente, la irradiancia reflejada se refiere a la radiación solar que ha sido reflejada desde la superficie terrestre o estructuras, como el agua o los edificios. La cantidad de radiación reflejada depende del albedo, que es la capacidad de una superficie para reflejar la luz. Las superficies claras y reflectantes, como el hielo o la nieve, tienen un albedo alto, mientras que las superficies oscuras, como los suelos o el asfalto, tienen un albedo bajo. Este concepto es particularmente importante en regiones con nieve, donde la irradiancia reflejada puede contribuir significativamente a la energía disponible (Sosa et al., 2014, p. 1594)

2.2.6 Métodos de evaluación de la irradiancia.

Existen varios métodos para evaluar la irradiancia solar en un sitio específico, que van desde mediciones directas hasta simulaciones basadas en modelos atmosféricos y datos satelitales. Estos métodos son esenciales para el diseño y la implementación de proyectos solares, incluidos los sistemas de cocción solar.

2.2.7 Pirheliómetro

Es un instrumento que mide la irradiancia solar directa. Este dispositivo es capaz de captar solo la irradiancia directa procedente del sol, excluyendo la difusa. Los pirheliómetros se utilizan en estaciones meteorológicas y en investigaciones solares para obtener datos precisos sobre la irradiancia

directa normal (DNI), lo cual es crucial para el diseño de concentradores solares parabólicos (Duffie & Beckman, 2020, p. 44).

2.2.8 Piranómetro

Es un instrumento que mide la irradiancia global, incluyendo tanto la irradiancia directa como la difusa, es uno de los dispositivos más utilizados para monitorear el potencial solar de un lugar, ya que proporciona un valor total de la energía solar recibida en una superficie horizontal. Los piranómetros se colocan en estaciones solares y proporcionan datos útiles para diseñar tanto sistemas fotovoltaicos como cocinas solares (Duffie & Beckman, 2020, p. 48).

2.2.9 Estimaciones satelitales

Las estimaciones satelitales de la irradiancia solar proporcionan una visión general del recurso solar en regiones donde no existen estaciones de medición. Los satélites miden la radiación solar que llega a la atmósfera superior y utilizan modelos para estimar cuánta energía llega a la superficie terrestre después de atravesar la atmósfera. Este tipo de estimaciones es especialmente útil en estudios a gran escala o en regiones donde las mediciones directas son costosas o inviables (Gueymard, 2012, p. 2147-2152).

2.2.10 Tecnologías específicas que aprovechan la energía solar.

Una cocina solar es un artefacto que aprovecha la radiación solar para calentar, cocinar, hornear o pasteurizar alimentos o agua, sin requerir combustibles convencionales (leña, gas, carbón) durante su operación, se basa en los principios de absorción de radiación solar, su conversión a calor, almacenamiento o confinamiento térmico, y transferencia de ese calor al recipiente que contiene el alimento; las cocinas solares se clasifican principalmente en función de su óptica (cómo capturan o concentran la radiación) y su construcción (caja, paneles reflectores, concentrador parabólico, tubos evacuados, etc.) (Ceviz et al, 2024)

A continuación, se describen los tres tipos principales de cocinas solares: las de caja, las parabólicas y las de panel.

2.2.11 Cocina solar tipo caja.

La cocina solar de caja es una de las tecnologías más difundidas debido a su simplicidad y bajo costo. Consiste en una caja rectangular con una tapa transparente, generalmente de vidrio, que permite la entrada de la radiación solar. Las paredes internas de la caja están aisladas para retener el calor y pintadas de negro para maximizar la absorción de la radiación. Este tipo de cocina funciona con irradiancia global, lo que significa que no es necesario seguir el movimiento del sol (Regattieri et al., 2016, p. 320). La temperatura máxima en una cocina solar tipo caja suele rondar entre 120°C y 165 °C, lo que es suficiente para la cocción de alimentos e, incluso hornear (Saxena et al., 2011, p. 3305). Podemos observar en la siguiente figura No. 01:

Figura 1

Cocina solar tipo caja



2.2.12 Principio de funcionamiento

- La radiación solar incide sobre los reflectores y/o sobre la superficie de la caja.
- Los reflectores redirigen los rayos hacia la caja, aumentando la irradiancia dentro de la cámara.
- La cubierta transparente permite que la radiación pase y se absorba en el interior (olla de color negro mate en el fondo de la caja).

- El calor generado se retiene gracias al aislamiento de las paredes de la caja y al efecto invernadero de la cubierta transparente (la radiación de onda corta entra, la longitud de onda más larga emitida por el interior tiende a permanecer).
- El alimento se cocina al calor generado en la olla o recipiente y al tiempo que se mantenga la temperatura útil.

2.2.13 Ventajas y limitaciones

- Bajo costo de fabricación.
- Fácil de usar y mantener.
- Puede cocinar una variedad de alimentos, incluyendo panes, estofados y arroz.
- Tiempo de cocción más largo en comparación con métodos convencionales.
- No es ideal para freír o hervir grandes cantidades de agua debido a las temperaturas relativamente bajas.

2.2.14 Concentrador parabólico

Las cocinas solares parabólicas utilizan un reflector parabólico que concentra los rayos solares en un punto focal, donde se coloca el recipiente de cocción. Este diseño permite alcanzar temperaturas mucho más altas que las cocinas de caja, con rangos que pueden superar los 250°C. Son ideales para métodos de cocción que requieren altas temperaturas, como freír, hervir y asar (Sosa et al., 2014, p. 1594). En la siguiente figura 2 podemos observar un modelo:

Figura 2

Cocina tipo concentrador parabólico



2.2.15 Principio de funcionamiento

- El reflector parabólico capta los rayos solares paralelos (o próximos de paralelos) y los redirige hacia el foco de la parábola.
- El recipiente se coloca en ese foco, concentrando la energía en él.
- Se genera calor elevado en el recipiente, permitiendo ebullición, fritura o cocción rápida.
- Puede requerir ajuste constante del reflector para mantener la orientación al sol (seguimiento).
- Algunos diseños incorporan almacenamiento térmico para uso fuera del sol directo.

2.2.16 Ventajas y limitaciones

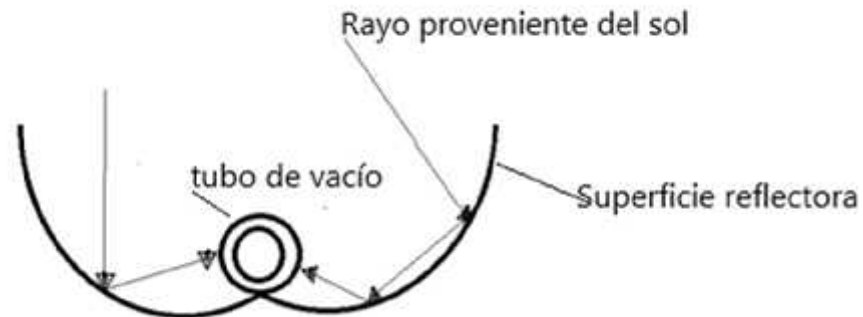
- Alta eficiencia térmica.
- Tiempo de cocción más rápido que las cocinas de caja.
- Capacidad para freír y hervir.
- Requiere seguimiento constante del sol para mantener la concentración óptima de los rayos solares.
- Costo de fabricación más elevado.
- Mayor complejidad en su diseño y mantenimiento.

2.2.17 Cocina solar de concentrador parabólico compuesto con tubo de vacío.

La cocina solar de concentrador parabólico compuesto y tubo de vacío combina aspectos de la cocina tipo concentrador y tubo de vacío como foco. Utiliza una geometría reflectora que concentra la radiación en el tubo de vacío el recipiente de cocción ubicado en el centro es el tubo de vacío. Estos dispositivos son relativamente fáciles de construir y mantener, y son más eficientes que las cocinas de caja concentrador parabólico y logran altas temperaturas (Ceviz et al, 2024)

Figura 3

Cocina del tipo c (concentrador parabólico compuesto con tubo de vacío)



2.2.18 Principio de funcionamiento.

- Los tubos evacuados captan radiación solar, la cual es absorbida por un revestimiento interno oscuro.
- El vacío o aislamiento reduce las pérdidas convectivas y conduce el calor al interior del tubo o al recipiente.
- En algunos diseños, el tubo está asociado a un reflector parabólico que concentra aún más la radiación.
- El calor generado se transfiere al recipiente o al fluido que contiene los alimentos.

2.2.19 Ventajas y limitaciones

- Diseño simple y accesible.
- Menor costo de producción que las cocinas parabólicas.
- Mayor eficiencia térmica comparada con las cocinas parabólicas.
- Dependen de la irradiancia global, lo que las hace más eficientes en días nublados.

Tabla 1

Comparativo entre tipos de cocinas solares.

Tipo	Temperatura típica / capacidad	Simplicidad	Seguimiento requerido	Volumen de cocción	Adecuado para
Caja	~80-150 °C (algunos modelos hasta ~200 °C)	Alta (fácil de fabricar)	Bajo o medio (reorientación ocasional)	Media-alta (varios recipientes)	Cocción doméstica, horneado lento
Parabólica	>200-300 °C, a veces >400 °F (~200-250 °C)	Media-baja (más compleja)	Alto (seguimiento frecuente)	Menor (olla única)	Ebullición rápida, fritura, procesos intensivos
Tubo evacuado	Cercana a concentradores, dep. diseño	Media	Medio-alto (si reflector)	Variable	Innovaciones, uso fuera-grid

2.4 Eficiencia de la cocina solar tipo caja.

La evaluación de una cocina solar tipo caja requiere la solución de la Ecuación de Poisson en tres dimensiones, es decir:

$$\nabla^2 T = f(q, t) \quad (1)$$

Aquí nabla son derivadas parciales, T es la distribución de temperatura en la cocina y olla, t es variabilidad temporal y Q es el calor . Actualmente, las cocinas solares no son lo suficientemente sofisticadas como para convencer al usuario de su viabilidad o ventajas; por lo tanto, todo el trabajo de desarrollo e investigación sobre cocinas se aborda desde una perspectiva más amplia, que tendrá los siguientes componentes: (a) aumentar la densidad de potencia, (b) garantizar la continuidad de uso y la capacidad de absorber los transitorios de entrada de energía, (c) diseñar un sistema a prueba de fallos mediante un sistema de respaldo, y (d) ser apto para la intervención durante la cocción; la performance de una cocina solar tipo caja, se desarrolla en términos de dos parámetros que se llaman “Figuras de Mérito F_1 y F_2 ”, los cuales se determinan mediante pruebas térmicas (Mullick et al, 1996; Koshti et al, 2023).

La primera figura de mérito, $F_1 = \eta_0 / U_L$, relacionada a la eficiencia óptica del sistema, se determina a partir de la prueba de temperatura estacionaria sin carga como:

$$F_1 = \frac{(T_p - T_a)}{I_h} \quad (2)$$

Donde η_0 es la eficiencia óptica, U_L es el coeficiente de pérdidas de calor, T_p es la temperatura de placa, I_h es la irradiancia horizontal horaria y T_a es la temperatura ambient, durante la prueba. La segunda figura de mérito es F_2 se obtiene a partir de la prueba con agua; es decir, con carga:

$$F_2 = F' \eta_0 C_R = \frac{F_1 (MC)_w}{A} \tau I \left[\frac{1 - \frac{1}{F_1} \left(\frac{T_{w1} - T_a}{I} \right)}{1 - \frac{1}{F_1} \left(\frac{T_{w2} - T_a}{I} \right)} \right] \quad (3)$$

Donde F' representa un factor de eficiencia de intercambio de calor, A es el área de apertura de la cocina solar tipo caja, $(MC)_w$ el producto de la masa de agua por su capacidad de calor específico, τ es el intervalo de tiempo durante el cual la temperatura del agua alcanza $(T_{w2} - T_{w1})$, I es la irradiancia horaria durante la prueba, la ratio de capacidad calorífica $C_R = (MC)_w / (MC)'_w$ donde $(MC)'_w$ incluye la capacidad calorífica de la olla y de cierta porción (placa) del interior de la cocina; sin embargo, C_R no se requiere para calcular F_2 usando el lado derecho de la ecuación (3). La figura de mérito F_2 se encuentra a partir de ensayos experimentales usando la ecuación (3), la temperatura final T_{w2} debe ser más bajo que el punto de ebullición, como por ejemplo 90 °C o 95 °C.

Existe otro método para determinar la potencia de la cocina solar tipo caja, denominado Pruebas e informes del rendimiento de cocinas solares, iniciado por el Comité de Normas de Prueba en la Tercera Conferencia Mundial sobre Cocinas Solares (Coimbatore, Tamil Nadu, India, 9 de enero de 1997); con aportaciones adicionales del Tercer Congreso Latinoamericano de Cocinas Solares (La Ceiba, Atlántico, Honduras, marzo de 2001); desarrollo final por el Comité de Energía Solar de la ASAE SE-414 en marzo de 2002; aprobado por el Comité de Normas de la División de Estructuras y Medio Ambiente de la ASAE en enero de 2003;

reafirmado en febrero de 2008; revisión periódica extendida por dos años en diciembre de 2012; revisado en noviembre de 2013; esta Norma tiene como objetivo:

- a. Promover la uniformidad y la consistencia en los términos y unidades utilizados para describir, probar, calificar y evaluar cocinas solares, sus componentes y su funcionamiento.
- b. Proporcionar un formato común para la presentación e interpretación de los resultados de las pruebas a fin de facilitar la comunicación.
- c. Proporcionar una medida única del rendimiento térmico para que los consumidores puedan comparar diferentes diseños al seleccionar una cocina solar.

Protocolo de prueba

- a. Registro. La temperatura promedio del agua (°C) de todos los recipientes de cocción de una cocina se registrará a intervalos que no excedan de diez minutos, en unidades Celsius redondeadas a la décima de grado más cercana.

La insolación solar (W/m²), la temperatura ambiente (°C) y la velocidad del viento (m/s) también se registrarán a intervalos que no excedan de diez minutos. Registre e informe la frecuencia del seguimiento manual, si corresponde. Informe los ángulos azimutales durante la prueba. Informe la elevación del lugar de prueba, la altitud y la latitud, y las fechas de la prueba.

- b. Cálculo de la potencia de cocción. El cambio en la temperatura del agua para cada intervalo de diez minutos no superpuesto se multiplicará por la masa y la capacidad calorífica específica del agua contenida en el recipiente de cocción. Este producto se dividirá por los 600 segundos contenidos en un intervalo de diez minutos, como sigue:

$$P_i = \frac{(T_2 - T_1)M \cdot c_v}{600} \quad (5)$$

donde:

P_i = potencia de cocción (W) para el intervalo i

T₂ = temperatura final del agua (°C)

T₁ = temperatura inicial del agua (°C)

M = masa de agua (kg)

C_v = capacidad calorífica del agua (4186 J/[kg·°C])

2.5 Gases de efecto invernadero relevantes que son emitidos en la cocción de alimentos.

El compromiso colectivo de las naciones con el objetivo de la COP21 (conferencia de las partes realizada en París en el año 2015 sobre el cambio climático) de mantener el calentamiento global muy por debajo de los 2 (o 1,5) °C en comparación con los niveles preindustriales, está predestinado al fracaso si la acción climática se limita a los niveles nacionales o regionales, (Balouktsi & Lützkendorf, 2020, p. 2)

2.5.1 Dióxido de carbono (CO₂)

El CO₂ es el principal gas de efecto invernadero de larga vida en la atmósfera, con un potencial de calentamiento global de referencia (GWP₁₀₀, proyectado a 100 años) igual a 1 por convención (es decir, 1 tonelada de CO₂ equivale a 1 tonelada CO₂ eq), cuando combustibles fósiles o biomasa se queman para cocción, una fracción de la masa de carbono se oxida a CO₂ y se libera al ambiente; desde la perspectiva de la cocción de alimentos, la generación de CO₂ se produce tanto en el quemado del combustible (combustión) como en la extracción, transporte y procesamiento del combustible (considerando el ciclo de vida) (Clean Cooking Alliance, 2017).

El impacto climático del CO₂, aunque menor por unidad de masa que el CH₄, es importante dada su abundancia y persistencia en la atmósfera. Para el sector de cocción en países en desarrollo se estima que, si se sustituyeran combustibles contaminantes por opciones limpias, las emisiones acumuladas de CO₂ eq podrían reducirse en miles de millones de toneladas (Ghilardi, et al. 2018).

2.5.2 Metano (CH₄)

El metano es un gas de efecto invernadero de vida más corta que el CO₂, pero de un impacto de calentamiento mucho mayor en el corto plazo: típicamente se estima un GWP₁₀₀ en el rango de ~28–34 (y en un horizonte de 20 años aún mayor, ~80–90) ([Wikipedia][3]). En el contexto de la cocción de alimentos, el

CH puede generarse por varias rutas: Incompleta combustión de hidrocarburos o biomasa, donde parte del carbono no se oxida completamente a CO₂, produciendo CH₄, CO u otros hidrocarburos, Emisiones fugitivas o de suministro (por ejemplo, gas natural o GLP) antes o durante la cocción, lo que aumenta el impacto climático del combustible usado; en biomasa, si la recolección es insostenible o si hay liberación de metano por deforestación o degradación forestal, se puede considerar parte del ciclo que contribuye al CH₄ (aunque muchas metodologías lo ignoran o lo incluyen de forma conservadora) (Clean Cooking Alliance, 2027).

Desde el punto de vista de la cocción doméstica, el CH₄ puede tener un impacto menor que el CO₂ en términos de volumen, pero su impacto climático por unidad de masa es mucho mayor, lo que lo hace relevante para la evaluación comparativa del combustible.

2.5.3 Monóxido de carbono (CO)

El CO no es típicamente un gas de efecto invernadero de larga vida como CO₂ o CH₄, pero su presencia es indicativa de combustión incompleta y puede influir indirectamente en el balance climático, el CO puede oxidarse en la atmósfera a CO₂, y también puede participar en reacciones químicas que afectan la concentración de radicales libres, ozono troposférico y metano, lo cual puede tener efectos de forzamiento radiativo indirecto (aunque menor); en el contexto de la cocción, la emisión de CO es relevante sobre todo para salud humana (intoxicaciones, contaminación interior) pero también representa una ineficiencia del sistema de combustión que puede traducirse en mayor emisión de otros gases de efecto invernadero o contaminantes; por ello, un sistema de cocción con alta emisión de CO señala una eficiencia térmica baja y pérdidas mayores, lo cual puede traducirse en mayores emisiones de CO₂ eq por unidad de energía útil (Oghu, 2025)

2.5.4 Leña /Biomasa

La biomasa sólida (leña, residuos agrícolas, carbón vegetal) es todavía ampliamente usada en muchas regiones del mundo, especialmente en zonas

rurales o de bajos ingresos, unos 2 – 3 mil millones de personas utilizan combustibles de biomasa para cocción. (Oghu, 2025).

Aunque la combustión de biomasa se considera a veces “carbono neutro” bajo ciertas condiciones de sostenibilidad (la nueva vegetación absorbe CO equivalente al que se emite al quemar la biomasa), en la práctica muchos sistemas no cumplen las condiciones de sostenibilidad debido a la sobre captación, deforestación, transporte de biomasa, etc.; por lo tanto, gran parte del carbono liberado es adicional al ciclo natural (Clean Cooking Alliance, 2017).

La combustión de biomasa en estufas tradicionales suele ser incompleta y tener bajas eficiencias térmicas, lo cual genera emisiones significativas de CH₄, CO y otros hidrocarburos residuales. Esto reduce la eficiencia de conversión de energía útil y aumenta la huella de carbono por unidad de cocción (Oghu, 2025)

2.5.5 Gas (GLP o gas natural)

El gas licuado de petróleo (GLP, típicamente propano/butano) o gas natural son combustibles fósiles comunes en cocción de alimentos, particularmente en zonas urbanas y semiurbanas; la combustión de hidrocarburos líquidos o gaseosos produce CO₂ proporcionalmente al carbono contenido. En comparación con biomasa, la combustión puede ser más eficiente (menores residuos de carbono) y por unidad de energía entregada las emisiones pueden ser menores, pero aun así se emite CO₂, se estima que el gas natural produce ~25-30 % menos CO₂ por unidad de energía que el petróleo, y ~40-45 % menos que el carbón (Oghu, 2025). Un aspecto crítico del gas es la fuga de metano (CH₄) en el suministro, distribución y en la propia estufa. Las estufas de gas domésticas pueden emitir CH₄ incluso cuando están apagadas, por fugas, lo que incrementa notablemente la huella de gas de efecto invernadero, Las estufas de gas, aunque más limpias que biomasa, también pueden producir CO si la combustión es incompleta.

2.5.6 Carbón

El carbón —o el carbón vegetal— se usa menos para cocción doméstica en ciertas regiones, pero sigue relevante en algunos contextos, tiene un contenido de carbono mayor por unidad de energía que muchos otros combustibles, por lo que su combustión directa genera más CO₂ por kWh entregado. Estudios generales de energía indican que el carbón es uno de los mayores emisores de CO₂; puede generar CH₄ en la extracción (metano de mina) y durante combustión

incompleta puede emitir CO, CH₄ y otros hidrocarburos. En cocción doméstica, la baja eficiencia y la combustión parcial pueden agravar estas emisiones (Clean Cooking Alliance, 2017).

2.5.7 electricidad generada a base de petróleo

Cuando la cocción se realiza mediante electricidad que proviene de centrales térmicas a base de petróleo (o derivados) o combustibles fósiles, las emisiones se trasladan indirectamente al consumo eléctrico (no directamente al quemado en la cocina, pero asociadas al sistema), la generación eléctrica a partir de petróleo implica combustión de derivados de combustibles fósiles, liberando CO₂. Dependiendo de la intensidad de carbono de la electricidad (g CO₂/kWh), la electricidad usada en cocción tendrá una huella CO₂; aunque la cocción eléctrica no produce CH₄ o CO en la cocina (al menos no directamente al usuario, salvo incendios o fallos), la cadena de suministro eléctrico puede tener fugas de metano en extracción de combustible fósil o en transporte, y emisiones de CO₂ en combustión de centrales, en la cocina no hay combustión local ni emisiones de CO, CH₄ o material particulado, lo que mejora la calidad del aire interior, si la electricidad proviene de petróleo o carbón, la huella de carbono puede ser elevada; además se pierde parte de la energía durante generación transmisión distribución, cuando la electricidad proviene de fuentes renovables, la huella puede reducirse significativamente (Martínez, 2025).

2.6 Metodología para estimar emisiones evitadas por sustitución de combustible.

un sistema de cocción tradicional, leña, carbón o gas fósil, si es reemplazado parcial o completamente por una tecnología limpia como, una cocina solar o una estufa mejorada de biomasa de alto rendimiento, se produce una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Estimar esas “emisiones evitadas” es clave para determinar el impacto ambiental positivo, para tecnologías como cocinas solares, la estimación requiere definir una línea base con el combustible que se sustituye, prever la vida útil del sistema, medir el uso real, y aplicar factores de emisión.

La metodología comprende varias etapas: establecimiento de la línea base, definición de escenario de proyecto, cálculo de emisiones de referencia, cálculo de emisiones del proyecto, estimación de emisiones evitadas, análisis de incertidumbres y monitoreo para ello existen metodologías oficiales como la del Gold Standard para cocinas o la del estándar CLEAR que dan directrices

aplicables (Gold Standard for the global goals, 2022; Clean Cooking Alliance 2022).

2.6.1 Definición del escenario de Línea base

2BS-PRO-03, (2024) dice que el primer paso consiste en describir el escenario sin la intervención del proyecto: ¿qué combustible(s) se utilizarían? ¿cuáles serían los patrones de uso? ¿cuál es la eficiencia térmica del sistema existente? Se deben definir:

- Tipo de combustible(s) que la cocina solar reemplaza (leña, carbón, gas, electricidad fósil, etc.).
- Cantidad de combustible consumida por unidad de tiempo (por ejemplo, kg de leña por día, m³ de gas, kWh de electricidad) o por tarea de cocción típica.
- Factores de emisión del combustible: kg CO₂ eq por unidad de energía o por masa de combustible (incluyendo CO₂, CH₄, N₂O), la metodología 2BS define factores de emisión para calor o electricidad: “80 g CO₂ e/MJ” para calor, “183 g CO₂ e/MJ” para electricidad en algunos casos.
- Vida útil esperada del sistema tradicional, número de ciclos de cocción, o estimación del uso anual.
- Criterios de uso: número de comidas, horas de cocción, cargas típicas.
- Escenario de fuga o cambio de comportamiento: por ejemplo, si se puede anticipar un aumento de uso o una rebaja

2.6.2 Definición del escenario del proyecto (Proyecto)

Aquí se describe el sistema de sustitución: en este caso una cocina solar (o tecnología limpia de cocción). Deben definirse:

- Tipo de cocina solar, rendimiento térmico esperado, horas de uso.
- Cantidad de combustible que ya no se consumirá gracias a la sustitución o la reducción de su consumo.
- Parámetros de uso esperados: número de hogares, comidas/día, días al año.
- Vida útil de la cocina solar (por ejemplo 5, 10 o 15 años).
- Consideraciones de mantenimiento, cambio de comportamiento, penetración de la tecnología.

2.6.3 Cálculo de las emisiones de referencia (Emisiones línea base)

Para el escenario de línea base se calcula:

$$E_b = A \times E$$

E_b es la emisión línea base, A es la actividad en MJ de combustible consumido, o kg de combustible en el periodo considerado (por año, por vida útil).

(E) es el factor de emisión de ese combustible (kg CO e por MJ o por kg).

2.6.4 Cálculo de las emisiones del proyecto.

Para el escenario con la nueva cocina solar:

$$E_p = A_r \times E_{cc} + E_{ii} + E_m + E_{dt}$$

Donde:

A_r es el consumo residual de combustible que queda después de la sustitución (si no es 100 % sustitución).

E_{cc} es el factor de emisión para el combustible todavía consumido.

E_{ii} corresponden al ciclo de vida del sistema de cocción solar (fabricación, transporte, instalación, mantenimiento, fin de vida). Muchas metodologías permiten excluir o consideran un valor “mínimo” si se concentra solo en la operación. Aquí La metodología CLEAR señala que la tecnología de cocción debe cumplir criterios de rendimiento para ser elegible para contabilizar reducciones

E_m es la emisión emitida al realizar dicha operación

E_{dt} es la emisión emitida al realizar dicha operación.

2.7 Desarrollo del impacto ambiental del uso de cocinas solares

2.7.1 Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Como se ha calculado, la sustitución de combustibles fósiles o biomasa por cocinas solares permite reducir emisiones de CO , CH y N O. Este impacto se expresa normalmente como reducción de kg CO e o toneladas CO e sobre la vida útil del sistema. Esta métrica es clave para políticas climáticas, financiamiento de carbono y cumplimiento de compromisos nacionales de reducción.

2.7.2 Mejora de eficiencia energética y menores pérdidas

Las cocinas solares, al operar con radiación solar directa o concentrada, evitan pérdidas térmicas comunes en estufas tradicionales (convección,

combustión incompleta, fugas de calor). Esto incrementa la eficiencia del sistema de cocción, lo que implica menor demanda energética para la misma tarea (por ejemplo, cocer X kg de alimento). Menor demanda implica menor consumo de combustible fósil o biomasa, con la consecuente reducción de emisiones.

2.7.3 Impactos de salud y calidad del aire interior

Aunque el foco aquí es climático, las cocinas solares también reducen emisiones locales de monóxido de carbono (CO), material particulado (PM₁₀/PM_{2.5}), hollín y otros contaminantes. Esto mejora la calidad del aire interior, reduce enfermedades respiratorias y carga en sistemas de salud. Al reducir CO y CH₄ por combustión incompleta, también se reduce el Carbón negro y esos contaminantes de efecto climático “black carbon” que contribuyen al forzamiento radiativo.

2.7.4 Impacto en recursos forestales y biodiversidad

El uso intensivo de biomasa para cocción puede conducir a deforestación, degradación del suelo y pérdida de biodiversidad. La sustitución por cocinas solares reduce la extracción de leña, ayuda a conservar bosques, y evita emisiones asociadas a deforestación (que incluyen CO₂ y CH₄). En el análisis de impacto ambiental, se deben considerar esos beneficios indirectos.

2.7.5 Principios físicos

El funcionamiento de las cocinas solares se basa en principios físicos de la transferencia de energía y el balance térmico. La energía solar que incide sobre las superficies absorbentes se convierte en calor, que luego se utiliza para cocinar los alimentos. En las cocinas de caja, el efecto invernadero es fundamental para retener el calor dentro de la cámara de cocción. En las cocinas parabólicas, la concentración de los rayos solares mediante un reflector permite generar temperaturas más altas, lo que las hace adecuadas para tipos de cocción más intensivos.

El uso de cocinas solares tiene un impacto significativo en la reducción del consumo de combustibles fósiles y biomasa en áreas rurales, lo que ayuda a reducir las emisiones de carbono y a mejorar la calidad del aire en interiores; además, son una opción accesible para comunidades que carecen de acceso a fuentes de energía convencionales (Panwar et al., 2011, p. 1513-1524).

2.8 Tiempo de cocción y variables que lo afectan

2.8.1 Definición de tiempo de cocción

En el contexto de cocinas solares, el tiempo de cocción se define como el intervalo desde que se inicia la irradiación útil al recipiente (o desde que la carga/olla se coloca bajo condiciones definidas) hasta que se alcanza una condición de cocción aceptable (hervido, cocinado, horneado, según el alimento). Este tiempo depende directamente de la potencia térmica entregada al alimento, la eficiencia de la cocina solar, las pérdidas térmicas, el tamaño/masa del alimento, y la irradiancia solar disponible.

2.8.2 Variables que afectan el tiempo de cocción

Las principales variables que influyen en el tiempo de cocción en cocinas solares son:

- Irradiancia solar (G) [W/m^2]: A mayor irradiancia directa, mayor flujo de energía al sistema, menor tiempo de cocción. En días nublados o con irradiancia oblicua, el tiempo de cocción se incrementa considerablemente.
- Área de captación (A) del sistema solar y concentración (para concentradores): Un área mayor (o mayor factor de concentración) permite mayor aporte térmico; si la captación es pequeña respecto a la carga la potencia útil será limitada.
- Eficiencia térmica (η) del sistema: Cuanto mayor sea la eficiencia en convertir radiación solar en calor útil al alimento, más rápido será el calentamiento y menor el tiempo de cocción. Este factor recoge pérdidas por convección, radiación, conducción y transferencia al alimento.
- Masa y tipo de carga (m) del alimento: Una olla con mayor masa o diferente composición térmica requerirá más energía, lo que prolonga el tiempo.
- Contacto térmico y diseño del recipiente: Si la olla tiene buen contacto con la superficie captadora, color negro mate, buen intercambio de calor, el calentamiento será más rápido. Una olla de metal grueso y mal aislamiento interno puede retardar la cocción.
- Pérdidas térmicas al ambiente: Viento elevado, convección libre, mala aislación, cubierta transparente sucia o defecto de sellado aumentan las pérdidas y prolongan el tiempo de cocción. Por ejemplo, se ha observado que viento > 1 m/s puede reducir notablemente la tasa de elevación de temperatura. (Lahkar, 2018)

- Orientación, inclinación y seguimiento del sol: Un desajuste de ángulo hace que la captación disminuya, reduciendo la potencia y alargando el tiempo.
- Tipo de cocina solar (tipología): Las cocinas tipo caja, panel, parabólica y tubo evacuado tienen distintos niveles de captación y concentración; en general, concentradores alcanzan tiempos más cortos que cajas simples.
- Condiciones de operación y uso real: Si los usuarios abren la tapa frecuentemente, lo usan parcialmente, tienen sombreado intermitente, o la cocina no está optimizada, el tiempo se extiende.
- Condiciones climáticas y geográficas: Latitud, altitud, temperatura ambiente, nubosidad, humedad y hora del día influyen la función térmica del sistema.
- Presencia de almacenamiento térmico (TES): Si la cocina tiene materiales de cambio de fase o almacenamiento térmico, puede conservar calor y reducir el tiempo efectivo de cocción o permitir más continuidad fuera del sol directo. (Omara et al., 2020).

2.8.3 Tiempos de cocción reportados en literatura

- Aunque los tiempos dependen mucho del alimento, masa, irradiancia y diseño, se pueden extraer órdenes de magnitud de estudios recientes:
- En un estudio con tubo evacuado reutilizado, se reportó que una galleta de harina de trigo se horneó en ~20 minutos a ~230 °C con buena irradiancia en México (Baylón et al., 2024).
- En una revisión de cocinas tipo caja se menciona que en prototipos el tiempo de ebullición puede situarse en 60-120 min bajo condiciones buenas. (Lahkar, 2018).
- En diseños optimizados, los tiempos de cocción con cocinas solares suelen ser más largos que los de estufas convencionales, lo que hace relevante tener en cuenta el contexto de uso, horarios y expectativas.

2.9 Métodos de evaluación de cocinas solares

- Para validar el desempeño de las cocinas solares y comparar diseños, se utilizan protocolos de ensayo experimentales y estandarizados. A continuación, detallo los métodos más usados para cada tipología (caja, concentrador parabólico, tubo

evacuado), incluyendo: (i) procedimiento de ensayo, (ii) métricas clave, (iii) criterios comparativos.

2.9.1 Cocina solar tipo caja

Lahkar (2018), los métodos de evaluación usuales para cajas incluyen los siguientes pasos:

- Determinar el área de captación de la caja, la inclinación e identificación de reflectores adicionales.
- Medir la irradiancia solar (G) sobre la apertura de la caja durante el ensayo.
- Inicializar con recipiente estándar dentro de la caja.
- Cerrar la tapa (vidrio/acrílico), orientar la caja hacia el sol al ángulo óptimo.
- Medir la temperatura interior de la caja (o de la olla) como función del tiempo hasta alcanzar un criterio.
- Registrar tiempo de calentamiento, tiempo hasta ebullición, tiempo de cocción del alimento específico (si aplica).
- Calcular la eficiencia térmica
- Evaluar figuras de mérito como $F1$ (temperatura de estancamiento) y $F2$
- Realizar ensayos repetidos.

2.9.2 Métricas clave

- Tiempo hasta la cocción (t_c) en segundos.
- Tiempo de cocción bajo condiciones definidas.
- T_{max} : temperatura máxima alcanzada en la olla o cámara.
- $F1$ y $F2$: figuras de mérito para cajas ($F1$ [$^{\circ}C \cdot m^2 / (W \cdot h)$] y $F2$ ($kg \cdot K$) / ($m^2 \cdot W \cdot h$)).
- Eficiencia térmica (%).

2.10. Cocina solar de tipo concentrador parabólico.

Para los concentradores parabólicos, el método de evaluación incluye:

- Medición del área de apertura del reflector o parábola, el factor de concentración.
- Instalar el recipiente de cocción en el foco.
- Medir la irradiancia global normal al plano de captación durante el ensayo, así como el viento, temperatura ambiente y otros parámetros ambientales.
- Registrar la temperatura del recipiente (olla) como función del tiempo desde el inicio hasta un criterio de cocción.
- Calcular el tiempo de cocción, el tiempo hasta temperatura final según criterio

- Calcular la eficiencia térmica
- Evaluar número de horas efectivas de uso 2 h alrededor del mediodía (Zhang et al. 2025).

2.10.1 Métricas clave

- Tiempo de cocción en segundos para alimentos o tiempo hasta temperatura objetivo.
- Potencia térmica efectiva (W) entregada al recipiente ($m \cdot c \cdot T / t$).
- Eficiencia térmica (%) sobre el área de captación y radiación incidente.
- Tiempo de calentamiento (t_h) hasta alcanzar T_{max} .
- Consistencia de seguimiento: frecuencia de ajustes, desviaciones angulares.
- Factor de concentración (C): relación entre irradiancia en el foco y irradiancia incidente (Baylón et al. 2024)

2.11 Cocina solar de tipo tubo evacuado / híbrida

- Este tipo combina características de concentrador y/o de captación optimizada con tubos evacuados o recubrimientos selectivos para reducir pérdidas de calor.

El procedimiento de evaluación engloba:

- Medir el sistema de tubos evacuados o el colector asociado: área de captación, depósito de carga térmica, geometría del tubo evacuado, (Baylón et al. 2024).
- Medir la radiación incidente y condiciones ambientales, incluidas viento, temperatura ambiente, trayectoria solar.
- Colocar la olla o carga en el tubo evacuado o en el foco del sistema. Registrar la temperatura de la carga y del sistema, medir la pendiente de temperatura vs tiempo.
- Registrar el tiempo hasta alcanzar la temperatura objetivo o hasta que el alimento esté cocido (o horneado). Por ejemplo, Baylón et al. reportaron horneado de galleta en ~20 minutos, (George et al, 2020)

2.11.1 Métricas clave

- Tiempo de cocción en segundos para alimentos típicos.
- Tiempo hasta T_{\max} .
- Eficiencia térmica (%) sobre área de captación.
- Potencia térmica entregada (W) al recipiente.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 Enfoque de la investigación.

La investigación tiene un enfoque cuantitativo.

3.2 Método de la investigación.

Deductivo-Inductivo

3.3 Diseño de la investigación.

La calidad de cocción está referido a la conservación de nutrientes de los alimentos después de la cocción; el menor tiempo de cocción y la reducción de CO₂ se realizará mediante el análisis de ciclo de vida comparativo. La huella de carbono es la cantidad total de gases de efecto invernadero (como el CO₂ y el metano) emitidos por una actividad, en este caso, la cocción de alimentos; la cocción a menudo depende de la quema de combustibles fósiles para generar energía, lo que libera gases de efecto invernadero a la atmósfera y contribuye al cambio climático.

3.3.1 Diseño experimental.

Para la evaluación de la calidad de la cocción, la presente investigación cuenta con 21 tratamientos, representados por la evaluación de las tres cocinas solares: tipo caja, que es representado por la cocina (a); tipo concentrador parabólico, que es representado por la cocina (b) y tipo Concentrador Parabólico Compuesto con tubo de vacío, que es representado por la cocina (c), se empleó el diseño completamente al Azar, como se observa en la tabla 4 elaborado con el paquete estadístico Design Expert.

Tabla 2.

Diseño de experimentos según el Design Expert corridas

Run	A: Tiempo de cocción (min)	B: Tipo de cocina	C: Tipo de alimento (g)
2	40	Cocina a	Pollo
3	55	Cocina a	Zanahoria
8	25	Cocina a	Papa
9	46.15	Cocina a	Papa
10	55	Cocina a	Pollo
16	33.85	Cocina a	Zanahoria
4	40	Cocina b	Pollo
5	33.1	Cocina b	Papa
6	55	Cocina b	Papa
11	55	Cocina b	Papa
12	26.5	Cocina b	Pollo
18	46.45	Cocina b	Zanahoria
19	53.5	Cocina b	Pollo
20	33.1	Cocina b	Papa
21	25	Cocina b	Zanahoria
1	26.5	Cocina c	Papa
7	40	Cocina c	Pollo
13	55	Cocina c	Zanahoria
14	53.5	Cocina c	Papa
15	40	Cocina c	Pollo
17	40	Cocina c	Zanahoria

Se evaluaron Calidad sensorial dureza y emisión evitadas de CO₂, de acuerdo a la metodología empleada; según el esquema del diseño

Modelo *estadístico*

$$Y_i = \mu + \alpha + \varepsilon_i \quad (6)$$

Base de Diseño:

i: N° Tratamientos = 21

j: N° repeticiones = 3

Y_{ij}: Propiedades: Calidad sensorial dureza y emisión de CO₂

μ: media general

ij: Error experimental asociado a la ij-ésima unidad experimental

: Coeficiente

Técnica de Análisis de Resultados - Análisis de Varianza (ANOVA)

Se utilizó el Software Minitab versión 19.1.1, para analizar y evaluar las Calidad sensorial dureza y emisión de CO₂ de las papas, zanahoria y pollo; además, Humedad (%), proteína (%), grasa (%), ceniza (%), carbohidratos (%) y fibra (%)

ANOVA – Con tres factores, con un nivel 95.0% de confianza 95% ($\alpha=0.05$).

3.4 Población y muestra.

Población: Las materias primas a utilizar fueron, la papa, zanahoria y el pollo adquirido en el mercado de Buenos Aires de Nuevo Chimbote, se utilizó 30kg de papa y 30 kg de zanahoria y 15 kg de carne de pollo.

Muestra: Se realizaron 21 tratamientos, con muestreo Aleatorio.

Tabla 3

Operacionalización de las variables de estudio.

MATRIZ OPERACIONAL							
TÍTULO	" Impacto de Tres Tipos de Cocinas Solares en el Tiempo, calidad de cocción de alimentos y reducción de CO ₂ "						
PROBLEMA	HIPÓTESIS	VARIABLES	D. CONCEPTUAL	D. OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEM/UNIDADES
¿Cuál sería el impacto de Tres Tipos de Cocinas Solares en el Tiempo, calidad de cocción de alimentos y reducción de CO ₂ ?	Existiría una diferencia significativa en el tiempo de cocción, la calidad de los alimentos y la reducción de emisiones de CO ₂ entre los tres tipos de cocinas solares (tubo evacuado, concentrador parabólico y caja).	V. I.	Es el tiempo estipulado para cada corrida	Se midió en minutos	Duración del proceso de cocción	Tiempo transcurrido desde el inicio y final de la cocción	minutos
		1. Tiempo de cocción					
		2. Tipos de cocinas solares	Las cocinas solares son prototipos que captan la radiación solar y la convierten en calor	Se manipularán tres tipos de cocinas solares	a: Tipo caja. b: Tipo concentrador parabólico. c: Tipo CPCTV (concentrador parabólico compuesto con tubo de vacío)	a: 40 x 60 x 50 cm de Largo ancho y altura. b: con un diámetro de 110 cm y 50 cm de profundidad. c: Tubo al vacío de 18 cm de longitud y 4,5 cm de diámetro.	a: Área de captación M ² b: Área de captación M ² c: Área de captación M ²
		3. Tipo de alimento	Los alimentos o productos escogidos para esta investigación	Papa, Zanahoria y Carne de pollo	Peso	Cantidad	kg
		V. D.	Resistencia del alimento a ser deformado o penetrado a una fuerza externa.	Se midió usando un penetrómetro	Resistencia a la deformación	Valor obtenido mediante el penetrómetro	N/mm ²
		1. Dureza					

		2. Calidad de cocción de alimentos	Medida en que un alimento cocido cumple con los estándares deseados de dureza y cantidad de nutrientes mediante el análisis proximal	Proteína Humedad Grasa Fibra Ceniza Carbohidratos Análisis sensorial	Satisfacción con el producto cocido Evaluación de nutrientes	Valor obtenido en la evaluación sensorial y porcentaje de nutrientes	Escala de calificación del 1 al 5 donde 1 es pobre y 5 es excelente. % nutrientes por peso
		3.Reducción de CO ₂	Emisiones evitadas por sustitución de combustible (energía solar) en comparación con una cocina a gas convencional	Se tuvieron en consideración los tiempos de cocción y en comparación con volúmenes de gas	Se utilizaron valores de CO _{2e} equivalentes para el gas natural	Caudal de gas y tiempo	M ³ Tiempo en segundos

3.4.1 Variables independientes.

Los tres tipos de cocinas solares que son tipo caja (TCJ) tipo concentrador parabólico (TCP) y tipo concentrador parabólico compuesto (TCPC) con tubo de vacío, el tiempo de cocción y tipo de alimento papa, zanahoria y pollo hasta que estén cocidos.

3.4.2 Variables dependientes.

Comportamiento que se ve afectado por las variables independientes, que en este caso son dureza, calidad de cocción y reducción de CO₂, parte de la calidad de la cocción se refleja en el análisis sensorial que se aplicó a los alimentos cocidos por las tres cocinas; sin embargo, los alimentos cocidos por las cocinas se sometieron al análisis, determinando, la composición proximal: proteína, grasa, carbohidratos, humedad, fibra y ceniza y prueba de aceptabilidad; con el objetivo de observar la degradación de los nutrientes al ser cocidos por los tres tipos de cocinas comparándolo con valores sin cocinar.

Se detalla los métodos para determinar cada una de las composiciones proximal:

Humedad

El método AOAC (Asociación de químicos analíticos oficiales) 925.10 para determinar la humedad, consiste en pesar la placa (P1), y luego agregar 5g de la muestra (P2). La muestra se lleva a la estufa a 105° por 3 horas o hasta peso constante. Después se enfría en el desecador y se pesa (P3). El porcentaje de humedad se calcula $\%H = (P2-P3) / (P2-P1)*100$

Ceniza

El método AOAC 942.05 para determinar ceniza, consiste en pesar una muestra de 3g. La muestra se coloca en el crisol y se incinera en un horno a 550°C durante 4 horas o hasta obtener ceniza blanca. Luego, la cápsula con ceniza se enfría en un

deseCADOR. Se pesa nuevamente la cápsula con la ceniza. El contenido de ceniza se calcula como el porcentaje del peso de la muestra inicial. El cálculo se realiza con la fórmula:

$$\% \text{Ceniza} = (\text{peso de la cápsula con ceniza} / \text{peso inicial de la muestra}) \times 100.$$

Grasa

La determinación de grasa por el método Soxhlet, según la AOAC 920.39, comienza con el pesaje de una muestra seca (3 g) (P1). Luego, se coloca la muestra en papel filtro y extrae la grasa utilizando éter de petróleo como solvente en un aparato Soxhlet durante (4 – 6 horas). Después de la extracción, el solvente se evapora, dejando solo los lípidos. La grasa extraída se pesa (P2) y, a partir de este dato, se calcula el contenido de grasa en la muestra utilizando la fórmula:

$$\% \text{Grasa} = (P2 / P1) * 100$$

Fibra

El procedimiento para la determinación de fibra dietaria total (FDT) se basa en los métodos AOAC 991.43 y AOAC 985.29. Inicia con la preparación de reactivos como buffer fosfato 0.08 M a pH 6.0, hidróxido de sodio 0.275 N y ácido clorhídrico 0.325 N, junto con el secado del celite. La muestra se somete a digestiones enzimaticas secuenciales para eliminar almidones y proteínas, quedando un residuo que contiene la fibra. Este residuo se filtra, lava y seca en placas previamente taradas. Se determina el peso de proteína (P) y de cenizas (C) de dos placas (R1 y R2), y se calcula la fibra dietaria total aplicando la fórmula:

$$\%F = \frac{\left(\frac{R_1+R_2}{2}\right) - P - C - B}{\left(\frac{M_1+M_2}{2}\right)} \quad (8)$$

Dónde:

R1: Peso del residuo 1 de placa 1

R2: Peso del residuo 2 de placa 2

P: Peso de proteína de R1

C: Peso de cenizas de R2

B: Peso de blanco

Placa 1 y placa 2: pesos de muestra inicial

Proteína

El procedimiento para la determinación de proteína se basa en el método oficial AOAC 992.23. El proceso inicia con la preparación anticipada del equipo analítico. Luego, se determina el valor del blanco mediante diez réplicas de 1.0000 g, aplicando el método “Harinas General” y calculando el promedio con las últimas cinco, asegurando que la presión sea inferior a 0.001 %. Posteriormente, se calibra y corrige la deriva pesando entre 0.1000 y 0.2500 g de EDTA en papel de estaño, sellado en forma de pera, realizando un mínimo de tres análisis para registrar el código del reactivo y ajustar el equipo. Las muestras se preparan siguiendo el mismo rango de masa y sellado, registrando la información de peso e identificación, colocándolas en el carrusel para su análisis. La exactitud se garantiza mediante el control del blanco y la corrección de la deriva, siguiendo lo establecido en el método.

Carbohidratos por diferencia

Una vez determinado los porcentajes de humedad, ceniza, grasa, proteína y fibra, podemos determinar el porcentaje de carbohidratos bajo la siguiente fórmula:

$$\%C = 100\% - (\text{Humedad} + \text{Ceniza} + \text{Proteína} + \text{Grasa}). \quad (9)$$

Dureza

Pruebas mecánicas realizado en un texturómetro es esencial para entender el comportamiento de los alimentos cocinados bajo esfuerzos reales. Ayudan a identificar posibles problemas de cocimiento, validar especificaciones y garantizar la conformidad con las normativas y estándares de la industria.

3.5 Técnica e instrumento de la investigación.

3.5.1 Lugar de ejecución: Universidad Nacional del Santa - Nuevo Chimbote

3.5.2 El trabajo de investigación fue desarrollado en los siguientes laboratorios:

- Laboratorio de energías renovables.
- Laboratorios de Microbiología y Toxicología de Alimentos.
- Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial (IITA)
- Laboratorio de Composición y Análisis de Productos Agroindustriales

3.6 Materiales e instrumentos

3.6.1 Materia prima

- Papa (30kg): Solamum tuberosum (huevo de indio)
- Zanahoria (30kg) Daucus carota La cual se procesó minimamente para ser utilizado en las cocinas solares.

3.6.2 Insumos

Agua potable

Reactivos

- Yoduro de Potasio (KI)
- Eter etílico ((C₂H₅)₂O)
- Sulfato de cobre pentahidratado (CuSO₄.5H₂O)
- Sulfato de sodio (Na₂SO₄)
- Ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄)
- H₂O Desionizada
- Ácido Acético (CH₃COOH, 1M)
- Yodo
- Solución de Hidróxido de sodio (NaOH, 1M)
- Ácido clorhídrico (HCL 0.1 N, 325 N)

- Alcohol etílico de (C H O 99%)
- Enzimas: -amilasa, proteasas y amiloglicosidasa (- 1,4 glucohidrolasa).
- Celite (CNa2O3)
- Buffer fosfato 0.008M Ph 6.0 (fosfato di básico de sodio anhidro y fosfato monobásico de sodio monohidratado).

3.6.3 Equipos de laboratorio.

- Molino de Impacto: Marca IKA-WERKE, Modelo M20.
- Secadora de Bandejas: Marca TORRH, modelo SST-10X10.
- Tamizador: Marca FRITSCH, modelo ANALYSETTE 3 PRO.
- Balanza Analítica: Marca PRECISA GRAVIMETRICS A G, Modelo LX 220 A
- Balanza Digital: Marca VALTOX, LP100EP-607-2.
- Estufa de secado: Marca POL-EKO-APARATURA, modelo SLW115STD
- Mufla: Marca THERMOLYNE, Serie 347034984, Procedencia Americana.
- Sistema Extractor de Grasas (Soxhlet): Marca FOSS, modelo SOXTEC, procedencia china.
- Analizador de Fibra: Marca Foss, modelo Fibertec 1023 TME, procedencia americana.
- Analizador Elemental de Proteínas (DUMAS): Marca, Leco; Modelo CHN628, procedencia americana.
- Espectrómetro de fluorescencia de rayos X por reflexión total.

- Analizador de textura: Marca Stable Micro System, Surrey, modelo TA.HD Plus, procedencia Reino Unido.
- Shaker: Marca SOLAB, model SL222, procedencia Brazil.cedencia: Reyno Unido.
- Laptop, marca HP, modelo Intel Core i7, procedencia China.
- Incubadora: Modelo Memmert BE 400; procedencia, Alemania.
- Sistema de extracción SOXTHERM: Marca: Gerhardt Analytical Systems; procedencia argentina.
- UHPLC (Cromatografía Líquida de Ultra Alta Resolución) es una técnica avanzada que utiliza columnas con partículas de tamaño inferior a 2 micrones y presiones más altas que la HPLC tradicional, logrando separaciones más rápidas, mayor resolución, mayor sensibilidad.

3.6.4 Materiales de laboratorio.

- Pizeta
- Vasos de precipitación (50ml; 100ml; 500ml; 250ml)
- Pipetas de (1ml; 2ml; 5ml; 10ml)
- Matraz Erlenmeyer (100ml; 200ml; 250ml)
- Bureta (50ml)
- Placas Petri
- Fiola (1000ml)
- Crisoles
- Agua destilada
- Bolsas herméticas de polietileno
- Pinzas

- Espátulas

Otros Materiales

- Papel toalla
- Telas filtradoras
- Cuchillos
- Cúter
- Peladores
- Tablas de madera para picar
- Regla (15cm y 20cm)
- Recipientes de acero inoxidable
- Coladores
- Guantes
- Baldes (20 lt)
- Cuaderno de apuntes
- Dispositivo USB

3.7 Métodos De Análisis

3.7.1 Caracterización de la Papa, Zanahoria y Carne de pollo.

- Humedad: Método estándar 950.46 A.O.A.C (2005)
- Proteína Método estándar 987.13^a.O.A.C (2002)
- Grasa Método estándar 2003.05 A.O.A.C (2005)
- Fibra: Método estándar 962.09 A.O.A.C (2005)
- Ceniza: Método estándar 942.05 A.O.A.C. (2005)
- Los carbohidratos se determinarán por diferencia, de acuerdo a los otros componentes como indica la siguiente ecuación:

$$\% = 100 - (\% \text{Humedad} + \% \text{Proteínas} + \% \text{Grasa} + \% \text{Cenizas} + \% \text{Fibra})$$

3.7.2 Métodos de caracterizar los productos cocidos en las cocinas solares

Propiedades físicas

- Humedad

Se realizó el análisis conforme al método estándar 950.46 A.O.A.C. (2005), para determinar la cantidad de agua presente en la muestra, se requiere la disminución del peso total de la muestra mediante el calentamiento en una estufa. y expresado en porcentaje. Se peso 5g de muestra en una placa Petri, en la balanza analítica y se llevó a la estufa a una temperatura de 105°C por 3 horas. Posteriormente transferir al desecador y esperar que alcance una T °C ambiente y tomar el peso, para luego de acuerdo a los datos obtenidos reemplazar en la ecuación:

$$\% \text{Humedad} = \frac{(M_1 - M_2) \times 1}{M} \quad (10)$$

M_1 = Peso crisol + muestra húmeda

M_2 = Peso crisol + muestra seca

M = Peso de la muestra

Dureza

Con un texturómetro de marca brookfield se midió la textura de la papa, zanahoria y carne de pollo después de cocinado para lo cual se cortó en trozos y se analizó con un spin para dureza de alimentos.

3.7.3 Análisis térmico

La Radiación solar incidente; es decir, la energía solar incidente o la energía recibida fue calculada utilizando la ecuación (11), la energía real absorbida por el agua durante el intervalo de tiempo específico se puede estimar con la ecuación

(12). La energía total absorbida por el sistema se puede estimar mediante la ecuación (13).

$$Q_i = I_i A_c d \quad (11)$$

donde Q_i es la energía solar total recibida, I_i es la radiación solar incidente, A_c es el área del concentrador solar y dt es la duración del tiempo durante la cual se considera la energía solar incidente.

$$Q_a = m_w C_p dT \quad (12)$$

Donde Q_a es la energía absorbida por la carga, m_w es la masa de la carga considerada, C_p es el calor específico de la carga (el agua) y dT es la diferencia de temperatura alcanzada durante el tiempo considerado.

$$Q_t = m_w C_p dT_w + m_c C_c dT_c + m_s C_s dT_s \quad (13)$$

donde Q_t es la energía total absorbida considerando el agua como carga, unidad de cocción y medio de almacenamiento de calor. La energía solar incidente promedio sobre la superficie inferior de la olla de cocción se puede estimar con la ecuación (14), y la eficiencia de la unidad de cocción se calculó con la ecuación (15), mientras que la eficiencia global del sistema se puede estimar con la ecuación (16).

$$I_{a,i} = \sum_{i=0}^n \frac{I_i}{n} \quad (14)$$

$$\eta_c = \frac{Q_a}{Q_i} \quad (15)$$

$$\eta_s = \frac{Q_t}{Q_i} \quad (16)$$

La pérdida de calor total de la olla se puede estimar mediante la ecuación (17), donde Q_L es la pérdida de calor del agua, dado por ecuación (18), T_1 y T_2 son las diferencias de temperaturas entre el agua y la temperatura ambiente.

$$U_L = \frac{Q_L}{2\pi r h + 2\pi r^2 \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}} \quad (17)$$

$$Q_L = \frac{m_w C_w d_w}{d} \quad (18)$$

3.7.4 análisis de incertidumbre

Se requiere un análisis de incertidumbre para estimar la fiabilidad de los datos experimentales. Este análisis se realizó con un conjunto de datos repetidos. La precisión de los instrumentos y las repeticiones del experimento son factores clave. La incertidumbre total se puede establecer con las ecuaciones siguientes, (Tawfik et al. 2022)

$$\delta_{\text{tot}} = \sqrt{\delta_e^2 + \delta_r^2} \quad (19)$$

U_{tot} es la incertidumbre total, mientras que U_{exp} y U_{rep} son las incertidumbres de los instrumentos y de las réplicas, respectivamente, y vienen dadas por:

$$(\delta)_e = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (21)$$

$$(\delta)_r = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (22)$$

Donde a representa la mitad de la precisión del instrumento y s la desviación estándar, el número de datos medidos repetidos se representa mediante n .

3.7.5 Procedimiento para la recolección de datos

Se recolectó los datos de la siguiente forma:

Se instalaron las tres cocinas solares (tipo caja, tipo concentrador parabólico y tipo CPC con tubo de vacío), debido al clima, se escogieron los días claros, no nubosos, generalmente hay más probabilidad de ocurrencia de días soleados, alrededor del mediodía solar entre las 10:00 horas y 14:00 horas; se acondicionaron 300 g de

papa, zanahoria y de carne de pollo, en cada una de ellas; se registraron datos de temperatura de cada cocina, humedad, velocidad de viento, irradiancia solar, con tiempos controlados; cuando la dureza de los alimentos cambió a ser susceptible de deformación por un agente externo, se considera cocidas, dichos ensayos se realizaron en tres réplicas, luego se realizó un promedio de valores para el análisis numérico; se hizo un muestreo de los productos cocidos y llevarlos a los laboratorios en donde se determinó la cantidad de proteína, grasa, humedad, ceniza, fibra, carbohidratos dureza y aceptabilidad general, que corresponde al análisis sensorial.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las tres cocinas en evaluación, con los alimentos papa, zanahoria y pollo son como sigue A; tipo concentrador, B; tipo caja y C; tubo de vacío con CPC (concentrador parabólico compuesto) encontrándose los resultados siguientes: El análisis proximal se realizó para la zanahoria, papa y pollo sin cocción y con cocción (cocido), los cuales se reporta en la tabla 4.

Tabla 4

Análisis Proximal de la zanahoria, papa y pollo (Sin cocción) en 100g

Muestra	Humedad (%)	Ceniza (%)	Grasa (%)	Proteína (%)	Fibra (%)	Carbohidratos (%)
Zanahoria	88.94 ± 0.38	0.24 ± 0.13	0.035 ± 0.00	0.68 ± 0.01	2.53 ± 0.13	7.25 ± 0.05
Papa	72.94 ± 1.19	0.68 ± 0.19	0.034 ± 0.01	2.26 ± 0.12	3.80 ± 0.17	20.39 ± 0.10
Pollo	76.01 ± 0.47	1.17 ± 0.03	0.358 ± 0.04	18.72 ± 0.01	0 ± 0.0	4.07 ± 0.08

Tabla 5

Análisis Proximal de la zanahoria, papa y pollo (Cocido)

Muestra	% Humedad	% Ceniza	% Grasa	% Proteína	% Fibra	% Carbohidrato
Zanahoria	83.58 ± 0.28	0.85 ± 0.02	0.44 ± 0.02	1.03 ± 0.01	2.53 ± 0.13	10.88 ± 0.12
Papa	73.78 ± 0.36	1.32 ± 0.11	0.11 ± 0.01	1.81 ± 0.01	3.80 ± 0.17	19.18 ± 0.05
Pollo	63.57 ± 0.47	1.63 ± 1.42	1.13 ± 0.05	29.71 ± 0.05	0 ± 0.0	4.98 ± 0.02

4.1 Papa.

En cuanto a la papa sin cocción, el contenido de humedad, que se obtuvo fue de 72,94%, el cual se encuentra dentro del rango de 72,06% a 77,07% informado por Cerón-Lasso et al. (2018) y también en lo reportado por Natividad B. et al. (2023) (72.04 – 79.49%), lo que indica una coincidencia en cuanto al contenido de agua en la papa. Esta similitud en la papa sin cocción sugiere que, independientemente del genotipo o la región de cultivo, las papas criollas tienden a presentar altos niveles de humedad, lo cual puede influir en su textura, vida útil y procesos de cocción. En cuanto a la papa cocida se encontró que el porcentaje de humedad fue de 73.78 % donde se ve un pequeño incremento debido a que los almidones de la papa han ganado agua para su gelatinización.

Respecto a las cenizas, el valor encontrado fue de 0,68%, que es inferior al rango de 0,96% a 2,56% reportado por Cerón-Lasso et al. (2018) y por Natividad B. et al. (2023) (4.03 – 5.52%). Esta diferencia podría estar relacionada con una menor concentración de minerales en la muestra analizada, posiblemente debido a factores como el tipo de suelo, condiciones agroecológicas o diferencias varietales. En caso de la papa cocida se reporta 1.32 % se observa un incremento pequeño que posiblemente sea debido al agua de cocción ya que el agua potable es agua dura y contiene ciertos minerales en el agua.

En relación con el contenido de proteína en la papa sin cocción, se obtuvo un valor de 2,26% (BH) y 8.32% (BS), el cual se encuentra dentro del rango de 6,95% a 11,38% en base seca (BS) registrado por Cerón-Lasso et al. (2018). Esto indica que, desde el punto de vista nutricional, la papa estudiada presenta un contenido proteico comparable al de otros genotipos criollos previamente caracterizados. Esta coincidencia puede atribuirse a similitudes en la genética del material vegetal o al estado de madurez en el momento de la cosecha. En cuanto a la papa cocida se reportó 1.81% donde se ve un baja en el contenido de proteínas por efecto de la cocción y la temperatura de cocinado.

Los carbohidratos en la papa sin cocción se encontraron 20.39% que fue el valor más alto encontrado en la papa debido a que en su composición existe el almidón compuesto de amilosa y amilopectina. En la papa cocida se reporta 19.18%

posiblemente sea por efecto de la gelatinización de los almidones que contiene la papa criolla ó de la variedad huevo de indio.

En cuanto a la grasa se encontró 0.034 % que es insignificante y en la papa cocida se 0.01% ; En cuanto a la grasa se encontró 0.034 % en la papa cruda y un contenido que es insignificante y en la papa cocida se 0.01% las muestras analizadas dan cuenta de valores correspondiente a un tubérculo típico, es decir, con alto contenido de almidón y contenido energético y bajo contenido de lípidos y proteínas, similar a otros como el de ñame y yuca, con lo cual se considera que su consumo es adecuado para la población (Jimenez et al, 2017).

4.2 Pollo.

En cuanto al pollo; los resultados obtenidos en el presente estudio tienen un promedio humedad del (76.01%) se encuentran ligeramente por encima del rango reportado por Hailemariam et al. (2022), quienes informaron valores de 73.20% a 74.51% en carne de pechuga de pollo en sus diferentes genotipos; y se encuentra dentro del rango (74.5 – 77.0%) reportado por Dalle Zotte et al. (2020). Esta diferencia podría atribuirse a factores como la raza de las aves, la dieta suministrada o las condiciones de crianza, ya que dichos parámetros influyen directamente en la capacidad de retención de agua del tejido muscular. En cuanto al pollo cocido se reporta 63.57 % donde se observó una disminución de cerca del 13.44% debido a que la carne de pollo al realizarse la cocción por efecto de la temperatura y calentamiento tiende a salir el agua de los músculos.

Respecto a la proteína cruda, el valor hallado (18.72%) fue menor al rango señalado por Hailemariam et al. (2022), que varió entre 19.18% y 21.28% en sus diferentes genotipos de pollo y también es inferior reportado por Dalle Zotte et al. (2020) (19.8 – 23.6%). Esta diferencia puede explicarse por variaciones en el manejo zootécnico, el tipo de alimentación, así como la edad al sacrificio, factores

que influyen significativamente en la composición proteica del músculo. En cuanto al pollo cocido 19.71% se explicó que por efecto de la cocción y al ser la parte del pecho del pollo reporta una similitud a los reportados por Dalle Zotte (2020)

En el caso del contenido de grasa, el presente estudio reportó un valor considerablemente más bajo (0.358%) en comparación con el rango de 3.10% a 4.25% informado por Hailemariam et al. (2022), también se observó que los resultados se encuentran dentro del rango según lo reportado por Dalle Zotte et al. (2020) (0.45 – 1.59%). Esta reducción podría estar relacionada con el estado fisiológico del ave, el sistema de crianza o la composición de la dieta, aspectos que determinan la deposición de grasa intramuscular. En la carne de pollo cocido se reportó un porcentaje de gras de 1.13% el cual se considera bajo por tratarse de la parte pechuga ya que el pollo tiene zonas o partes de más grasa

El análisis de ceniza mostró un valor de 1.17%, el cual se encuentra dentro del rango de los resultados (1.08 – 1.19%) reportado por Dalle Zotte et al. (2020) y también se muestra resultados ligeramente inferiores al rango (1.34% - 1.47%) indicado por Hailemariam et al. (2022). Esta diferencia puede deberse al contenido mineral presente en la dieta, así como a factores ambientales propios de la crianza.

En cuanto a la fibra de la carne de pollo sin cocción y cocida se obtuvo fibra cruda 0% y carbohidratos 4.07%, mientras que en el estudio de comparación se reportaron valores de fibra entre 1.01% y 1.22. La ausencia de fibra en este análisis era esperada, ya que la fibra cruda es escasa o nula en tejidos musculares, mientras

que el contenido de carbohidratos responde principalmente a la presencia de glucógeno muscular, lo que explica su diferencia frente al estudio citado.

4.3 Zanahoria.

El agua reportado como porcentaje de humedad en la zanahoria sin cocción fue de 88.94% y del cocido fue de 83.58 % y se observa que existe una disminución que se atribuye al tipo de cocción por efecto de la temperatura existe una pérdida de agua que es el componente más abundante de la zanahoria, seguido por los hidratos de carbono que se reportó 7.25% y en la zanahoria cocida se encontró 10.88% esta diferencia a que por efecto de la temperatura y tiempo de cocción los almidones han sido cocidos y se generaron una gelatinización además siendo los hidratos de carbono los que aportan energía . Al tratarse de una raíz, absorbe los nutrientes y los asimila en forma de azúcares. Contiene 2.52% de la benéfica fibra dietética a base de celulosa y de otros polisacáridos; Su ligero dulzor se debe a 5 o 6% de glucosa, sacarosa y fructosa que se incrementa en el vegetal tierno y de menor tamaño y que resalta en la cocción (Badui, 2012).

4.4 Análisis de los alimentos cocidos por la cocina tipo c.

En la tabla 6 se muestran los resultados de los alimentos analizados en el Ultra High Performance Liquid Chromatography.

Tabla 6.

Resultados del análisis de aminoácidos por el método de UHPLC en las muestras de los alimentos cocidos en la cocina tipo c.

Aminoácido	Cantidades en Alimento (mg/100 g de harina)		
	Papa	Zanahoria	Pollo
L-Serina	113,32	51,07	992,67

L-Arginina	139,92	143,88	1152,17
L-Glicina	3,75	3,25	524,94
L-Ácido aspártico	286,46	41,95	513,40
L-Treonina	120,09	89,79	1274,04
L-Alanina	53,61	45,34	1703,52
L-Ácido glutámico	28,40	17,51	35,78
L-Prolina	34,45	4,38	325,66
L-Metionina	23,83	12,32	179,46
L-Valina	19,98	ND	ND
L-Tirosina	24,09	15,94	175,75
L-Isoleucina	46,37	22,37	462,47
L-Leucina	18,32	1,75	147,10
L-Fenilalanina	113,32	13,08	256,04
L-Histidina	ND	124,12	ND
L-Cisteina	ND	100,07	1092,59
L-Lisina	ND	ND	83,66

ND: No Determinado

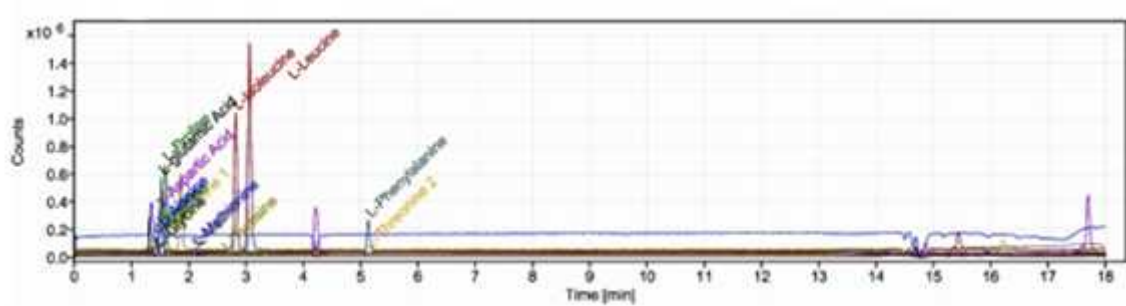
Al comparar los alimentos sin y con cocción se observaron elevadas diferencias en el contenido de aminoácidos. Se determinó la reducción considerable de ácido glutámico y aspártico en las tres matrices alimentarias. Esto es debido a los procesos térmicos durante la ebullición en la cocción, que se explica por el arrastre de aminoácidos solubles hacia el líquido de cocción, en este caso el agua.

En el análisis se observó que aminoácidos esenciales como lisina y leucina muestran valores menores que pollo crudo, por lo que el tipo de cocción influye de modo crítico en la preservación nutricional del alimento. Estudios revelan que al cocer el pollo, se retiene diferentes nutrientes, como los aminoácidos; aunque, otras sustancias como lisina e isoleucina pueden disminuir drásticamente en preparaciones a altas temperaturas; también, se observó que en las muestras de papa y zanahoria se determinó una elevada reducción de cantidades de aminoácidos como ácido glutámico, glicina y leucina, lo que coincide en reportes que indican

una disminución de nutrientes en alimentos cocidos; la figura 4 muestra un resultado cromatográfico del UHPLC que indica presencia de aminoácidos.

Figura 4

Aminoácidos identificados en la papa cocida en la cocina solar tipo c.



4.5 Análisis de Dureza

El análisis de Textura se muestra en las figuras de color azul, resultado del texturómetro.

Figura 5

Curva característica de carga vs. Tiempo para la papa. Cocina tipo c

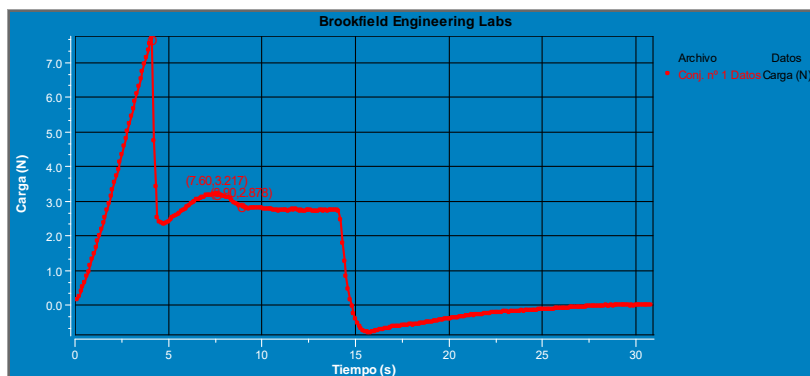


Figura 6

Curva característica de carga vs. Tiempo para la papa. Cocina tipo b

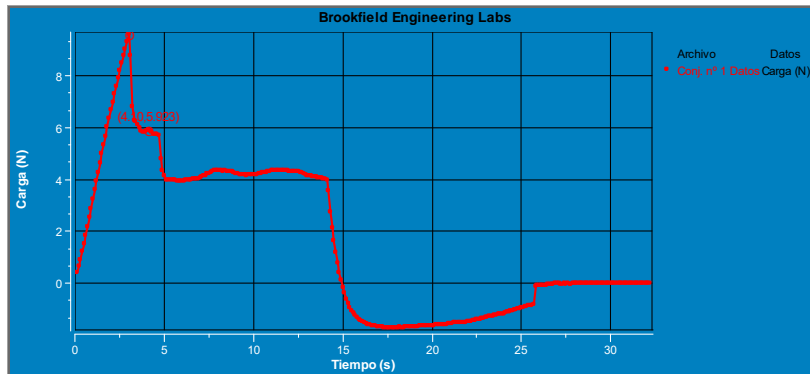


Figura 7

Curva característica de carga vs. Tiempo para la papa. Cocina tipo a

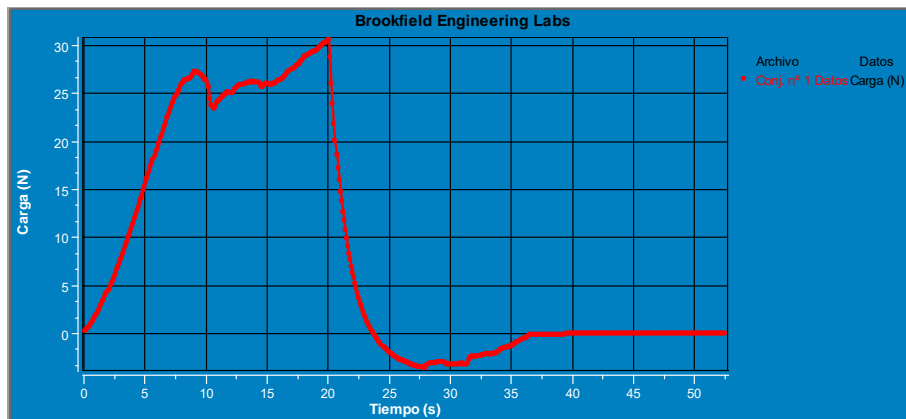


Figura 8

Curva característica de carga vs. Tiempo para la papa. Cocina tipo a

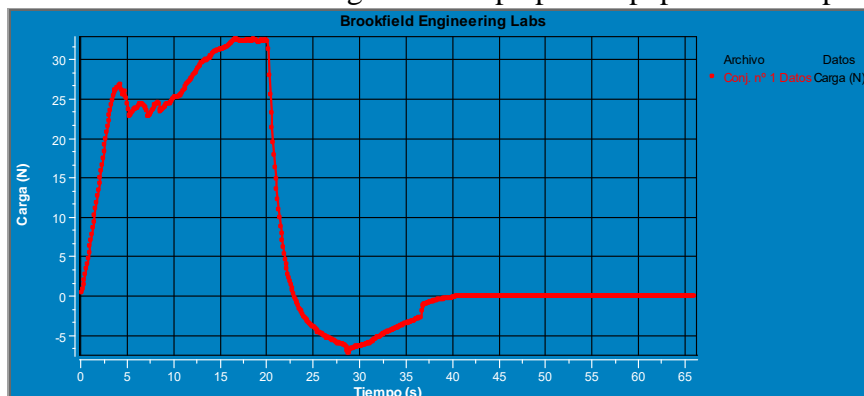


Figura 9

Curva característica de carga vs. Tiempo para la zanahoria. Cocina tipo a

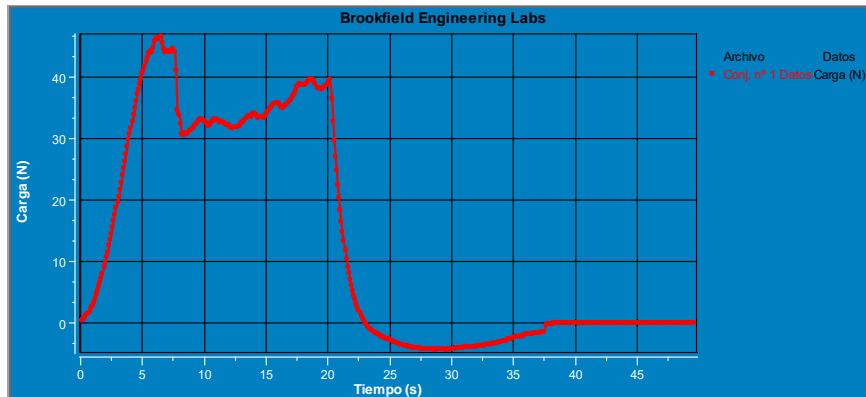


Figura 10

Curva característica de carga vs. Tiempo para la papa. Cocina tipo a

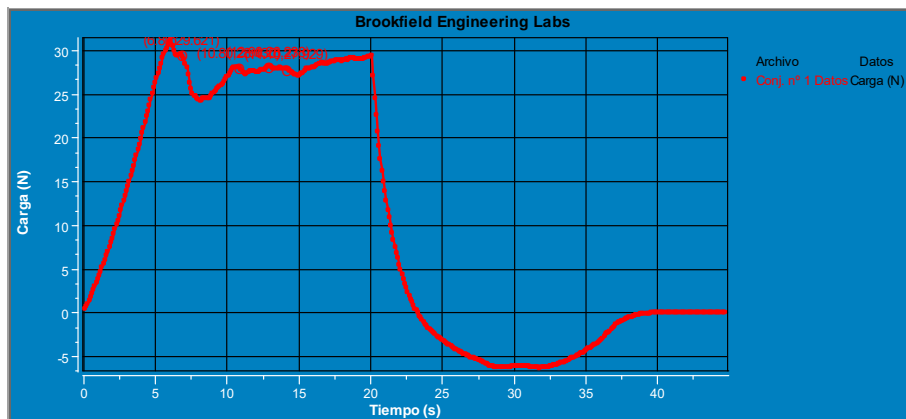


Figura 11

Curva característica de carga vs. Tiempo para la zanahoria. Cocina tipo c

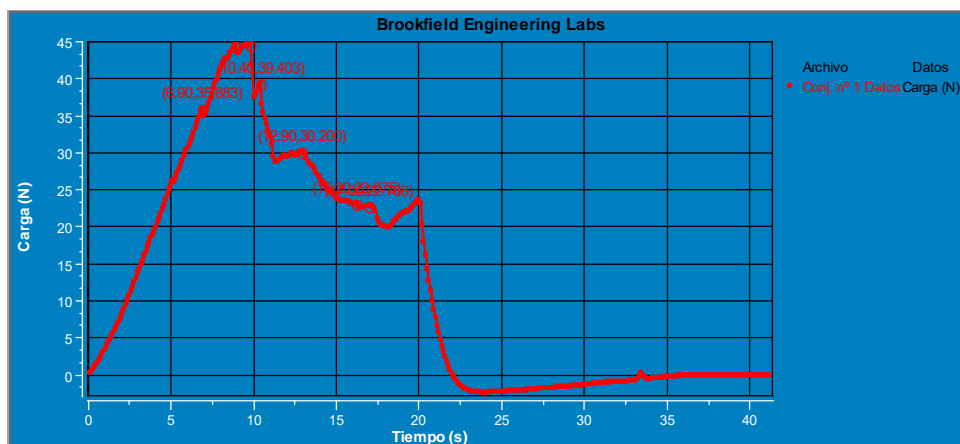


Figura 12

Curva característica de carga vs. Tiempo para la zanahoria. Cocina tipo b

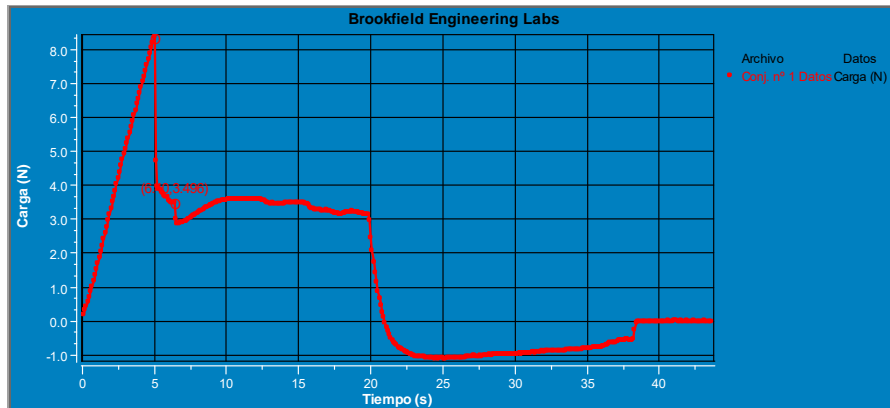


Figura 13

Curva característica de carga vs. Tiempo para la Zanahoria. Cocina tipo a

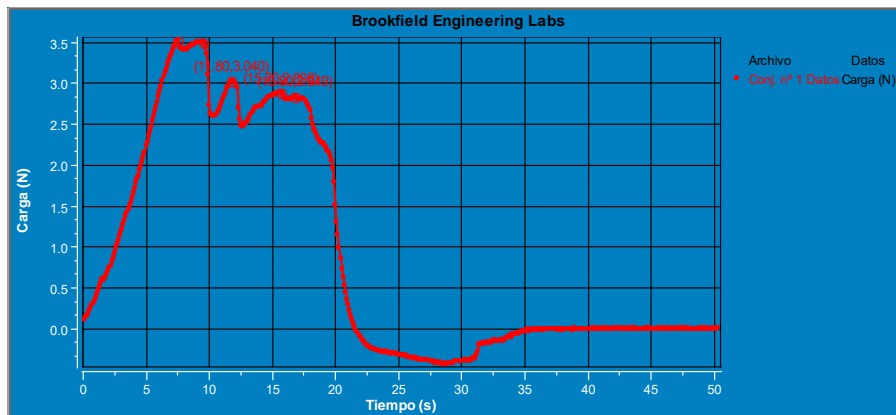
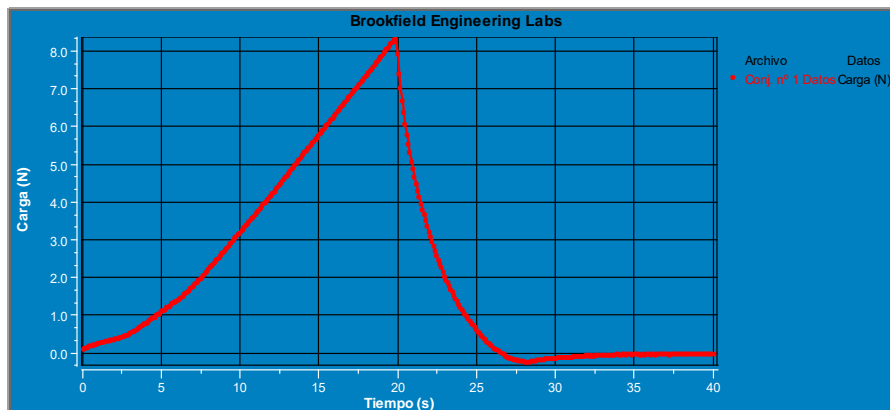


Figura 14

Curva característica de carga vs. Tiempo para el pollo. Cocina tipo b



En las figuras del 5 al 14 se muestran diferentes ensayos, a los que fueron sometidos los alimentos cocinados por las cocinas solares, en donde se observa las diferentes resistencias que presentaron los alimentos, a pesar de estar cocidos. Esta variación muestra lo relativo que es la condición cocida, no depende del tipo de cocina, no muestra un patrón definido.

4.6 Resultados del Diseño experimental

En la tabla 7 y las siguientes se presentan los resultados del diseño experimental para determinar que cocina es la más adecuada en cuanto a las variables en estudio, que dispositivo solar cocina los alimentos con mayor calidad y menor tiempo.

Tabla 7

Información del diseño

Característica	Descripción
Tipo de estudio	Superficie de respuesta
Tipo de diseño	A-óptimo
Modelo de diseño	Cuadrático
Subtipo	Aleatorios
Corridas	21.00
Bloques	Sin bloqueos

En la tabla 7 se da información de las características del diseño usando el software Desingn Expert.

Tabla 8

Corridas experimentales

Run	A:Tiempo de cocción (min)	B:Tipo de cocina	C:Tipo de alimento (g)	Calidad sensorial (valor)	Dureza (N/mm)	Emisión evitada de CO ₂ (m ³)
2	40	Caja	Pollo	3.90	4.2	40.00
3	55	Caja	Zanahoria	2.16	3.9	55.00
8	25	Caja	Papa	4.34	2.9	25.00
9	46.15	Caja	Papa	3.14	3.0	46.15
10	55	Caja	Pollo	2.90	4.2	55.00

16	33.85	Caja	Zanahoria	3.66	2.8	33.85
4	40	Concentrador parabólico	Pollo	3.41	4.5	40.00
5	33.1	Concentrador parabólico	Papa	3.59	3.0	33.10
6	55	Concentrador parabólico	Papa	3.27	3.0	55.00
11	55	Concentrador parabólico	Papa	3.11	3.0	55.00
12	26.5	Concentrador parabólico	Pollo	3.15	4.5	26.50
18	46.45	Concentrador parabólico	Zanahoria	3.87	3.0	46.85
19	53.5	Concentrador parabólico	Pollo	3.09	4.4	40.00
20	33.1	Concentrador parabólico	Papa	3.83	2.0	33.85
21	25	Concentrador parabólico	Zanahoria	3.89	3.0	40.00
1	26.5	CPCTV	Papa	4.08	2.8	26.50
7	40	CPCTV	Pollo	3.73	4.3	40.00
13	55	CPCTV	Zanahoria	2.62	2.9	55.00
14	53.5	CPCTV	Papa	2.77	3.2	53.50
15	40	CPCTV	Pollo	3.73	4.7	40.00
17	40	CPCTV	Zanahoria	3.78	3.1	40.00

La tabla muestra los tratamientos evaluados en el diseño experimental considerando los factores tiempo de cocción, tipo de cocina y tipo de alimento, y sus efectos sobre las respuestas calidad sensorial, dureza y emisión de CO₂.

Tabla 9

Factores

Factor	Nombre	Unidad	Tipo	Subtipo	Mínimo	Máximo	Cód. bajo	Cód. alto	Promedio	Des. Est.
A	Tiempo de cocción	min	Numérico	Continuo	25.00	55.00	25.00	+1 55.00	41.79	11.07
B	Tipo de cocina		Categorico	Nominal	Caja	CPCTV			Niveles :	3.00

C	Tipo de alimento	g	Categoría	Nominal	Papa	Pollo	Niveles	3.00
---	------------------	---	-----------	---------	------	-------	---------	------

Tabla 10

Respuestas

Nombre	Unidad	Mínimo	Máximo	Promedio	Des. Est.	Razón	C.V.%
Calidad sensorial	valor	2.16	4.34	3.43	0.5391	2.01	2.97
Dureza	N/mm	2.0	4.7	3.45	0.7639	2.35	9.75
Emisión evitada de CO ₂	m ³	25.00	55.00	41.92	10.07	2.20	10.11

Figura 15

Espacio de diseño

Correlation: Undefined

Color points by

Run

1  21

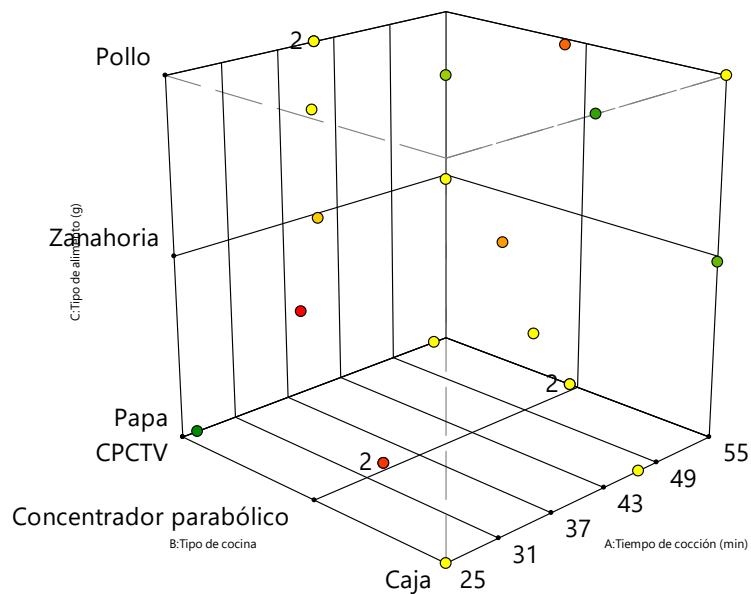


Tabla 11

Respuesta 1: **Calidad sensorial**

ANOVA para modelo cuadrático

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	F	p
Modelo	5.75	14	0.4108	39.67	< 0.0001

A-Tiempo de cocción	2.65	1	2.65	256.20	< 0.0001
B-Tipo de cocina	0.0611	2	0.0306	2.95	0.1281
C-Tipo de alimento	0.0049	2	0.0025	0.2385	0.7950
AB	0.9864	2	0.4932	47.63	0.0002
AC	0.0490	2	0.0245	2.37	0.1746
BC	0.6762	4	0.1690	16.33	0.0022
A ²	0.2271	1	0.2271	21.93	0.0034
Residual	0.0621	6	0.0104		
Falta de ajuste	0.0210	3	0.0070	0.5100	0.7029
Error puro	0.0411	3	0.0137		
Total	5.81	20			

En la tabla 11 se explica que la codificación factorial dice que la suma de cuadrados es Tipo II Clásico. El valor F del modelo de 39,67 implica que el modelo es significativo, solo hay un 0,01% de posibilidades de que se produzca un valor F tan grande debido al ruido, los valores p inferiores a 0,0500 indican que los términos del modelo son significativos. En este caso, A, AB, BC, A² son términos de modelo significativos. Los valores superiores a 0,1000 indican que los términos del modelo no son significativos.

El valor F de falta de ajuste de 0,51 implica que la falta de ajuste no es significativa en relación con el error puro. Hay un 70.29% de posibilidades de que un valor F de falta de ajuste tan grande pueda ocurrir debido al ruido.

Estadísticas de ajuste

R² 0.9893
R² ajustado 0.9644
R² predicción 0.8013

El modelo explica más del 90% de la variabilidad (R² = 0.99, R² ajustado=0.96).

Ecuación final en términos de factores codificados

$$\text{Calidad sensorial} = + 3.67 - 0.57 A - 0.04 B[1] + 0.01 B[2] - 0.02 C[1] + 0.02 C[2] - 0.31 AB[1] + 0.44 AB[2] - 0.06 AC[1] - 0.06 AC[2] + 0.01 B[1]C[1] + 0.01 B[2]C[1] - 0.3 B[1]C[2] + 0.3 B[2]C[2] - 0.29 A^2$$

La ecuación en términos de factores codificados se puede utilizar para hacer predicciones sobre la respuesta para niveles dados de cada factor. De forma predeterminada, los niveles altos de los factores se codifican como +1 y los niveles bajos se codifican como -1. La ecuación codificada es útil para identificar el impacto relativo de los factores comparando los coeficientes de los factores. El coeficiente negativo del tiempo de cocción confirma que una mayor duración reduce la calidad sensorial. Las interacciones AB y BC evidencian que la combinación de factores modifica sustancialmente la percepción.

Figura 16

Factor Coding: Actual

Calidad sensorial (valor)

● Design Points

X1 = B

X2 = C

Actual Factor

A = 40

■ C1 Papa

▲ C2 Zanahoria

◆ C3 Pollo

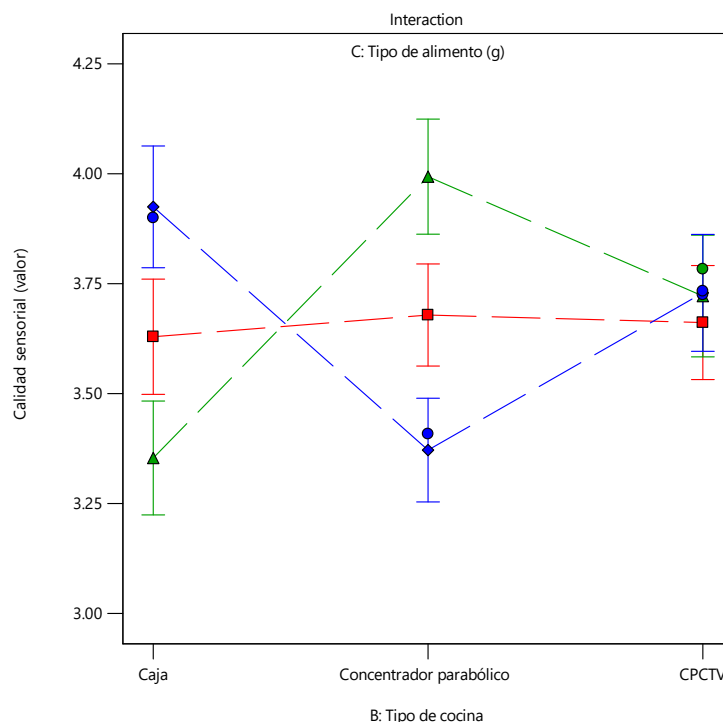


Tabla 12

Respuesta 2: Dureza

ANOVA para modelo lineal

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	F	p
Modelo	9.98	5	2.00	17.65	< 0.0001
A-Tiempo de cocción	0.1849	1	0.1849	1.63	0.2204
B-Tipo de cocina	0.0344	2	0.0172	0.1519	0.8603
C-Tipo de alimento	9.63	2	4.81	42.57	< 0.0001
Residual	1.70	15	0.1131		
Falta de ajuste	1.12	12	0.0930	0.4810	0.8435
Error puro	0.5800	3	0.1933		
Total	11.67	20			

La codificación factorial está codificada. La suma de cuadrados es Tipo II Clásico. El valor F del modelo de 17,65 implica que el modelo es significativo. Solo hay un 0,01% de posibilidades de que se produzca un valor F tan grande debido al ruido. **Los valores p** inferiores a 0,0500 indican que los términos del modelo son significativos. En este caso, C es un término modelo significativo. Los valores superiores a 0,1000 indican que los términos del modelo no son significativos. El **valor F de falta de ajuste** de 0,48 implica que la falta de ajuste no es significativa en relación con el error puro. Hay un 84.35% de posibilidades de que un valor F de falta de ajuste tan grande pueda ocurrir debido al ruido.

Estadísticas de ajuste

R² 0.8547
R² ajustado 0.8063
R² predicción 0.7218

El modelo explica más del 80% de la variabilidad (R² = 0.85, R² ajustado=0.81).

Ecuación final en términos de factores codificados

$$\text{Dureza} = + 3.45 + 0.13 A + 0.03 B[1] - 0.06 B[2] - 0.58 C[1] - 0.36 C[2]$$

De la ecuación, se confirma que el tipo de alimento influye más que el tiempo de cocción o la cocina. La dureza depende principalmente de la matriz alimentaria.

Figura 17

Factor Coding: Actual

Dureza (N/mm)

● Design Points

— 95% CI Bands

X1 = A

X2 = B

Actual Factor

C = Papa

■ B1 Caja

▲ B2 Concentrador parabólico

◆ B3 CPCTV

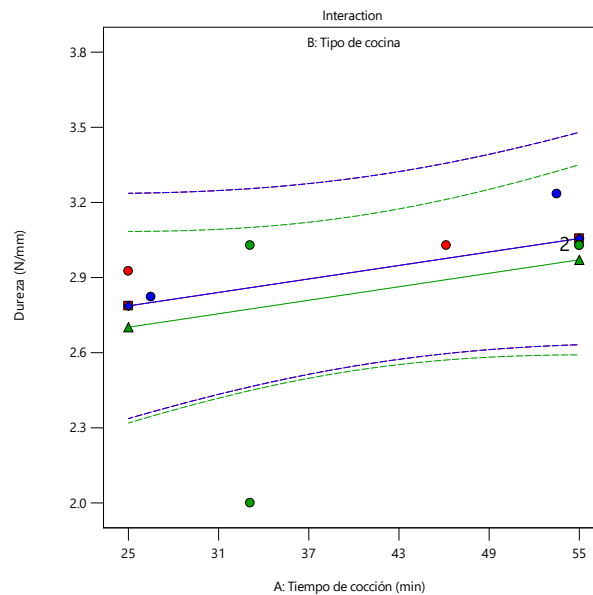


Tabla 13

Respuesta 3: Emisión evitada de CO₂

ANOVA para modelo lineal

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	F	p
Modelo	1758.24	5	351.65	19.60	< 0.0001
A-Tiempo de cocción	1665.73	1	1665.73	92.82	< 0.0001
B-Tipo de cocina	0.5247	2	0.2624	0.0146	0.9855
C-Tipo de alimento	68.27	2	34.14	1.90	0.1835
Residual	269.18	15	17.95		
Falta de ajuste	268.89	12	22.41	239.02	0.0004
Error puro	0.2813	3	0.0938		
Total	2027.41	20			

La codificación factorial está codificada (Si el diseño no corresponde no muestra la codificación) . La suma de cuadrados es Tipo II Clásico. El valor F del modelo de 19,60 implica que el modelo es significativo. Solo hay un 0,01% de posibilidades de que se produzca un valor F tan grande debido al ruido. Los valores p inferiores a 0,0500 indican que los términos del modelo son significativos. En este caso, A es un término modelo significativo. Los valores superiores a 0,1000 indican que los términos del modelo no son significativos. El valor F de falta de ajuste de 239.02 implica que la falta de ajuste es significativa. Solo hay un 0,04% de posibilidades de que se produzca un valor F de falta de ajuste tan grande debido al ruido.

Estadísticas de ajuste

R² 0.8672
R² ajustado 0.8230
R² predicción 0.7171

El modelo explica más del 80% de la variabilidad ($R^2 = 0.85$, R^2 ajustado=0.81).

Ecuación final en términos de factores codificados

Emisión evitada de CO₂ = + 40.54 + 12.43 A - 0.11 B[1] + 0.22 B[2] - 0.34 C[1] + 2.47 C[2]

El tiempo de cocción tiene el mayor impacto, incrementando las emisiones evitadas a mayor duración.

Figura 18

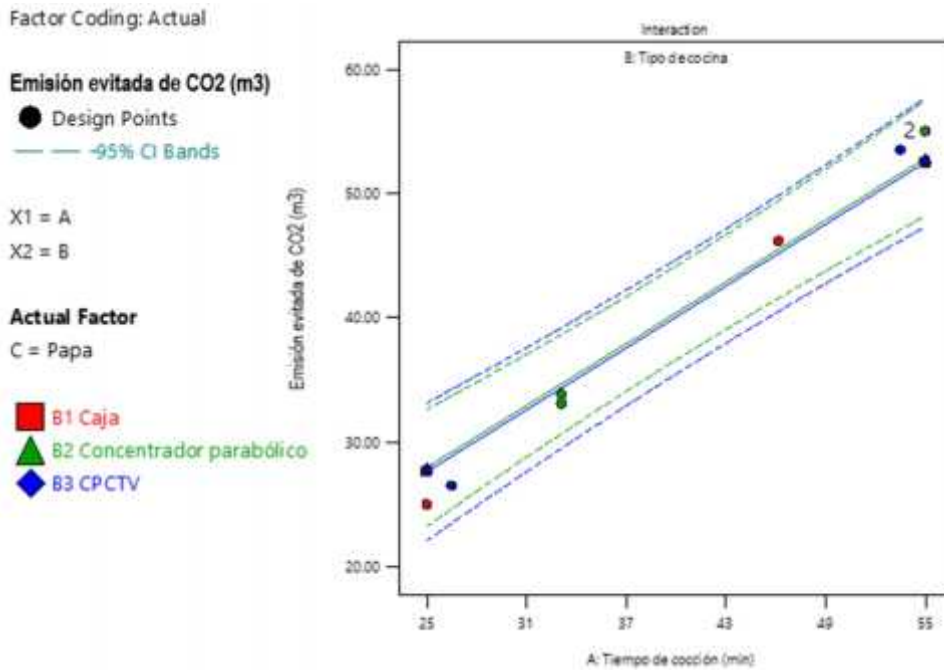


Tabla 14

Optimización para el alimento “Zanahoria”

Restricciones

Nombre	Objetivo	Lím. Inf.	Lím. Sup.	Peso Inf.	Peso Sup.	Importancia
A: Tiempo de cocción	en rango	25	55	1	1	3
B: Tipo de cocina	en rango	Caja	CPCTV	1	1	3
C: Tipo de alimento	en rango	Papa	Pollo	1	1	3
Calidad sensorial	maximizar	2.16	4.34	1	1	5
Dureza	en rango	3	4	1	1	3
Emisión evitada de CO ₂	minimizar	25	55	1	1	3

Tabla 15

Soluciones

Número	Tiempo de cocción	Tipo de cocina	Tipo de alimento	Calidad sensorial	Dureza	Emisión evitada de CO ₂	Deseabilidad
1	26.023	CPCTV	Zanahoria	4.178	3.000	31.317	0.872
2	26.023	Caja	Zanahoria	3.981	3.000	31.317	0.818

3	35.499	Concentrado parabólico	Zanahoria	4.026	3.000	39.491	0.708
4	51.937	CPCTV	Papa	2.871	3.000	49.978	0.254
5	51.937	Caja	Papa	2.693	3.000	49.978	0.212

La condición óptima de cocción de la zanahoria ocurre con 26 minutos en CPCTV, con calidad sensorial alta (4.18), dureza adecuada (3.0) y baja emisión evitada de CO₂ (31.3).

La deseabilidad global (0.872) se encuentra en un balance favorable.

Figura 19

Factor Coding: Actual

All Responses

● Design Points

X1 = A

Actual Factors

B = CPCTV

C = Zanahoria

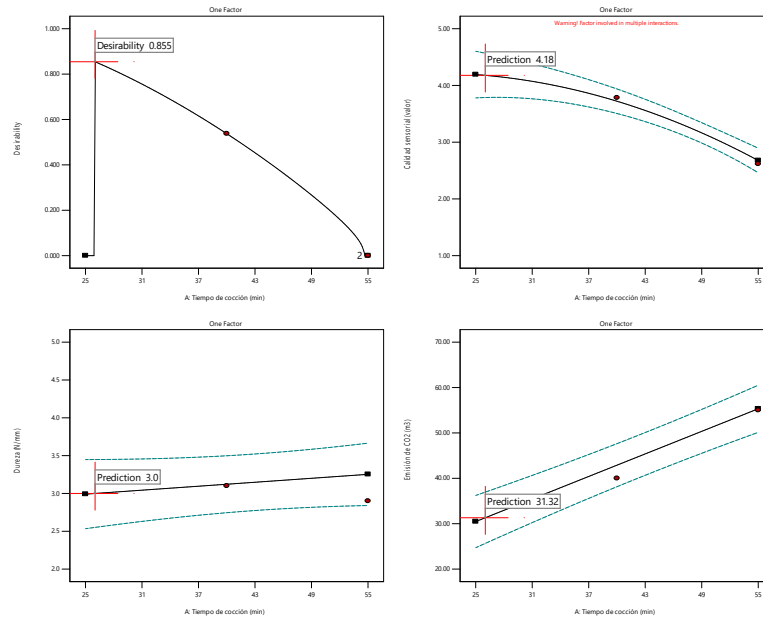


Tabla 16

Optimización para el alimento “Papa”

Restricciones

Nombre	Objetivo	Lím. Inf.	Lím. Sup.	Peso Inf.	Peso Sup.	Importancia
A: Tiempo de cocción	en rango	25	55	1	1	3
B: Tipo de cocina	en rango	Caja	CPCTV	1	1	3
C: Tipo de alimento	igual a papa	Papa	Pollo	1	1	3
Calidad sensorial	maximizar	2.16	4.34	1	1	5
Dureza	en rango	3	4	1	1	3
Emisión de evitada CO ₂	minimizar	25	55	1	1	3

Tabla 17

Soluciones

Número	Tiempo de cocción	Tipo de cocina	Tipo de alimento	Calidad sensorial	Emisión		
					Dureza	evitada de CO ₂	Deseabilidad
1	25.00	Caja	Papa	4.291	2.765	27.664	0.958
2	25.00	CPCTV	Papa	4.139	2.765	27.664	0.908
3	27.07	Concentrador parabólico	Papa	3.641	2.700	29.704	0.722
4	26.89	Concentrador parabólico	Papa	3.637	2.699	29.549	0.722

Los mejores resultados de cocción de la papa huairo se logran con la CPCTV y con tiempos largos (~52 min), pero la calidad sensorial es baja (2.7–2.9) y la emisión evitada de CO elevada (~50 m³). La deseabilidad global es baja (0.212–0.254).

Figura 20

Factor Coding: Actual

All Responses

● Design Points

X1 = A

Actual Factors

B = Caja

C = Papa

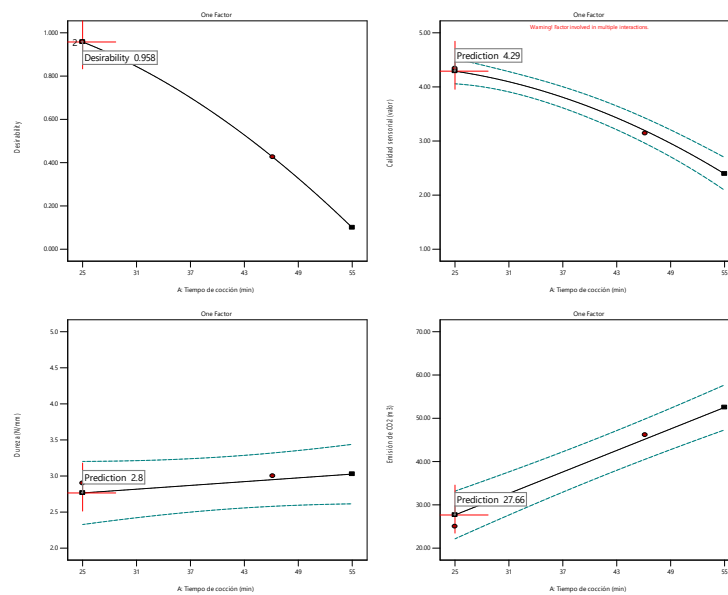


Tabla 18

Optimización para el alimento “Pollo”

Restricciones

Nombre	Objetivo	Lím. Inf.	Lím. Sup.	Peso Inf.	Peso Sup.	Importancia
A: Tiempo de cocción	en rango	25	55	1	1	3
B: Tipo de cocina	en rango	Caja	CPCTV	1	1	3
C: Tipo de alimento	igual a pollo	Papa	Pollo	1	1	3
Calidad sensorial	en rango	3.9	4.34	1	1	5
Dureza	en rango	2.7	4.3	1	1	3
Emisión evitada de CO ₂	minimizar	25	55	1	1	3

Tabla 19

Soluciones

Número	Tiempo de cocción	Tipo de cocina	Tipo de alimento	Calidad sensorial	Dureza	Emisión evitada de CO₂	Deseabilidad
1	25.00	CPCTV	Pollo	4.020	4.286	25.874	0.971

La mejor condición en la cocción de pollo es 25 minutos en CPCTV, con calidad sensorial muy alta (4.02), dureza aceptable (4.29) y la menor emisión evitada de CO₂ (25.87). La deseabilidad (0.971) es prácticamente óptima. El pollo es el alimento más favorable del estudio.

Figura 21

Factor Coding: Actual

All Responses

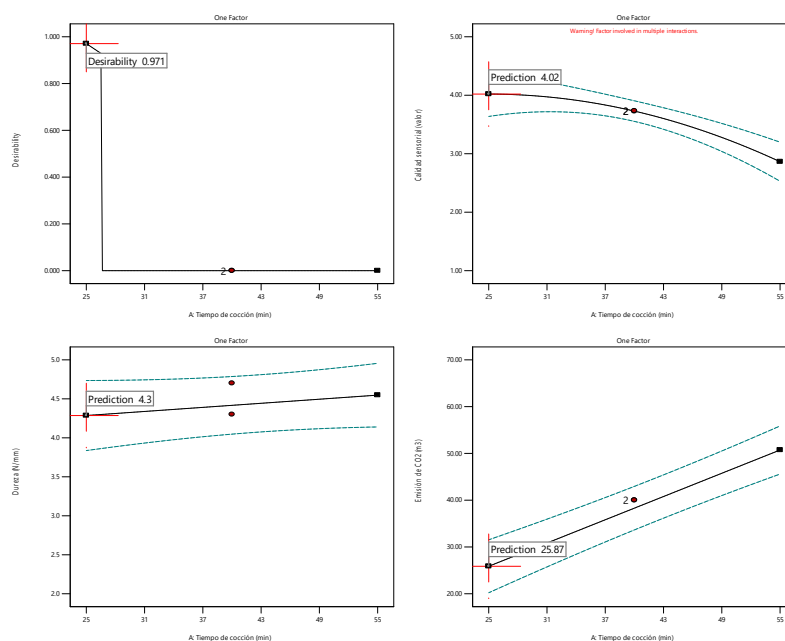
● Design Points

X1 = A

Actual Factors

B = CPCTV

C = Pollo



Del análisis estadístico, la mejor condición en la cocción de pollo es 25 minutos en Cocina c, con calidad sensorial muy alta (4.02), dureza aceptable (4.29) y la menor emisión evitada de CO (25.87). La deseabilidad (0.971) es prácticamente óptima, como se muestra en la tabla 19.

En la tabla 20 se muestra el resultado del análisis de los minerales de los alimentos cocidos en la cocina tipo c, dados por el equipo: Espectrómetro de Fluorescencia de rayos X por Reflexión total, en donde se aprecia que el contenido de minerales en los alimentos escogidos para este trabajo; los minerales son los nutrientes más básicos de los alimentos en donde se demuestra que dichos nutrientes permanecen en los alimentos.

4.7 Resultados del análisis en la detección de metales en los alimentos por el espectrógrafo de rayos X.

Tabla 20

Resultados del análisis de metales en los alimentos, cocidos por la cocina tipo c

Muestra:	Pollo	Muestra:	Papa	Muestra:	Zanahoria
N°Disco:	845	N°Disco:	903	N°Disco:	905
Element	Concentration (mg/kg)	Element	Concentration (mg/kg)	Element	Concentration (mg/kg)
Magnesio	ND	Magnesio	ND	Magnesio	ND
Aluminio	ND	Aluminio	ND	Aluminio	ND
Fósforo	1184	Fósforo	146.9	Fósforo	287.2
Azufre	2205	Azufre	207.3	Azufre	415.2
Cloro	4706	Cloro	171.2	Cloro	390.5
Potasio	8093	Potasio	6958	Potasio	6227
Calcio	165.8	Calcio	141.4	Calcio	1426
Escandio	ND	Escandio	ND	Escandio	0.646
Titán	0.996	Titán	1.794	Titán	6.919
Vanadio	ND	Vanadio	ND	Vanadio	0.905
Cromo	9.961	Cromo	1.165	Cromo	1.409
Manganeso	1.229	Manganeso	5.798	Manganeso	9.788
Hierro	48.79	Hierro	40.91	Hierro	74.14
Cobalto	0.127	Cobalto	ND	Cobalto	ND
Níquel	5.114	Níquel	2.824	Níquel	6.128
Cobre	2.218	Cobre	5.499	Cobre	10.53
Cinc	26.92	Cinc	18.12	Cinc	35.67
Galio	645.2	Galio	666.7	Galio	666.7
Arsénico	ND	Arsénico	ND	Arsénico	ND
Selenio	0.459	Selenio	ND	Selenio	ND
Bromo	40.02	Bromo	12.18	Bromo	13.13
Itrio	2.886	Itrio	0.828	Itrio	0.513
Circonio	248.5	Circonio	ND	Circonio	45.92
Cadmio	3.082	Cadmio	11.38	Cadmio	5.772
Estaño	17.19	Estaño	12.14	Estaño	25.27
Mercurio	0.389	Mercurio	2.437	Mercurio	26.94
Plomo	0.316	Plomo	0.661	Plomo	0.74

ND: No determinado

4.8 Análisis de la emisión evitada de CO₂ por sustitución de combustible.

De acuerdo con las bases de datos internacionales, se tienen los siguientes ejemplos de factores de emisión de CO para combustibles fósiles, expresados generalmente en kg CO por GJ o kg CO por TJ (multiplicando por 1 000), la T es tera la G es giga y J es Joul (MINEM, 2020). A continuación, algunos valores representativos:

Tabla 21

Factores equivalentes en kg de CO₂ por cada GJ producido al quemar el combustible.

Combustible fósil	Factor típico de emisión CO
Gas natural (seco)	~ 56 kg CO /GJ
Diesel (aceite diésel)	~ 74.1 kg CO /GJ
Gasolina	~ 69.3 kg CO /GJ
Fuel-oil residual (heavy fuel oil)	~ 77.4 kg CO /GJ

En este trabajo se tomó como referencia el combustible, gas natural, su poder calorífico es 0.0401 GJ/m³ quemado de gas natural; por lo tanto, por cada m³ quemado de gas natural se produce: 0.0401 GJ x 56 kg CO /GJ = 2.246 kg de CO₂ emitidos.

La cocción de la papa, el pollo y la zanahoria, se presentan en la tabla 22:

Tabla 22

Alimentos cocidos por una cocina convencional a gas natural.

Alimento	Cantidad en kg	Tiempo de cocción (min)	m ³ de gas	CO ₂ emitidos (kg)
papa	0,589	37	0.093	0,209
zanahoria	0,697	40	0.098	0,220
pollo	0,347	14	0.036	0,081

Tabla 23

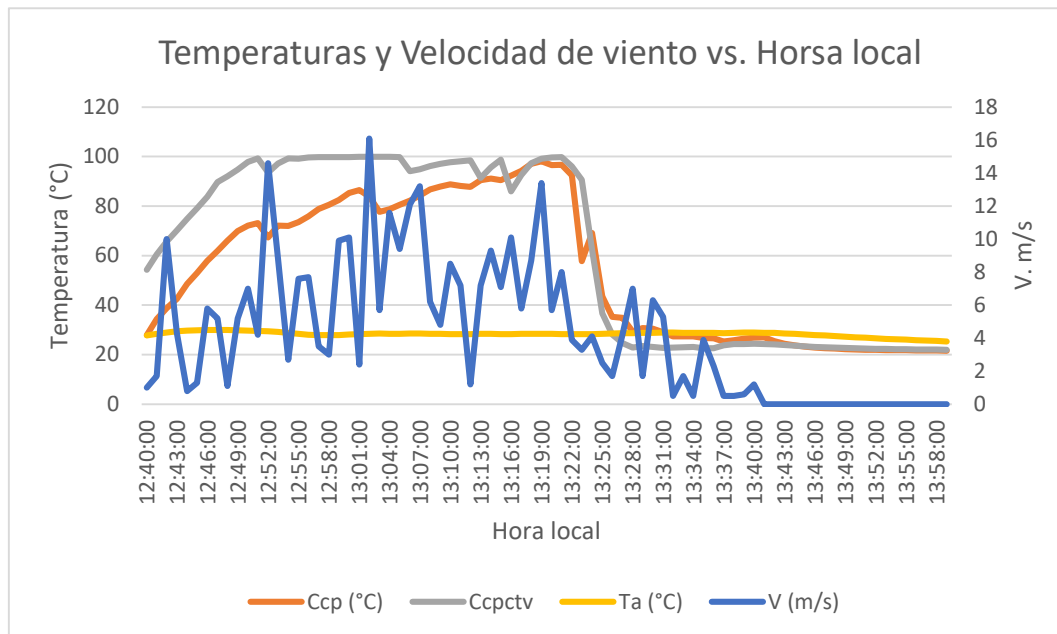
Alimentos cocidos por las cocinas solares

Tipo de cocina	Cantidad en kg	papa	zanahoria	pollo
		Tiempo de cocción (min)		
Tipo caja, a	0,310	58,6	55,2	50,3
Concentrador parabólico, b	0,350	25,5	21,8	17,7
Concentrador P. compuesto con Tubo Vacío, c	0,347	22,1	25,6	19,5
Emisión evitada de CO ₂ (kg)		0,209	0,220	0,081

Aquí los tiempos son promedios y varían respecto de la cantidad, velocidad de viento y la irradiancia, para un día de réplica se observa en la figura 22:

Figura 22.

Se muestra la variación de temperatura vs hora local



Se puede observar la variabilidad de la velocidad del viento.

La eficiencia térmica de la cocina concentrador parabólico se observa en la figura 23, la eficiencia térmica de la cocina solar tipo caja se muestra en la figura 24.

Figura 23

Eficiencia térmica de la cocina concentrador parabólico

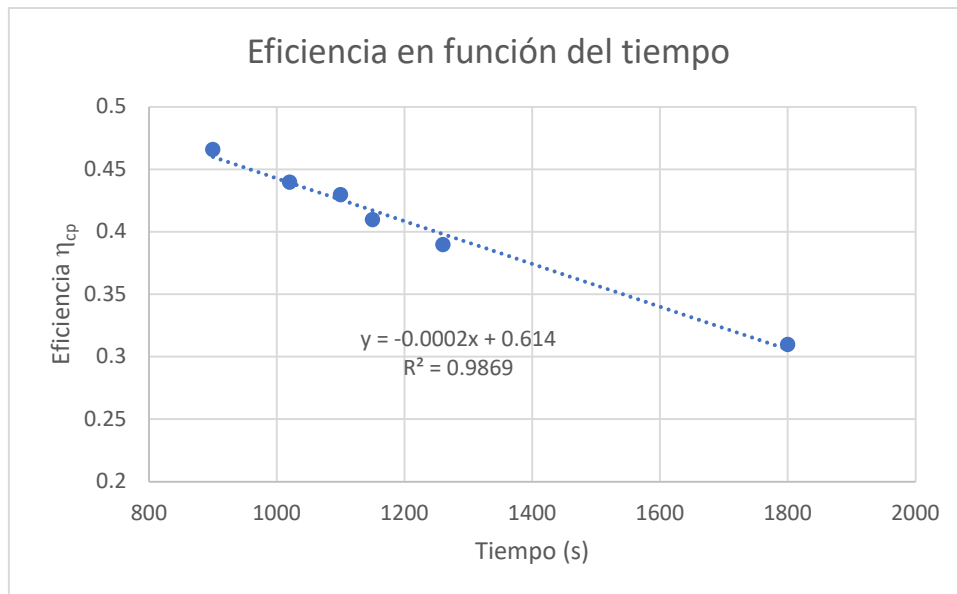
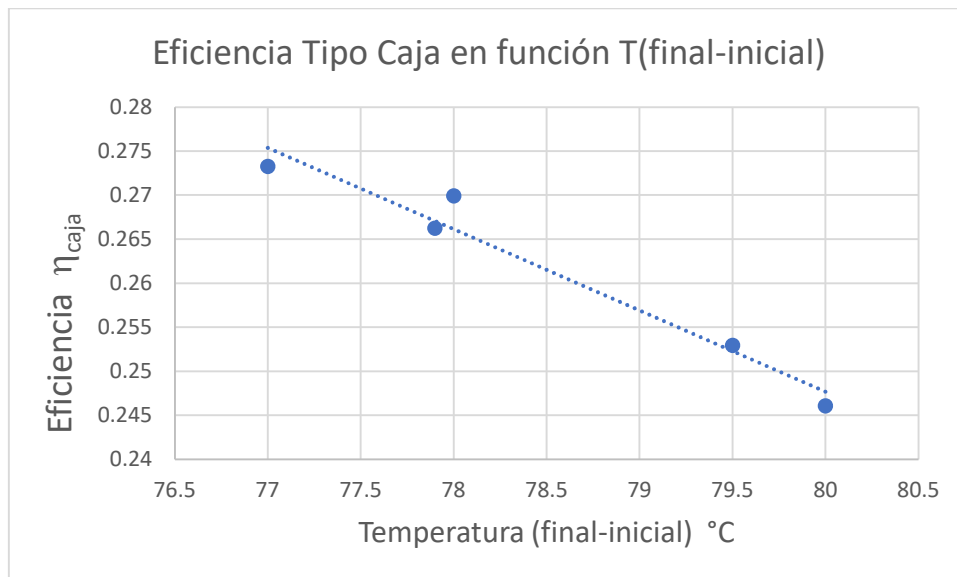


Figura 24

Eficiencia térmica de la cocina tipo caja



Las eficiencias de las cocinas están de acuerdo a Wassie et al, (2022); Ahmed et al, (2020); Koshti et al, (2023) y Khatri et al, (2023); estos valores se encontraron siguiendo las normas establecidas en la metodología.

La cantidad de emisión evitada de CO_2 por el uso de la energía solar es bastante considerable si multiplicamos, que, en promedio, en una hora de consumo de gas la

emisión evitada de CO₂ es de 0,4 kg/h. hogar en 5 horas 2 kg/hogar día; una población de 01 millón de habitantes dejaría de emitir 4 mil Ton de CO₂ al medio ambiente diario.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

- Las eficiencias térmicas de las cocinas solares son como sigue: Cocina solar tipo caja es menor que la cocina solar tipo concentrador parabólico, y esta a su vez es ligeramente menor que la cocina tipo concentrador compuesto con tubo de vacío.
- Respecto al tiempo de cocción depende de varios criterios, como el criterio de la cocción del alimento, la cantidad; sin embargo, una vez alcanzada la temperatura de cocción, está entre 90 y 98 °C, debe pasar un tiempo donde cambia la dureza del alimento. No existe una diferencia significativa entre los tiempos de cocción de los tres alimentos y las tres cocinas; por ejemplo a mayor velocidad de viento, aumenta el tiempo de cocción en el segundo tipo de cocina, en el tipo caja no aumenta, salvo la carne que debe hacerse en trozos, por la preparación, y su cocción se hace en menor tiempo.
- La calidad de cocción no representa un peligro en cuanto a su disminución de los nutrientes, se ha determinado que estos se conservan en su totalidad.
- Usar cocinas solares, es cambiar el tipo de energía que se usa en otras cocinas convencionales, donde existe combustión. Este proceso genera mayormente gases de efecto invernadero entre otros; por lo tanto, la emisión evitada de CO₂ al considerar sus equivalentes resulta en una cantidad de alrededor de 4 000 Tn diario, si una población de un millón de personas usara cualquiera de las cocinas solares, con respecto a las cocinas tradicionales.

En este trabajo se hicieron los cálculos para estimar emisiones evitadas por sustitución de combustible por medio de la metodología Gold Estándar de CO₂, los resultados son fehacientes al sustituir cocinas solares por las tradicionales.

5.2 Recomendaciones

- Realizar una propuesta de subvención económica por parte del estado u otra entidad particular, a fin de existir un financiamiento y así motivar a las familias cambiar los hábitos de cocinar, transfiriendo poco a poco estas nuevas tecnologías y usen las cocinas solares que en sus tres tipos cualquiera cumple el objetivo de emisión evitada de CO₂ el cual podría mitigar el cambio climático.
- Impulsar la creación de empresas que fabriquen cocinas solares para que en el futuro cercano la población adopte en gran porcentaje el uso de una de las cocinas para la cocción de sus alimentos y así sumar a la emisión evitada de CO₂

CAPÍTULO VI

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Ashmed Masum, Al-Amin Rahmatullah, Ahammed shakil, Ahmedfoysal, Saleque Ahmeds and Rahman Abdur, (2020) Design, construction and testing of parabolic solar cooker for rural households and refugee camp. Department of therma Engineering University of the Bosque, Bilbao, España.
- Aramesh, M., Ghalebani, M., Kasaeian, A., Zamani, H., Lorenzini, G., Mahian, O., & Wongwises, S. (2019). A review of recent advances in solar cooking technology. *Renewable Energy*, *140*, 419–435. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.021>
- AIE (2021), Perspectivas energéticas mundiales 2021 , AIE, París
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>
- Balouktsi, M., & Lützkendorf, T. (2020). *On the definition and prioritization of strategies and actions to minimize greenhouse gas emissions in cities : An actor-oriented approach* *On the definition and prioritization of strategies and actions to minimize greenhouse gas emissions in cities : An a.* 2–12.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/410/1/012004>
- Baylón, J. S., Pérez, M., García Morán, Y., Tintos Gómez, A., & González López, J. M. (2024). Design and evaluation of a solar cooker with reused evacuated tube: Enhancing termal efficiency for food cooking. *South Florida Journal of Development*, *5*(12), 01-18. <https://doi.org/10.46932/sfjdv5n12-055>.
- Ceviz, M. A., et al. (2024). A comprehensive review of solar cooking systems. *WIREs Energy & Environment*. <https://doi.org/10.1002/wene.516>.
- Congreso de la República del Perú, (2005). Ley N.º 28611, Ley General del Ambiente.
- Cerón-Lasso, M., Alzate-Arbeláez, A. F., Rojano, B. A., & Núñez-Lopez, C. E. (2018). Composición fisicoquímica y propiedades antioxidantes de genotipos nativos de papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo Phureja). *Información Tecnológica*, *29*(3), 205–216. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000300205>
- Dalle Zotte, A., Ricci, R., Cullere, M., Serva, L., Tenti, S., & Marchesini, G. (2020). Research note: Effect of chicken genotype and white striping–wooden breast condition on breast meat proximate composition and amino acid profile. *Poultry Science*, *99*(3), 1797–1803. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.10.066>
- Decreto Supremo N.º 019-2009-MINAM, Reglamento de la Ley del Sistema Nacional

- de Evaluación de Impacto Ambiental. Ministerio del Ambiente, 2009.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2006). *Solar Engineering of Thermal Process*.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2020). *of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind with Nathan Blair*.
- Duflou, J. R., Sutherland, J. W., Dornfeld, D., Herrmann, C., Jeswiet, J., Kara, S., Hauschild, M., & Kellens, K. (2012). Towards energy and resource efficient manufacturing: A processes and systems approach. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, *61*(2), 587–609. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2012.05.002>
- George, M. A., Tamkure, N., & McKenzie, D. R. (2020). The gray-body approximation for radiative heat transfer in evacuated tube solar collectors: Effects of envelope infrared transparency. arXiv preprint. <https://arxiv.org/abs/2011.12015> arXiv
- Gordon, S. B., et al. (2018). "Respiratory risks from household air pollution". *The Lancet*, *391*(10126), 1027-1040.
- Gueymard, C. A. (2012). Clear-sky irradiance predictions for solar resource mapping and large-scale applications : Improved validation methodology and detailed performance analysis of 18 broadband radiative models. *Solar Energy*, *86*(8), 2145–2169. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.11.011>
- Ghilardi, A., Tarter, A., & Bailis, R. (2018). Potential environmental benefits from woodfuel transitions in Haiti: Geospatial scenarios to 2027. *Environmental Research Letters*, *13*(3), 035007.
- Hailemariam, A., Esatu, W., Abegaz, S., Urge, M., Assefa, G., & Dessie, T. (2022). Nutritional composition and sensory characteristics of breast meat from different chickens. *Applied Food Research*, *2*, 100233. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100233>
- Harmim, A., Merzouk, M., Boukar, M., & Amar, M. (2013). Design and experimental testing of an innovative building-integrated box type solar cooker. *Solar Energy*, *98*(PC), 422–433. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.09.019>
- Hebbar, G., Hegde, S., Sanketh, B., Sanith, L. R., & Udupa, R. (2021). Materials Today : Proceedings Design of solar cooker using evacuated tube solar collector with phase change material. *Materials Today: Proceedings*, xxx. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.629>
- IEA. (2024). Solar cooking as a strategy for achieving SDG7. International Energy

- Agency.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2021) Climate Change The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. (2022). *Climate Change: Mitigation of Climate Change*.
- International Energy Agency, IEA (2021) World Energy Outlook.
- International Renewable Energy Agency, IRENA. (2021). Policy frameworks for solar cooking in developing nations.
- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis.
- ISO. (2015). *ISO 14001:2015 – Environmental Management Systems – Requirements with Guidance for Use*. International Organization for Standardization.
- Indora, S., & Kandpal, T. C. (2018). Institutional and community solar cooking in India using SK-23 and Schef fl er solar cookers : A fi nancial appraisal. *Renewable Energy*, 120, 501–511. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.004>
- Koshti Bhupendra, Dev Rahul, Bharti Ajaya and Narayan Audhesh (2023). Comparative performance evaluation of modified solar cookers for subtropical climate conditions. Department of Mechanical Engineering MNNIT Allahabad Prayagraj, India.
- Khatri Rahul, Goyal Rahul and Sharma Ravi K. (2023). Comparative experimental investigations on low-cost solar cooker with energy storage materials for sustainable development. Department of Mechanical Engineering, Manipal University Jaipur, India.
- Lahkar, P. J. (2010). A review of the thermal performance parameters of box-type solar cookers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3), <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.11.009> [ScienceDirect](#)
- Lecuona, A., Nogueira, J., Ventas, R., & Rodríguez-hidalgo, M. (2013). Solar cooker of the portable parabolic type incorporating heat storage based on PCM. *Applied Energy*, 111, 1136–1146. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.01.083>
- Marino, C., Nucara, A., Panzera, M. F., & Pietrafesa, M. (2024). Evaluating direct and diffuse solar radiation components through global radiation measurements from three fixed directions. *Energy Conversion and Management*, 315(February), 118741. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118741>

- Mbodji, N., & Hajji, A. (2016). Performance testing of a parabolic solar concentrator for solar cooking. *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME*, 138(4), 1–10. <https://doi.org/10.1115/1.4033501>
- Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM). (2023). *Guía para la elaboración de estudios de impacto ambiental detallados (EIA-d)*.
- Ministerio de Energía y Minas, MINEM (2020). Balance Nacional de Energía. Dirección General de Eficiencia Energética, Área de Planeamiento Energético.
- Natividad-Bardales, Á. D., Villanueva-Tiburcio, J. E., Chamorro-Gómez, R. E., Cueto-Rosales, C. R., Capcha-Godoy, P. R., Paucar-Tito, J. L., & Mendoza-Aguilar, A. (2023). Efecto del tratamiento térmico y de digestibilidad *in vitro* en compuestos bioactivos de cuatro tipos de papas nativas (*Solanum tuberosum* spp. *andigena*). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(3), e3177. https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num3_art:3177
- Organismo Mundial para la Salud (2018) climate and Clean Air Coalition.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO (2020). Superar los desafíos relacionados con el agua en la agricultura.
- Organización Latinoamericana de Energía, OLADE (2022). Panorama Energético de América Latina y el Caribe.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, OCDE. (2021). *Environmental Impact Assessment and Management in Industrial Policy Integration*.
- Padonou, E. A., Akabassi, G. C., Akakpo, B. A., & Sinsin, B. (2022). Energy for Sustainable Development Importance of solar cookers in women ' s daily lives : A review. *Energy for Sustainable Development*, 70, 466–474. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2022.08.015>
- Panwar, N. L., Kaushik, S. C., & Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1513–1524. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.037>
- Programa de las Naciones Unidas Para el Medio Ambiente, UNEP. (2020). *Environmental Management Systems: Toolkit for Implementation in Industrial Settings*.
- Regattieri, A., Piana, F., Bortolini, M., Gamberi, M., & Ferrari, E. (2016). Innovative portable solar cooker using the packaging waste of humanitarian supplies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 319–326. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.199>

- Rincón-Mejía, E., Gabriela Rincón, A., & Rincón-Rubio, V. (2021). Nonimaging Optics and Constructal Design Towards Optimal Solar Cookers. *American Solar Energy Society National Solar Conference 2021 Proceedings, SOLAR 2021*, 64–75. <https://doi.org/10.18086/solar.2021.01.03>
- Saxena, A., Pandey, S. P., & Srivastav, G. (2011). A thermodynamic review on solar box type cookers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6), 3301–3318. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.017>
- Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles, SENACE. (2022). *Protocolos de Evaluación de Estudios de Impacto Ambiental*. Lima, Perú.
- Sosa, L. B. L., Avilés, M. G., Pérez, D. G., & Gutiérrez, Y. S. (2014). Rural Solar Cookers, an alternative to reduce the timber resource extraction through the use of renewable energy sources: Technology transfer and monitoring project. *Energy Procedia*, 57(434), 1593–1602. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.151>
- United Nations Development Programme, UNDP. (2023). Scaling solar cookers in humanitarian settings.
- Wassie Hailemariam, Getie Muluken, Alem Mulat and Kotu Teshome, (2022) Experimental investigation of the effect of reflectors on thermal performance of box type solar cooker. Faculty of Mechanic and Industrial Engineering. Bhoir Dar Institute. Bahir Dar University.
- World Bank. (2020). The State of Access to Modern Energy Cooking Services.
- World Bank. (2022). Solar cookers and rural electrification: Synergies and trade-offs.
- World Health Organization, WHO. (2020). Health benefits of transitioning to solar cookers.
- Xi, Y., Li, Y., Chen, Y., Jiang, H., & Huang, Z. (2024). Energy demand and carbon emission analyses of a solar-driven domestic regional environment mobile robot as household auxiliary heating and cooling method. *Applied Energy*, 371(February), 123743. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123743>
- Xue, H., Li, G., Qi, D., & Ni, H. (2024). *applied sciences Temporal Evolution , Oscillation and Coherence Characteristics Analysis of Global Solar Radiation Distribution in Major Cities in China 's Solar-Energy-Available Region Based on Continuous Wavelet Transform*.

- Zhao, Y., Zheng, H., Sun, B., Li, C., & Wu, Y. (2018). Development and performance studies of a novel portable solar cooker using a curved Fresnel lens concentrator. *Solar Energy*, 174(May), 263–272. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.09.007>
- Zhou, C., Wang, Y., Li, J., Ma, X., Li, Q., Yang, M., Zhao, X., & Zhu, Y. (2023). Simulation and economic analysis of an innovative indoor solar cooking system with energy storage. *Solar Energy*, 263(July), 111816. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.111816>
- World Health Organization, 2018. Household air pollution and health: key facts (<https://www.who.int/newsroom/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>, accessed 14 July 2021).

ANEXO 1

Son los nutrientes expresados con sus nombres característicos

Figura A1.1

POLLO b

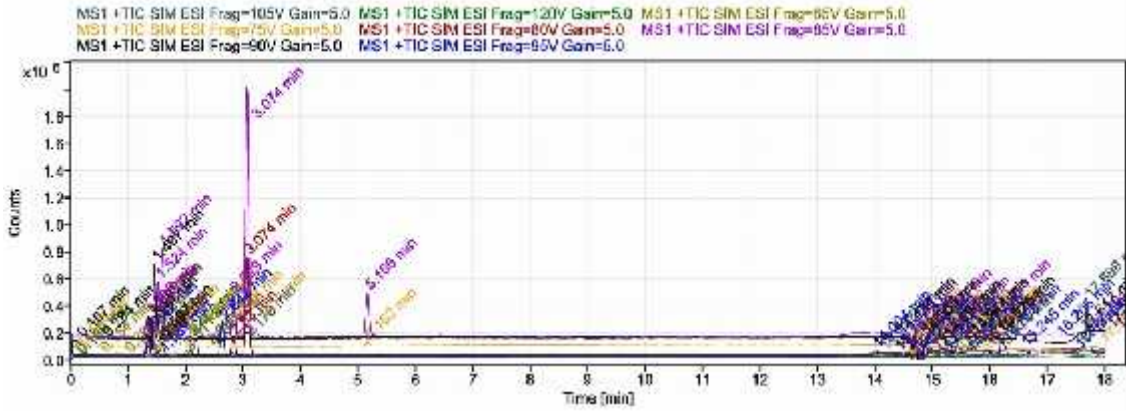


Figura A1.2

PAPA b

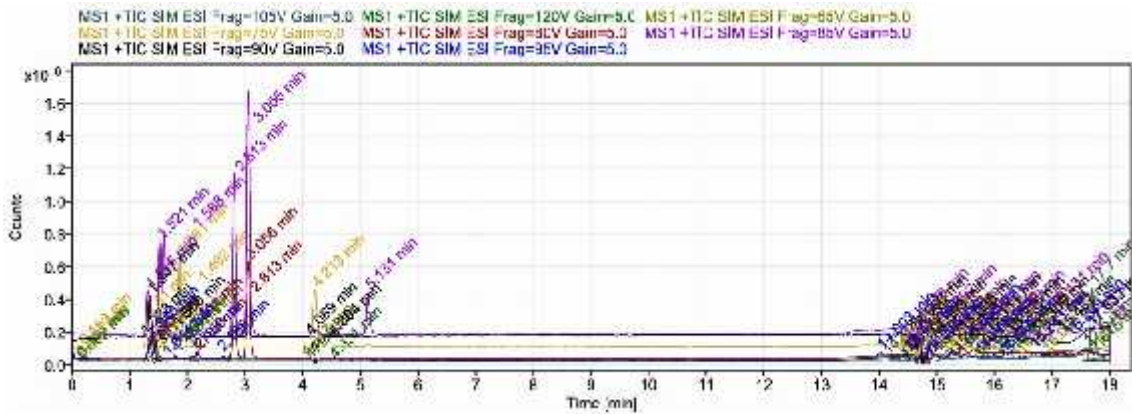


Figura A1.3

PAPA a

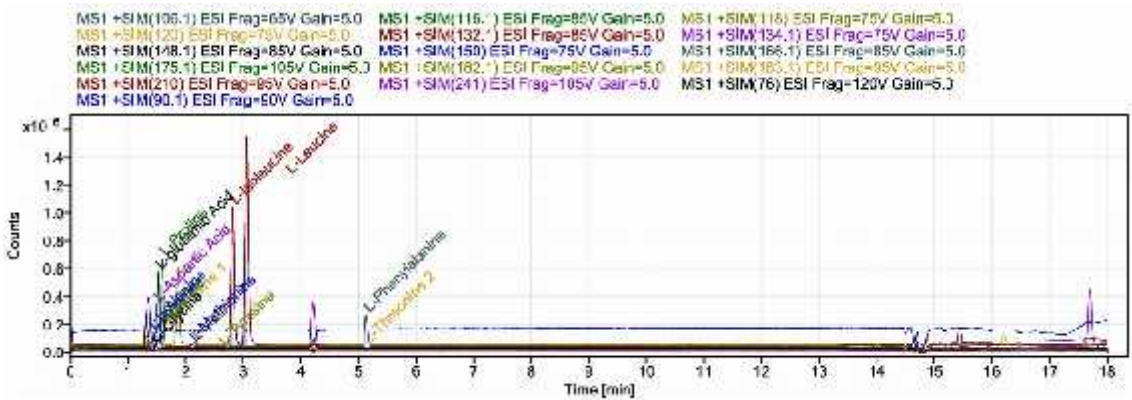


Figura A1.4

POLLO a

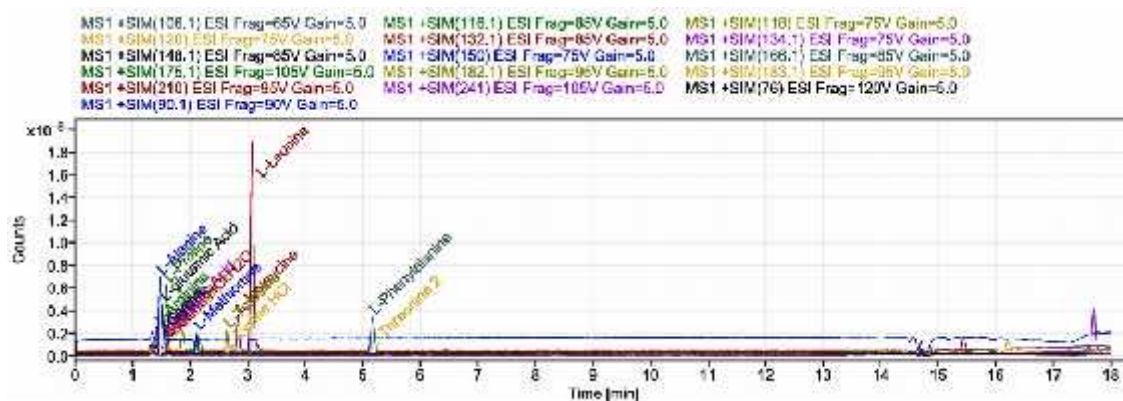


Figura A1.5

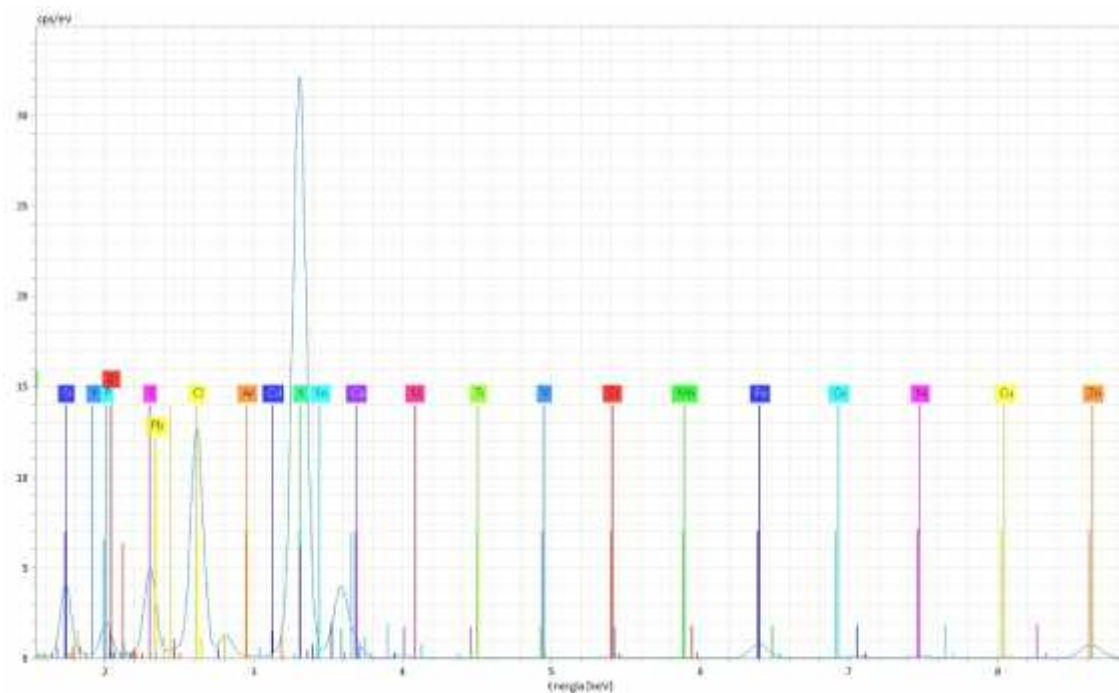


Figura A1.6

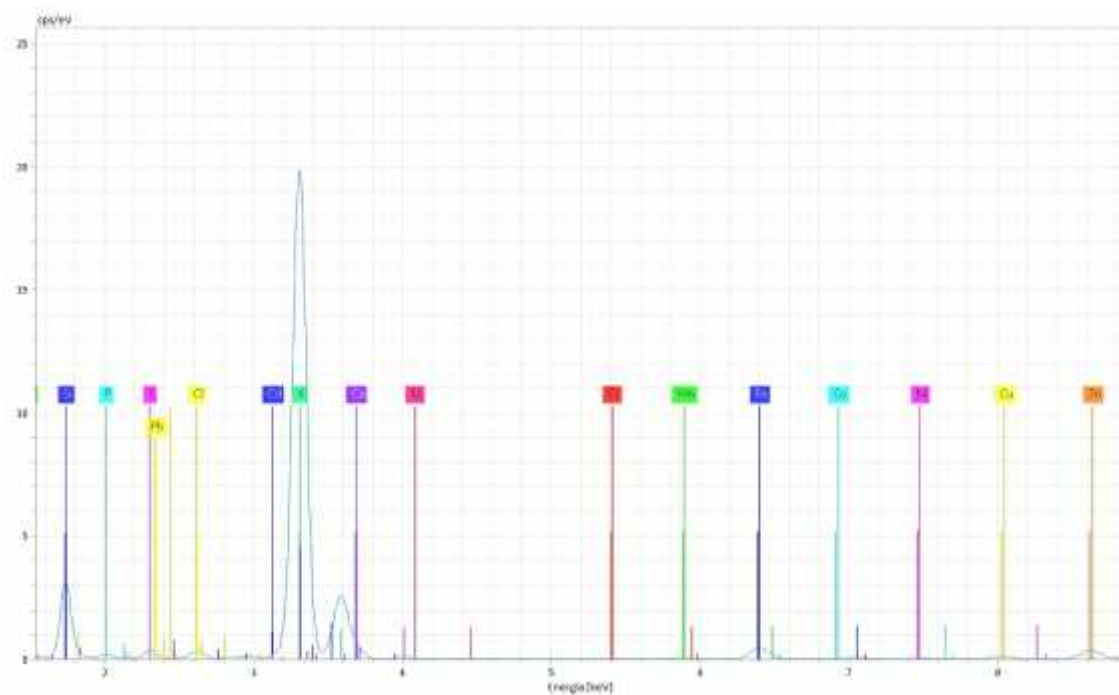


Figura A1.7

