

Universidad Autónoma de Nayarit
Unidad Académica de Ciencias Básicas e Ingenierías
Programa Académico de Ingeniería Química



“Evaluación del desempeño energético de prototipos de secado y cocción solar y, análisis de las propiedades fisicoquímicas de los productos”

Para Obtener el Título de:

INGENIERA QUÍMICA

Presenta:

Blanca Esthela Gómez Espinoza

Director:

Dra. Sarah Ruth Messina Fernández

Co-asesor:

M.C. José Campos Álvarez

Tepic, Nayarit octubre 2023

Universidad Autónoma de Nayarit
Unidad Académica de Ciencias Básicas e Ingenierías
Programa Académico de Ingeniería Química



“Evaluación del desempeño energético de prototipos de secado y cocción solar y, análisis de las propiedades fisicoquímicas de los productos”

Para Obtener el Título de:

INGENIERA QUÍMICA

Presenta:

Blanca Esthela Gómez Espinoza

Director:

Dra. Sarah Ruth Messina Fernández

Co-asesor:

M.C. José Campos Álvarez

Tepic, Nayarit octubre 2023

Dedicatoria...

A mis papás, porque son mi todo, son mi inspiración en la vida y mi ejemplo a seguir y sin su apoyo nada de esto fuera posible. La dedico también a mis hermanas que siempre estuvieron para mí cuando las necesitaba y nunca me dejaron sola en los momentos más difíciles. Y a dios, porque en los momentos de querer dejar todo me refugiaba en él y siempre encontraba la paz que necesitaba.



Agradecimientos....

A mis papás y mis hermanas que siempre me mostraron su apoyo incondicional de una u otra forma. A mi hermana Carmen que aguantaba mis días más estresantes y me motivaba a seguir adelante y a mi hermana Betty que es un ejemplo de determinación.

A mi mamá Lupe, que durante estos últimos meses me ha dado un ejemplo de fortaleza y valentía.

A la Dra. Sarah Ruth Messina Fernández que siempre me ayudo en mi formación como estudiante y me dio la confianza de seguir trabajando con ella.

A el M.C José Campos Álvarez que ayudo a realizar la parte energética de esta investigación y siempre me tuvo la paciencia para explicarme y resolver cualquier duda.

A la Dra. Claudia Estela Saldaña por mostrarme siempre su apoyo incondicional.

A la Dra. Teresa Ruiz que siempre estaba dispuesta ayudarme en lo que necesitara y la Dra. Claudia Saldaña por siempre preocuparse y tenerme presente.

A mis compañeros Hada que me ayudo con los planos de los prototipos de secadores y estufas que se evaluaron en la investigación, a Fabián que me daba tips y siempre estuvo ahí para resolver cualquier duda que se me presentaba y a Anthony que me ayudaba a arreglar el equipo de medición cuando presentaba alguna falla y también le tocaba pasar horas trabajando bajo el sol. Gracias por todo.

A mis amigos Dariela, Axel y Rafa por que fueron el mejor equipo de trabajo y fueron parte importante durante la carrera.

Quiero agradecer también a la maestra María Helena Luna por brindarme su apoyo en la parte experimental con los químico-proximales, gracias por su apoyo y su amabilidad. Y al Dr. German Rodríguez-Carpena por permitirme trabajar en el laboratorio de la unidad especializada en calidad de alimentos y productos naturales, ubicada en el Centro Nayarita de Innovación y Transferencia de Tecnología (CENITT)

A el proyecto CONAHCYT-PRONACES 319456 por brindarme recurso para poder realizar esta tesis.



Tabla de contenido

Dedicatoria.....	i
Agradecimientos.....	ii
Lista de tablas	vi
Lista de figuras	vii
Lista de abreviaturas	xi
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL SECADO Y COCCIÓN SOLAR.....	1
1.1 Introducción	1
1.12 Planteamiento del problema	2
1.13 Justificación	2
1.14 Hipótesis	4
1.15 Objetivos.....	4
a) Objetivo general	4
b) Objetivos particulares	5
CAPITULO 2: MARCO TEÓRIO	6
2.1 Energía solar	6
2.2 Secado de alimentos	7
2.21 Energía requerida para el proceso de secado.....	8
2.21.1 Aprovechamiento térmico de la energía solar aplicado al secado.	9
2.22 Cálculo de desempeño de secadores.....	10
2.23 Secado solar	11
2.24 Evaluación de la Calidad de los productos secos	13
2.24.1 Propiedades físicas.....	14



2.24.2	Propiedades ópticas.....	14
2.24.3	Propiedades sensoriales	15
2.24.4	Propiedades biológicas	15
2.24.5	Propiedades nutricionales	15
2.24.6	Humedad.....	16
2.24.7	Cenizas.....	16
2.24.8	Extracto etéreo	17
2.24.9	Nitrógenos totales	17
2.25	Fibra cruda	17
2.3	Cocción solar	18
2.31	Energía requerida para el proceso de cocción	18
2.32	Tipos de estufas solares	19
2.32.1	Estufa solar de caja	19
2.32.2	Estufa solar parabólica.....	20
2.32.3	Estufa solar de panel tipo embudo.....	21
2.33	Cálculo de desempeño de estufas solares.....	21
2.34	Evaluación de Calidad de los productos cocinados al Sol.....	22
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA		25
3.1	Desarrollo experimental de secado de productos	26
3.2	Análisis Energético del proceso de secado.....	27
3.3	Análisis de propiedades fisicoquímicas de los productos secos.....	29
	29
3.3.1	Determinación de materia seca y porcentaje de humedad.....	29
3.3.2	Determinación de cenizas	30



3.3.3	Determinación de fibra	31
3.3.4	Determinación de nitrógenos totales.....	33
3.4	Análisis Energético del proceso de Cocción	36
3.5	Análisis de propiedades sensoriales de los alimentos.	38
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN		40
4.1	Proceso de secado a escala doméstica	40
4.2	Proceso de secado en prototipo tipo invernadero	43
4.2.1	Análisis del rendimiento energético del proceso de secado	53
4.2.2	Análisis de propiedades fisicoquímicas de los productos secos.....	55
4.3	Análisis Energético del proceso de Cocción	58
4.3.1	Pruebas de cocción en estufa de caja tipo horno	60
4.3.2	Pruebas de cocción en estufa parabólica	64
4.3.3	Pruebas de cocción en estufa panel tipo embudo “Pucca”	66
4.4	Pruebas de propiedades sensoriales de los alimentos.....	71
4.4.1	Pruebas sensoriales de productos secos.....	71
4.4.2	Pruebas sensoriales de productos de cocción solar	74
CONCLUSIONES		75
Recomendaciones para trabajo futuro		76
BIBLIOGRAFÍA		77



Lista de tablas

Tabla 1-Ecuaciones para cálculo de desempeño para el proceso de secado.	11
Tabla 2-Modelos de estufas solares de caja tipo horno disponibles en el mercado. 20	
Tabla 3- Modelos de estufas solares de reflector parabólico disponibles en el mercado.	20
Tabla 4- Modelos de estufas solares de panel disponibles en el mercado.....	21
Tabla 5-Ecuaciones para el cálculo de la eficiencia térmica de estufas solares.	22
Tabla 6-Escala estructurada (aceptabilidad). Fuente: Estimación útil de la vida sensorial de los alimentos de (Hough & Fiszman, 2005).	23
Tabla 7-Escala estructurada de formulario de análisis descriptivo cuantitativo. Fuente: Estimación de la vida útil sensorial de los alimento de (Hough & Fiszman, 2005).	24
Tabla 8-Formulario de pruebas sensoriales para cocción.....	38
Tabla 9-Formulrio de pruebas sensoriales para secado	38
Tabla 10- Periodo de recuperación de la inversión inicial prueba 1.	53
Tabla 11-Parámetros para el cálculo de rendimiento del proceso de secado para plátano maduro y plátano verde, usando un secador solar tipo invernadero familiar.	54
Tabla 12-Rendimiento del secado en el secador de escala doméstica.....	54
Tabla 13-Analisis químico proximal para el plátano secado en secador solar.	55
Tabla 14-Analisis químico proximal para el plátano deshidratado en horno de gas.56	
Tabla 15- Análisis químico proximal para el mango obtenido en secador solar.....	56
Tabla 16-Análisis químico proximal para el mango deshidratado en gas.....	57
Tabla 17-Eficiencia para la estufa de caja tipo horno	63
Tabla 18-Eficiencia para la estufa parabólica.....	66
Tabla 19-Eficiencia para la estufa de panel tipo embudo “Pucca”.....	69
Tabla 20-Análisis comparativo del proceso de cocción	70



Lista de figuras

Figura 1-Escenario de pérdidas de alimentos en la cadena de suministro. Fuente: Sustainable Food Drying Techniques in Developing Countries: Prospects and Challenges de (Hasan Masud et al., 2020b).....	7
Figura 2- Porcentaje de energía usada en diferentes sectores de la industria de alimentos. Fuente: Sustainable Food Drying Techniques in Developing Countries: Prospects and Challenges de (Hasan Masud et al., 2020b).....	9
Figura 3-Clasificación de la tecnología de secado solar. Fuente: Sustainable Food Drying Techniques in Developing Countries: Prospects and Challenges de (Hasan Masud et al., 2020b).....	12
Figura 4-Clasificación de los atributos de calidad. Fuente: Sustainable food drying techniques in developing countries: prospects and challenges de (Hasan Masud et al., 2020a).....	13
Figura 5- Diagrama de flujo de la metodología de investigación.....	25
Figura 6-Diagrama de flujo del desarrollo experimental del secado de productos. Fuente (FAO-AGS, 2007)	26
Figura 7-Plano del prototipo de secador de escala domestica.....	27
Figura 8- Plano del prototipo de secador solar directo tipo invernadero de escala comercial.....	28
Figura 9-Diagrama de flujo de las determinaciones de las propiedades fisicoquímicas.....	29
Figura 10-Plano de prototipo de estufa de caja de tipo horno	36
Figura 11-Plano del prototipo de estufa parabólica.....	36
Figura 12-Plano de estufa de panel tipo embudo Pucca.....	37
Figura 13-Distribucion de los sensores de temperatura, irradiancia y humedad en el secador doméstico.....	40
Figura 14-Humedad relativa, irradiancia y temperatura en función del tiempo para el secador de escala doméstica sin carga.....	41
Figura 15-Irradiancia, humedad relativa y temperatura en función del tiempo para el secador de escala doméstica cargado con plátano.....	42



Figura 16-Irradiancia y temperatura en función del tiempo para el secador de escala domestica cargado con mango.....	42
Figura 17-Secador directo tipo invernadero con distribución de charolas y colocación de sensores de temperatura y humedad en secador directo tipo invernadero familiar.	43
Figura 18-Temperatura y humedad relativa global en función del tiempo dentro del secador directo tipo invernadero de escala familiar, sin carga.	44
Figura 19-Distribución de los sensores de humedad, temperatura e irradiancia para el secador directo tipo invernadero de escala familiar.	45
Figura 20-Temperatura e irradiancia en función del tiempo para el secador directo tipo invernadero de escala familiar con plátano maduro.....	46
Figura 21-Temperatura y humedad relativa en función del tiempo para el secador directo tipo invernadero de escala familiar cargado con plátano maduro.	46
Figura 22-Pérdida de masa en función del tiempo por cada charola del secador directo tipo invernadero cargado con plátano maduro	47
Figura 23-Eficiencia de secado para las 3 columnas del secador directo tipo invernadero de escala familiar cargado con plátano maduro.	48
Figura 24-Temperatura en función del tiempo para el secador directo tipo invernadero de escala familiar cargado con plátano verde.....	49
Figura 25-Pérdida de masa (agua eliminada) en función del tiempo para el secado de plátano verde en un secador solar tipo invernadero de escala familiar.	49
Figura 26-Curvas de Temperatura y Pérdida de masa en función del tiempo en el proceso de secado de plátano verde en un secador solar tipo invernadero de escala familiar.	50
Figura 27-Comparación de la temperatura con la humedad relativa en función del tiempo para el secador directo tipo invernadero de escala familiar.	50
Figura 28-Eficiencia del secador solar directo tipo invernadero de escala familiar para el plátano verde en función del tiempo.....	51
Figura 29-Eficiencia por columna para el secador directo tipo invernadero familiar para plátano verde.....	52
Figura 30-Imágenes de a) producto final de plátano y b) producto final de mango.	55



Figura 31-Imágenes de a) plátano verde en rodajas, plátano maduro en rodajas, plátano maduro en tiras, b) determinación de cenizas, c) determinación de grasa, d) determinación de fibra.	57
Figura 32-Distribución de sensores de temperatura e irradiancia para la estufa de caja tipo horno.	58
Figura 33-Distribución de los sensores de temperatura e irradiancia en la estufa parabólica.....	59
Figura 34-Distribución de los sensores de temperatura e irradiancia de la estufa de panel tipo embudo “Pucca”	60
Figura 35-Temperatura e irradiancia en función del tiempo para cocción de arroz en estufa de caja tipo horno.....	61
Figura 36-Temperatura e irradiancia en función del tiempo para cocción de frijol-cerdo en estufa de caja tipo horno	62
Figura 37- Temperatura e irradiancia en función del tiempo para la cocción de pay de queso en estufa de caja tipo horno	62
Figura 38- Alimentos después de proceso de cocción a) arroz, b) frijol con carne de cerdo, c) pay, d) estufa de caja	63
Figura 39-Temperatura e irradiancia en función del tiempo para la cocción de arroz en la estufa parabólica.	64
Figura 40- Temperatura e irradiancia en función del tiempo para cocción de frijol-cerdo en la estufa parabólica.	65
Figura 41- Temperatura e irradiancia en función del tiempo para la cocción de pay en la estufa parabólica	65
Figura 42- Alimentos después de proceso de cocción a) arroz, b) frijol con carne de cerdo, c) pay y d) estufa parabólica.....	66
Figura 43- Temperatura e irradiancia en función del tiempo para la cocción de arroz en la estufa de panel tipo embudo “Pucca”	67
Figura 44- Temperatura e irradiancia en función del tiempo para la cocción de frijol-cerdo en la estufa de panel tipo embudo “Pucca”.	68
Figura 45- Temperatura e irradiancia en función del tiempo para la cocción de pay en la estufa de panel tipo embudo “Pucca”	69



Figura 46- Alimentos después de proceso de cocción a) arroz, b) frijol con carne de cerdo, c) pay y d) estufa de panel tipo embudo “Pucca”	70
Figura 47-Análisis sensorial comparativo entre para el mango deshidratado con gas y con energía solar.	71
Figura 48-Análisis sensorial comparativo entre el plátano deshidratado con energía solar y con gas convencional	72
Figura 49-Analisis de comparación entre muestras de mango y plátano	73
Figura 50-Análisis de aceptabilidad entre las muestras de mango y plátano.	73
Figura 51-Análisis sensorial de los alimentos cocinados en estufa solar	74
Figura 52-Imágenes de Pay, frijol, arroz, carne de cerdo antes del proceso de cocción.....	74



Lista de abreviaturas

Nomenclatura para las ecuaciones de cálculo de desempeño para el proceso de secado.

W_1 =peso inicial del producto, kg

W_2 =peso final del producto después de secado, kg

$Q=M \times C_p(T_d-T_a)+M_w \lambda$ =cantidad de calor utilizado para el secado, J

M =Masa del producto, kg

C_p =Calor específico del producto húmedo ,kj/kgK

T_d =temperatura del aire de secado , K

T_a =Temperatura del aire de entrada, K

M_w =Masa de agua a eliminar durante el secado, kg

λ =calor latente de vaporización del agua, kj/kg

η =eficiencia del sistema de secado

A =área del secador, m²

I =Irradiancia , W/m²

t =tiempo de exposición del secador a la radiación solar, s

A_s =área puesta a la radiación , m²

D_r =velocidad de secado (g de agua evaporada)

ΔM =pérdida de peso en cualquier momento, g

m_i =masa inicial

m_f =masa final

m_w =cantidad de agua eliminada, kg

l_w =calor latente, kg/kg

I_a =irradiancia, W/m²



$Q_{ic} = I_S \times A_c =$ calor de entrada util, W

$Q_{Oc} = \dot{m} \times C_p (T_{co} - T_{ci}) =$ calor de salida del secador

$I_S =$ Radiación solar, W/m²

$A_{sac} =$ area de secador solar al aire, m²

$T_{i,pcm}$ y $T_{o,pcm}$ = temperatura del aire a la entrada y salida, K

$\dot{m} =$ flujo masico, kg/s

$C_p =$ Calor especifico del fluido (agua o aire), J/ kgK

$A_c =$ area de superficie del suelo (caso de los invernaderos, m²)

$\Delta T = T_{do} - T_a = T_{do}$ Temperatura de la salida del secador y T_a temperatura ambiente

$P_{aux} =$ potencia de la bomba, kw

$W_{as} =$ masa de agua evaporada, kg

$h_{fg} =$ calor de vaporización de agua, J/kg

$E_{in,dc} =$ energía a la entrada de la cámara de secado, J

$W_{out} =$ humedad absoluta a la entrada

$W_{in} =$ humedad absoluta salida

$E_{in} =$ energía de entrada, kW/h

Nomenclatura de las ecuaciones de eficiencia térmica para cocción solar

$\eta_t =$ Eficiencia térmica en función de la diferencia de temperatura, °C

$P_S =$ Potencia de cocción estandarizada, W. Calculada según ASEA 5-580.1

$I_t =$ Irradiancia estandarizada, 700 W/m²



A_i =Área, m^2

η_{twcs} =Eficiencia térmica del sistema

m_o =Masa del fluido térmico en el sistema, kg

Δt_s =Diferencia de temperatura promedio del sistema en el intervalo de 10min

A_c =Área del colector, m^2

S_i =Intensidad solar, W/m^2

C_f =Calor específico del fluido térmico

m =Caudal masico del agua, kg/s

A =Área de iluminación, m^2

I =Radiación solar, $\frac{W}{m^2}$

C_p =Calor específico del agua, $kJ/kg^\circ C$

T_i y T_o =Temperatura de entrada t salida, $^\circ C$



CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL SECADO Y COCCIÓN SOLAR

1.1 Introducción

Desde la antigüedad el método de secado ha sido utilizado para la conservación de alimentos y es practicado en la mayoría de los países en desarrollo en todo el mundo, esto por la simplicidad y la facilidad de operación (Sagade et al., 2020). El secado ayuda a mejorar la vida útil de los productos, a reducir los costos de empaquetado, los pesos de envío, la huella de carbono mediante la disminución de combustible para el transporte, a mejorar la apariencia del producto, a concentrar el sabor original y mantener el valor nutricional (Kadam & Samuel, 2006). La deshidratación convencional de frutas y verduras es uno de los procesos más intensivos en uso de energía en la industria alimentaria, debido a la energía calorífica que se requiere para la eliminación de agua contenida en los productos. No obstante, el secado solar, es un método viable y prometedor, ya que la energía del Sol tiene poder suficiente para retirar el agua de los productos y representa una opción viable y rentable para reducir las pérdidas post-cosecha asociadas al manejo inadecuado de productos, a la falta de cadenas de frío o de refrigeración para la conservación y a la falta del sistemas de procesamiento que den valor agregado a los productos (Kadam & Samuel, 2006).

Por otra parte, las estufas solares funcionan según este principio básico: la energía solar se aprovecha en forma de energía térmica, que se retiene para cocinar. Dependiendo de la zona geográfica y cómo se cocine, la estufa solar puede ahorrar tiempo, y combustibles (solarcooking, 2023). Las estufas solares en la actualidad se están tomando como una de las alternativas para transitar a sistemas de cocción limpios y erradicar la quema de biomasa, mitigar el cambio climático y reducir la huella medioambiental.

Dicho lo anterior esta tesis se plantea con la finalidad de evaluar el desempeño energético de dos diferentes tecnologías para el aprovechamiento térmico de la energía solar: i) secado solar, y ii) cocción solar,



1.12 Planteamiento del problema

El agotamiento acelerado de los recursos energéticos provenientes de hidrocarburos debido al aumento del consumo de energía es un problema global. Las aplicaciones domésticas de la energía constituyen una parte importante del consumo total de energía, especialmente para cocinar y calentar agua (Vengadesan & Senthil, 2021). Datos presentados por la SENER (Secretaría de Energía) y por la CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía), sobre la distribución porcentual en el empleo de combustibles para cocinar o calentar alimentos en México, establecen lo siguiente: con un 80% el gas LP, es el más utilizado en las cocinas mexicanas, seguido de la leña y carbón con un 11.3%, 7.3% para el gas natural y 1.4% para la electricidad (SENER & CONUEE, 2018). Lo anterior, indica que hay un rezago en la utilización de fuentes renovables como un medio para procesar y cocinar alimentos.

Sumado a ello, la contaminación del aire en los hogares en comunidades rurales por quema ineficiente de combustibles como leña y carbón es, actualmente, uno de los principales riesgos ambientales y de salud en los sitios rurales a nivel mundial. Cada año aproximadamente cuatro millones de muertes prematuras de niños y adultos a causa de enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cáncer, así como graves lesiones por escaldaduras, quemaduras e intoxicaciones son asociadas al uso de leña y sistemas de combustión ineficientes para la cocción de alimentos (Soomro, 2018).

Por otra parte, las pérdidas y el desperdicio de alimentos de acuerdo con la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) estiman que, en todo el mundo, un 14% de los alimentos, valorado en 400,000 millones de USD, se pierde entre la cosecha y la distribución. La reducción de estas pérdidas es fundamental para mejorar la seguridad alimentaria y reducir la huella medioambiental de los sistemas alimentarios. (FAO, 2021).

1.13 Justificación

La deshidratación y secado de productos es uno de los métodos más simples, económicos y antiguos para la conservación de alimentos. Eliminar el agua de los alimentos para inhibir el



crecimiento de microorganismos, evitando así el desperdicio de éstos, es el principal beneficio del secado. De esta forma se reduce el peso y el volumen, lo que genera que los costos de transporte y almacenamiento disminuyan (FAO-AGS, 2007). No obstante, la gran demanda de alimentos para abastecer a la población mundial se observa que entre el 30% y el 40 % de los alimentos producidos perecen en todo el mundo cada año debido a la falta de un procesamiento y conservación adecuados después de la cosecha. En México, el índice de desperdicio de alimentos es de 259 kg/ per cápita, y datos a nivel mundial indican que anualmente se desperdician 1300 millones de toneladas (CEC, 2018).

La aplicación de la energía solar en el secado de alimentos es una tecnología muy conocida. El secado al Sol abierto tiene algunas limitaciones, pero estas se pueden atenuar en los secadores solares, dependiendo de la adaptación y la necesidad que se requiera (Mugi et al., 2022). Así, el secado solar es una buena alternativa para evitar el desperdicio de los alimentos. Es por lo que el correcto diseño de secadores solares ayudara a que no solo se cumple con los requisitos particulares de secado de los cultivos de interés, sino que también aumentan la eficiencia energética y la conservación de las prácticas de manejo agrícola. Es por lo que dicho diseño y modelado juega un papel importante en el desarrollo y operación de los sistemas de secado. El aspecto más importante de la tecnología de secado es el modelado matemático de los procesos y equipos de secado (Akpınar, 2010).

Por otro lado, en la actualidad en muchas de las comunidades rurales, el uso de la leña como fuente de energía para cocinar es un hábito, lo que genera daños a la salud, principalmente de niños y mujeres que inhalan los humos de la combustión y a su vez, la afectación al ambiente. De acuerdo con la secretaria de desarrollo sustentable (SDS, 2017) en Nayarit los compuestos orgánicos volátiles (COV) son liberados por la quema de combustibles como la gasolina, madera, carbón o gas natural (Koppmann, 2007), producidos principalmente en la combustión doméstica con un 38%. Asimismo, las partículas PM_{2.5} (materia particulada menores a 2.5 micrómetros) también son causadas por la combustión doméstica con el 21%. Dichas partículas son las principales causantes de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, además de cáncer



pulmonar de acuerdo con la Secretaria de medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT, 2021).

Uno de los principales sectores que contribuyen al consumo global de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas es el sector doméstico, principalmente el cocinar. Por lo tanto, la cocina solar es una solución viable para disminuir el consumo de energía y las emisiones asociadas (Arunachala & Kundapur, 2020).

Las cocinas solares, ofrecen una opción sustentable para cocinar, al pasar de los años, su implementación masiva en contextos tanto urbanos como rurales ha sido poco exitosa, sin embargo, en la última década han tomado mayor importancia y en la actualidad se puede observar y conocer nuevos modelos de cocinas solares de acceso universal, así como diseños comercialmente disponibles que son prometedores y que ayudarían a disminuir el consumo de combustibles fósiles y biomasa. Sin embargo, aún no se ha aprovechado todo el potencial de ahorro energético que ofrece la cocción solar, ya que la mayoría de las personas por costumbre prefieren estufas convencionales operando con gas o electricidad debido a que se tiene la idea generalizada de que la cocción es más rápida y de menor costo (Vengadesan & Senthil, 2021).

1.14 Hipótesis

El aprovechamiento energético de la energía solar mediante prototipos de secado y cocción solar ofrecen una solución viable y sin pérdida o alteración de propiedades fisicoquímicas y nutrimentales y ayudan a disminuir el desperdicio de alimentos y a reducir el uso de combustibles fósiles y biomasa al cocinar o procesar alimentos

1.15 Objetivos

a) Objetivo general

Evaluar del desempeño energético de prototipos de secado y cocción solar, y analizar las propiedades fisicoquímicas de los productos secos.



b) Objetivos particulares

- Evaluar experimentalmente dos prototipos de secador solar directo tipo invernadero de escala doméstica y de escala comercial.
- Analizar las propiedades fisicoquímicas de los productos obtenidos en el secador solar directo tipo invernadero de escala comercial, para su comparación con el secado en horno convencional operando a gas LP.
- Evaluar el desempeño energético de tres prototipos de estufa solare de diseños de dominio público, tipo embudo, tipo concentrador parabólico y tipo horno.



CAPITULO 2: MARCO TEÓRIO

2.1 Energía solar

La energía solar es una fuente de energía gratuita y renovable de la que se puede obtener una gran cantidad de beneficios por su aprovechamiento. Además de ser una fuente de energía abundante, inagotable y no contaminante, se puede aprovechar a un costo relativamente bajo y no se tienen peligros ambientales asociados (Basunia & Abe, 2001).

La radiación solar es un espectro continuo de radiaciones electromagnéticas que son emitidas por el Sol. El Sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de 6000K en su interior tienen lugar una serie de reacciones de fusión nuclear, las cuales producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía que es liberada por el Sol se transmite al exterior mediante la radiación solar. La radiación y su relación espacial con la tierra dan como resultado una intensidad casi fija de radiación solar fuera de la atmósfera terrestre (Pablos Arroyo et al., 2013). Por otra parte la irradiación también conocida como insolación se refiere a la cantidad de energía solar recibida durante un determinado periodo de tiempo.

La energía emitida por el Sol por unidad de tiempo recibida en una unidad de área de superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación a la distancia media tierra-sol fuera de la atmósfera se le denomina constante solar y su valor es $G=1361.1 \text{ W/m}^2$ (Gueymard, 2018).

No toda la radiación solar alcanza a llegar a la superficie de la Tierra, esto debido a que algunas ondas ultravioletas son más cortas y por lo tanto son dispersadas o reflejadas por los gases de la atmósfera, principalmente por el ozono estratosférico. De este modo da lugar la absorción y la conversión de energía radiante en calor, que es reemitido al espacio en forma de radiación de onda larga. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la tierra es la irradiación, que mide la energía, por unidad de tiempo y área, que alcanza la tierra. Su unidad es el Wh/m^2 (Pablos Arroyo et al., 2013).



La radiación solar se puede clasificar en tres componentes en función de cómo inciden los rayos del Sol sobre el elemento situado en la superficie terrestre éstas son: radiación directa que es la recibida desde el Sol sin que se desvíe en su paso por la atmósfera, radiación difusa que es la que sufre cambios en su dirección principalmente debidos a la reflexión y difusión en la atmósfera y por último la albedo o reflejada que es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas. La atmósfera no contaminada es casi totalmente transparente a la radiación visible, que conforma el 45% de la distribución espectral de la radiación solar (Velasco, 2009).

2.2 Secado de alimentos

El secado es uno de los enfoques más antiguos y eficientes para el procesamiento de alimentos (Koyuncu et al., 2007) sin embargo, es uno de los métodos que genera un mayor consumo de energía al procesar los alimentos en la industria alimentaria, pero a la vez este es un método prometedor para reducir las pérdidas generadas posteriores a la cosecha. El aumento de costos energéticos, la legislación sobre contaminación y tecnologías sostenibles y respetuosas con el ambiente ha creado una mayor demanda de procesos de secado energéticamente más eficientes en la industria alimentaria que ayuden a reducir el desperdicio de alimentos en todo el mundo (Kadam & Samuel, 2006). El desperdicio de alimentos en varias fases de la cadena de suministro de alimentos se produce a un ritmo desproporcionado. En la figura 1, se muestran las diferentes etapas del desperdicio de alimentos en la cadena de suministros.

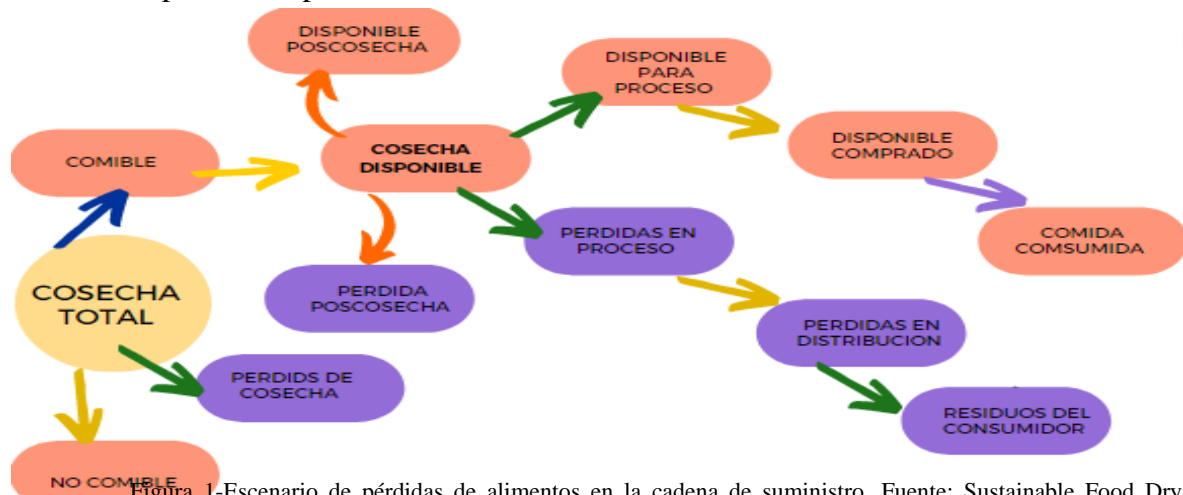


Figura 1-Escenario de pérdidas de alimentos en la cadena de suministro. Fuente: Sustainable Food Drying Techniques in Developing Countries: Prospects and Challengesde (Hasan Masud et al., 2020b).



El secado es una técnica simple y ampliamente utilizada para superar el problema del desperdicio de alimentos en las etapas de procesamiento, suministro y almacenamiento. El secado por aire caliente o por convección (CD) es el método más antiguo de secado de alimentos (Alibas, 2007), por otra parte el secado al Sol al aire libre se ha utilizado desde tiempos inmemoriales para secar cereales, plantas y otros productos agrícolas para su conservación (Basunia & Abe, 2001).

2.21 Energía requerida para el proceso de secado

El secado de alimentos puede aumentar significativamente la vida útil de numerosos productos alimenticios perecederos. Sin embargo, para mantener alguna condición ideal del proceso de secado se requiere una gran cantidad de energía. (Kumar et al., 2016) (Joardder et al., 2017). El requerimiento de energía de los diferentes procesos de secado varía entre sí, además depende del tipo de tecnología aplicada y de las diferentes propiedades que contienen los alimentos, ya sea el contenido de agua, estructura, porosidad, etc. (Hasan Masud et al., 2020b). Durante el procesos de secado se consume casi el 20-25% de la energía total que se utiliza en las industrias para el procesamiento de alimentos (K.J. et al., 2001). De acuerdo con (Kudra, 2004) si se lograra mejorar la eficiencia energética del secado incluso en un 1 % se podrían aumentar hasta el 10% de las ganancias.

Actualmente la preocupación ambiental, debido a la energía que se utiliza principalmente para el secado de alimentos proviene de fuentes de combustible fósiles.

De acuerdo a (Hasan Masud et al., 2020b) el consumo de energía en el sector alimentario se puede dividir en varias operaciones, como calefacción y secado, refrigeración, mecánica, infraestructura y otras. En la figura 2 se muestra el porcentaje de uso de energía en diferentes procesos de la industria alimentaria según el autor.

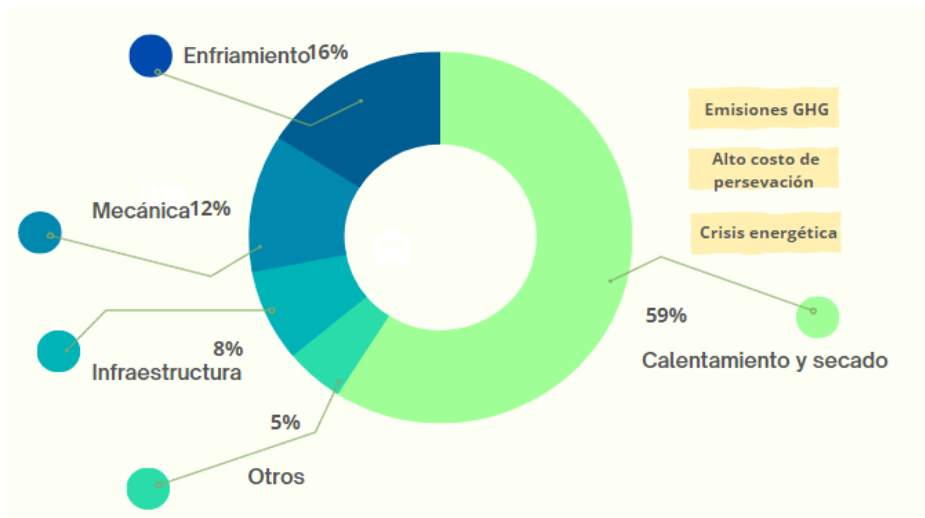


Figura 2- Porcentaje de energía usada en diferentes sectores de la industria de alimentos. Fuente: Sustainable Food Drying Techniques in Developing Countries: Prospects and Challenges de (Hasan Masud et al., 2020b).

En la imagen se observa que el 59% de la energía total que se utiliza en la industria de alimentos se consume en la operación de calentamiento y secado. Lo que significa que es primordial buscar y crear alternativas que ayuden a integrar la energía renovable a los sistemas de secado utilizados en la cadena de procesamiento de productos alimenticios, para poder así reducir la demanda de energía proveniente de origen fósiles.

2.21.1 Aprovechamiento térmico de la energía solar aplicada al secado.

La energía solar térmica aprovecha la radiación del Sol para calentar un fluido que, por lo general, suele ser agua o aire. La capacidad de transformar los rayos solares en calor es, precisamente, el principio elemental en el que se basa esta fuente de energía renovable.

Cualquier materia experimenta un aumento de temperatura de modo natural al estar expuesta a la radiación solar en un determinado periodo tiempo.

Dentro del aprovechamiento térmico encontramos el efecto Invernadero. El efecto invernadero es el fenómeno físico, que se produce en un recinto, donde los rayos solares, de longitud de onda corta, son convertidos en radiaciones de longitudes de ondas largas, o sea ondas de calor infrarrojo, provocando un calentamiento en dicho espacio, elevando su



temperatura. Éste es ampliamente utilizado en los invernaderos para obtener frutos más tempranos, más grandes, fuera de temporada, etc. También es el fundamento que explica lo que ocurre dentro de los dispositivos solares tales como: un calentador de agua, un horno, un destilador o un deshidratador de productos (Bonnet & Villegas Aguilar, 2005)

2.22 Cálculo de desempeño energético de secadores

La transferencia de calor juega un papel primordial en los procesos de secado y cocción, en los principios de conservación de energía se cumplen los principios de la termodinámica, de acuerdo con el primer principio, en el que se establece que en el proceso de transformación energética, la cantidad total de energía se mantiene constante. Dicho esto, cumpliendo el principio anterior, la cantidad de energía inicial es siempre igual a la final, pero cierta cantidad de esta última se ha transformado en una forma menos ordenada. A la relación entre energía útil, E_u para llevar a cabo un proceso y energía total E_t que requiere el mismo, se le denomina eficiencia o rendimiento del proceso, y se designa con la letra griega η (*eta*). La eficiencia energética se puede expresar en tanto como: $\eta = E_u/E_t$ o en tanto por ciento, multiplicando dicho número por cien (Velasco, 2009).

La eficiencia energética está íntimamente relacionada con el desempeño energético. El desempeño energético es la relación entre la eficiencia energética, el uso de la energía y su consumo. Para aumentar dicho desempeño, se deberá incrementar la eficiencia energética. Por otra parte, el desempeño de los secadores puede variar de acuerdo con diferentes factores: condiciones climatológicas, prototipos, materiales de construcción y propiedades de los alimentos a secar. De acuerdo con Mekonnen (2020), el consumo de energía de un hogar típico es menor que la energía de la radiación solar que recibe el techo de una casa.

De acuerdo con diferentes autores para realizar la evaluación de eficiencia utilizan las siguientes ecuaciones presentadas en la tabla 1.



Tabla 1-Ecuaciones para cálculo de desempeño para el proceso de secado.

Autor	Contenido de humedad	Eficiencia de secado	velocidad de secado
(Jain et al., 2023)	$CH = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$	$\eta = \frac{Q}{A \times I \times t} \times 100$	$D_r = \frac{\Delta M}{W_2 \times \Delta t}$
Autor	Contenido de humedad	Eficiencia de secado	Eficiencia del secador
(Gilago et al., 2023)	$MC_i = \frac{m_i - m_f}{m_f} \times 100$	$\eta_d = \frac{m_w \times l_w}{mCp(T_{o,pcm} - T_{l,pcm})}$	$\eta_c = \frac{Q_{oc}}{Q_{ic}}$
Autor	Eficiencia de absorción de humedad	Eficiencia de secado	Eficiencia térmica
(Ortiz-Rodríguez et al., 2022)	$n_p = \frac{W_{out} - W_{in}}{W_{as} + W_{in}}$	$n_d = \frac{m_w h_{fg}}{E_{in,dc} + P_{aux}}$	$\eta_{th} = \frac{Cp \times \dot{m} \times \Delta T}{I \times A_c + P_{aux}}$

2.23 Secado solar

El secado de alimentos es una técnica que ha sido utilizada desde la antigüedad para la conservación de éstos. Sin embargo, con el paso de tiempo y los avances en la tecnología el secado de alimentos pasó de ser una técnica de secado al Sol, a ser una versión mejorada de secado solar. Ambas técnicas de secado utilizan energía solar; sin embargo, el secado al Sol no cumple su función al aire libre (Senatore et al., 2004). Algunas de las características del secado



solar son las siguientes: vida útil más prolongada, mayor velocidad de secado y protección más rápida (contra la lluvia, los insectos y las bacterias) lo que convierte al secado solar en una técnica en la que se pueden controlar diferentes variables como temperatura, tiempo, energía. Esto hace que el secado solar sea más popular en contraste con el secado al Sol al aire libre (Janjai et al., 2009). De acuerdo con (Hasan Masud et al., 2020c), el secador solar se puede clasificar en las siguientes categorías, como se representa en la Fig.3.

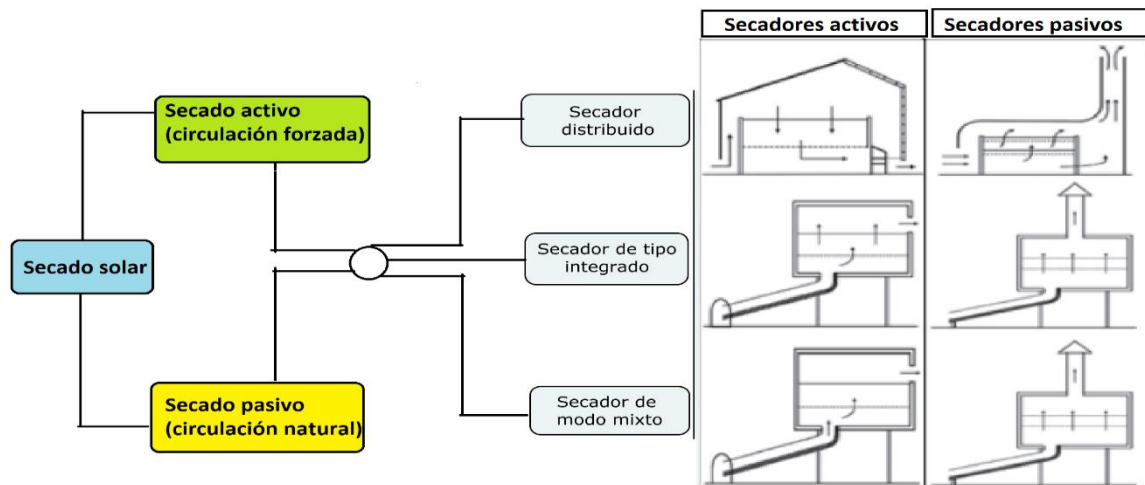


Figura 3-Clasificación de la tecnología de secado solar. Fuente: Sustainable Food Drying Techniques in Developing Countries: Prospects and Challenges de (Hasan Masud et al., 2020b).

El secado solar activo (circulación forzada) ocurre en aquellos secadores donde el flujo de aire se conduce de forma forzada mediante el uso adicional de energía para ganar trabajo. Los secadores solares activos utilizan un ventilador o soplador de aire para hacer circular el flujo a través del colector solar y la cámara de alimentos. Por su parte el secado solar pasivo (circulación natural) se lleva a cabo de forma natural, en los secadores de este tipo el aire se calienta y circula naturalmente por la fuerza de flotación, la presión del viento o una combinación de ambos. No se utiliza ninguna fuente externa de energía como ventilador o soplador para facilitar el flujo de aire (Hasan Masud et al., 2020d).



Dentro de esta clasificación encontramos los secadores solares mixtos y los secadores solares híbridos. En los secadores mixtos la radiación solar y el aire caliente de los colectores se utilizan para poder impulsar el proceso de secado, mientras la radiación solar cae directamente sobre los alimentos el aire caliente del colector solar sopla a través de los alimentos, de tal forma que se aumenta la velocidad de secado. Por su parte los secadores híbridos presentan una tecnología similar a los secadores mixtos, sin embargo, en éstos el ventilador que mantiene el flujo de aire funciona con la celda fotovoltaica de energía solar (Hasan Masud et al., 2020d).

2.24 Evaluación de la Calidad de los productos secos

En términos generales, cuando hablamos de calidad, ésta la asociamos con que el producto cumple todos los requisitos que satisfacen las necesidades del consumidor (Joardder & Hasan Masud, 2019). En el contexto de la calidad de alimentos, encontramos que de acuerdo con (Duc Pham et al., 2019) la calidad de alimentos se asocia con la propiedades físicas, sensoriales, ópticas, cinéticas y nutricionales. Los atributos de calidad más utilizados se muestran en la figura 4.



Figura 4-Clasificación de los atributos de calidad. Fuente: Sustainable food drying techniques in developing countries: prospects and challenges de (Hasan Masud et al., 2020a).

Es por ello que la calidad en el secado de los alimentos se ve afecta principalmente en la estabilidad física, nutricional y microbiana, siendo los factores principales el contenido de



humedad y el modo de transferencia de calor y masa, las cualidades que pueden alterarse sustancialmente (Hasan Masud et al., 2020a).

2.24.1 Propiedades físicas

Las propiedades físicas de los alimentos son la densidad, porosidad, microestructura, capacidad de retención y acústica. Estas propiedades participan en los fenómenos de transferencia de calor y masa que afectan gradualmente la microestructura del alimento durante el proceso de secado. De acuerdo con (Datta, 2007) los alimentos se pueden clasificar según su estructura como porosos, por lo que tienen un mecanismo de transporte de agua complejo. Es por lo que la migración del agua dentro del tejido siguiendo diversas vías puede llegar a presentar resistencia y conforme el proceso de secado se lleva a cabo la membrana celular se rompe drásticamente debido al aumento de temperatura. Como más de un mecanismo de migración de humedad participa en el proceso de secado, es un desafío predecir la modificación de la estructura durante su proceso (Hasan Masud et al., 2020a) es por ello que como consecuencia los productos sufrirán una cantidad considerable de cambios estructurales durante el secado.

2.24.2 Propiedades ópticas

Dentro del grupo de propiedades ópticas, se encuentran dos fundamentales para la calidad y aceptación del consumidor hacia el producto: el color, mismo que se considera como prioritario o dominante y la apariencia. Ambos están relacionados entre sí, ya que, si el consumidor no encuentra atractivo a la vista el alimento deshidratado y con un color deseable, es muy difícil que se logre una apropiación del alimento. Para que el color de un alimento deshidratado se conserve, deben ocurrir distintas reacciones químicas y bioquímicas durante el proceso. De acuerdo con (Maskan et al., 2002) las reacciones de cambio de color se estudian siguiendo el principio de la cinética de reacción de orden cero.

En la mayoría de los tejidos vegetales, está presente una enzima natural, conocida como fenólicos. Debido a la reacción enzimática durante el secado, se producen pigmentos parduscos en los tejidos vegetales. Este fenómeno se observa cuando la reacción enzimática oxida



esencialmente los fenoles. El oscurecimiento del ácido ascórbico ($C_6H_8O_6$), la reacción de Maillard y la caramelización son algunas de las otras reacciones químicas que pueden afectar significativamente el color en los alimentos (Hasan Masud et al., 2020a).

2.24.3 Propiedades sensoriales

Las propiedades sensoriales de los alimentos secos varían durante el proceso de secado. Los cambios que ocurren en los poros y en la matriz del alimento afecta principalmente el sabor (Lafarge et al., 2008). Aunque es un factor relativo, y puede variar de persona en persona, el sabor en los productos deshidratados es fundamental para la aceptación del consumidor. Por lo tanto es una propiedad sensorial fundamental. Dentro de este grupo de propiedades sensoriales además de encontrar el sabor, también se encuentra el aroma. En las frutas se encuentran más de 200 constituyentes aromáticos volátiles, aunque solo un grupo en específico es el responsable de dar el aroma característico a un alimento (Hasan Masud et al., 2020a). Al aumentar la temperatura en el proceso de secado, estos grupos aromáticos al ser volátiles se pierden y por consecuencia el alimento puede perder su aroma característico. Por lo tanto, es fundamental optimizar el proceso de secado para así evitar dichas pérdidas.

2.24.4 Propiedades biológicas

La reproducción del microorganismo dentro del alimento depende enteramente de la actividad del agua. Además, existe un rango específico de actividad del agua que resistirá el crecimiento de microorganismos. Uno de los beneficios más importantes del secado, es reducir la actividad de agua en los alimentos para así dificultar el crecimiento de las bacterias y microorganismos. Los dos puntos vitales más importantes de las actividades del agua que pueden prevenir el desarrollo de bacterias y microorganismos patógenos son 0,84 y 0,6, respectivamente. Debido a la actividad de agua alta (Hasan Masud et al., 2020a).

2.24.5 Propiedades nutricionales

Las cualidades nutricionales de los alimentos dependen de la estructura del tejido alimentario (Palzer, 2009). Los nutrientes están presentes principalmente en las células y las



paredes celulares (Parada & Aguilera, 2007) por lo tanto, la característica porosa de los alimentos, ya sean procesados o frescos, permite que los nutrientes se transfieran con una resistencia mínima. Otros factores que afecta directamente la degradación de la calidad del alimentos son la exposición al oxígeno y la luz, junto con la porosidad y la temperatura de almacenamiento (Sablani, 2006). Por lo tanto, un producto que este secado en exceso va a presentar una mayor perdida nutricional. Es por lo que es muy importante y necesario que se tenga una óptima combinación en los parámetros que se involucran en el proceso.

Una forma de identificar la cantidad de nutrientes que comprende un alimento es llevar a cabo métodos de análisis básicos dentro de los que se encuentren humedad, cenizas, proteína y grasa. Al conjunto de estos métodos se les conoce como análisis químico proximal (Ortiz Prudencio, 2006).

2.24.6 Humedad

La primera técnica es la humedad, este método de análisis consiste en someter la muestra a altas temperaturas para lograr la pérdida de peso debida a la pérdida del agua en el punto de ebullición o cercano él llegando al peso constante y poder así calcular la humedad en la muestra y la materia seca (Ortiz Prudencio, 2006). Al ser un método gravimétrico los resultados se obtienen por diferencia de pesos antes y después del peso constante.

2.24.7 Cenizas

Por otra parte, las cenizas de un alimento son el residuo inorgánico de un alimento que queda después de ser calcinado a altas temperaturas regularmente superior a los 500°C, esto dependerá del alimento. Este método o proceso permite estimar la cantidad de minerales totales que contine la muestra y es una de las técnicas más importantes que ayudan a determinar la calidad del alimento, ya que ayuda a detectar la presencia de adulterantes en la muestra analizada (Ortiz Prudencio, 2006) .



2.24.8 Extracto etéreo

El contenido de extracto etéreo o también llamado grasa es el conjunto de sustancias de un alimento que se extraen con éter etílico ($C_4H_{10}O$) (esteres de los ácidos grasos, fosfolípidos, lecitinas, esteroides, ceras, ácidos grasos libres). La extracción consiste en someter la muestra exenta de agua (deshidratada) a un proceso de extracción continua (Soxhlet) utilizando como extractante $C_4H_{10}O$ o fracciones ligeras de éter de petróleo. En general existen dos tipos de determinación de grasa, el primero es el tipo Bolton o Bailey-Walker una extracción continua y el segundo es el de tipo Soxhlet que da una extracción intermitente con un exceso de disolvente reciente condensado (Ortiz Prudencio, 2006).

2.24.9 Nitrógenos totales

En la actualidad existen varios métodos para determinar la presencia de nitrógeno totales, sin embargo, el método Kjeldahl es la técnica más confiable. Este método sirve para determinar el contenido en nitrógeno total en muestras orgánicas e inorgánicas. Y consiste en la digestión de la muestra en ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) a ebullición, con la adición de un catalizador. La muestra se digiere hasta disolución y oxidación de la materia orgánica de la muestra. El nitrógeno contenido en la muestra se convierte en sulfato de amonio ($(NH_4)_2SO_4$). Para después añadir un exceso de solución de hidróxido de sodio (NaOH), el ion amonio (NH_4^+) es liberado en forma de amoníaco (NH_3) destilado y recogido sobre una solución de ácido bórico (H_3BO_3). El NH_3 recogido es determinado con una solución valorada de ácido. Los resultados se pueden expresar en % N, % NH_3 o proteína (% N x factor) (factor = 6.25) (Ortiz Prudencio, 2006).

2.25 Fibra cruda

El análisis de fibra cruda consiste en la determinación de someter a una digestión ácido-alcalina la muestra requerida. El porcentaje de fibra cruda se obtiene mediante la pérdida de masa que corresponde a la incineración del residuo orgánico que queda después de la digestión con soluciones de H_2SO_4 e NaOH en condiciones específicas.



2.3 Cocción solar

Las tecnologías solares térmicas se pueden utilizar en el campo de la cocción solar. Este tipo de tecnologías obedecen a la CSP (energía solar concentrada) por sus siglas en inglés), es decir, al principio de convertir la radiación solar en energía térmica, dependiendo del tipo de materiales reflectores que se utilicen. Una vez concentrada la radiación solar habrá de convertirse en energía térmica de manera eficiente. Posteriormente la energía térmica se concentra en una pequeña superficie que se le llama punto focal. Finalmente, con el calor que se genera en el punto focal se pueden cocinar fácilmente alimentos o hervir agua (Ahmed et al., 2020).

El impacto ambiental y el costo del ciclo de vida pueden reducirse en un 65 % y un 40 %, respectivamente, eligiendo cocinas solares sencillas. Las cocinas solares de bajo costo, como las cocinas de embudo, las cocinas de caja tipo horno y las cocinas parabólicas, se pueden fabricar de forma sencilla utilizando materiales de fácil acceso (Vengadesan & Senthil, 2021).

2.31 Energía requerida para el proceso de cocción

Bajo el principio en el que se emplea la radiación del Sol para calentar un fluido el cual tiene la capacidad de transformar los rayos solares en energía térmica. En la cocción solar este principio actúa de forma similar. Ya que una superficie negra opaca absorberá gran parte de la radiación infrarroja para concentrarla (punto focal), aumentando su temperatura. Siendo captada o almacenada para la cocción de alimentos. Por su parte, si se utilizara una superficie blanca o clara esta reflejará una parte de la radiación que llega, por lo tanto, su incremento de ΔT podría ser muy poco significativo.

Los captadores solares se valdrán de superficies de color oscuro para absorber la mayor cantidad de radiación solar posible. Así, en días soleados, bastará con que los rayos solares incidan directamente sobre el sistema de captación para obtener el aporte energético necesario para su uso en diversas energías que se requiere para llevar a cabo el proceso de cocción está relacionada con el diseño de la estufa solar que se esté empleando.



2.32 Tipos de estufas solares

La asociación Internacional de Cocinas Solares (SCI) por sus siglas en inglés, es una de las ONG líderes en el mundo, que está al tanto de todos los nuevos diseños y trabajan para promover la cocina solar térmica en todo el mundo, además es una de las 350 ONG's de diferentes partes del mundo, que están trabajando para popularizar estos útiles dispositivos, que jugarían un papel vital en el desarrollo sostenible libre de contaminación y empoderarían a los usuarios también (Arunachala & Kundapur, 2020).

De acuerdo con (Farooqui, 2014) las estufas solares pueden tener diferentes clasificaciones dependiendo de cómo se estudien. Según cómo se transfiere la energía térmica del Sol al recipiente de cocción, se pueden dividir en dos categorías principales: directa e indirecta. Alternativamente y de acuerdo con (SCI, 2022) podemos clasificarlas en 3 tipos de acuerdo con el diseño y por ser las cocinas solares más comunes. Estos tipos son: estufas de caja, estufas de embudo y estufas parabólicas.

2.32.1 Estufa solar de caja

La cocina solar de caja tipo horno, este fue uno de los primeros diseños de cocina solar, creado por el naturalista suizo De-Saussure en 1767 (Garg & Adhikari, 1998). Según el creador, era una caja rectangular aislada y placas de vidrio. Las cocinas solares de caja tipo horno son un sistema de recolección de energía solar de fácil uso para cocinar, tienen una eficiencia moderada en comparación con las cocinas de embudo y de concentración parabólica (Vengadesan & Senthil, 2021). Las cocinas de caja disponibles en el mercado son costosas, por lo que muchos innovadores han sugerido variaciones más simples para fabricarlas usando cajas de cartón. En la tabla 2 se observan distintos modelos comerciales de cocinas solares de caja tipo horno disponibles en el mercado, sus costos y la temperatura reportada por el fabricante.



Tabla 2-Modelos de estufas solares de caja tipo horno disponibles en el mercado.

Tipo de diseño	Costo (MXN) comercial	Punto de venta	Temperatura
Horno solar sun cook tropical	\$5402.89	gastronomiasolar.com	180° - 200 °C (según latitud)
Horno solar suntaste compact	\$7394.54	gastronomiasolar.com	180° - 200 °C (según latitud)
Gosun gosun go horno solar	\$8769.00	mercadolibre.com.mx	Sin registro

2.32.2 Estufa solar parabólica

Las cocinas parabólicas son versátiles; pueden cocinar, hervir, freír y hornear todo tipo de alimentos muy rápidamente, en comparación con las cocinas de caja, embudo o panel. Una cocina parabólica típica tiene un reflector parabólico de 1.4 m de diámetro unido a un soporte firme de tal manera que se puede girar fácilmente para seguir la altitud solar y los ángulos de acimut, cada 15 a 20 min (Arunachala & Kundapur, 2020). En la tabla 3, se muestran diversos modelos y sus costos de prototipos de estufas parabólicas disponibles en el mercado.

Tabla 3- Modelos de estufas solares de reflector parabólico disponibles en el mercado.

Tipo de diseño	Costo (MXN) comercial	Punto de venta	Temperatura
Cocina solar parabólica cookup inox	\$6250.40	Gastronomiasolar.com	+200 °C
Cocina solar parabólica cookup 200	\$8263.24	Gastronomiasolar.com	+200 °C
Gdae10 cocina solar portátil	\$9419.00	Mercadolibre.com	Sin registro



2.32.3 Estufa solar de panel tipo embudo

En el año 1996, Roger Bernard (Bernard, 1996) el inventor de la cocina de panel, intentaba modificar la cocina de caja para hacerla más segura, especialmente para los niños, quitando la cubierta de vidrio. Descubrió que la caja no funcionaba cuando se quitaba el vidrio. Entonces, trató de aumentar la superficie del reflector, y esto tampoco funcionó. Luego colocó la comida a cocinar en una ensaladera invertida. Para deleite de su equipo, este arreglo funcionó, y así nació la gran y más popular cocina solar 'COOKIT'. Fue Barbara Kerr, quien bautizó este sencillo aparato como 'Cocina de panel' y actualmente existen diversos modelos en el mercado, como se ilustra en la Tabla 4. Aunque las cocinas de panel son económicas de construir y están disponibles a bajo costo, tienen un rendimiento de eficiencia de cocción más bajo (Vengadesan & Senthil, 2021).

Tabla 4- Modelos de estufas solares de panel disponibles en el mercado.

Tipo de diseño	Costo (MXN) comercial	Punto de venta	Temperatura
Easycook	\$1205.00	www.invasionverde.com	120°C
Cocina solar de 2300W	\$2590.95	es.aliexpress.com	120°C
Cocina solar plegable sungood	\$1878.79	www.solarbrother.com	100°C a 120°C

2.33 Cálculo de desempeño de estufas solares

De acuerdo con diferentes autores el desempeño de rendimiento de las estufas solares se puede calcular mediante el uso de ecuaciones de eficiencia térmica en donde se involucran la temperatura, irradiancia, capacidades caloríficas, masas y áreas de las estufas. A continuación, se muestra una serie de ecuaciones en la tabla 5 que son aplicables para dicho cálculo. Para esta investigación se utilizará la ecuación de (Aquilanti et al., 2023).



Tabla 5-Ecuaciones para el cálculo de la eficiencia térmica de estufas solares.

Autores	Eficiencia térmica
(Ebersviller & jetter, 2020)	$\eta_t = \frac{P_s}{I_s A_i} \times 100$
(Chaudhary & Yadav, 2020)	$\eta_{twcs} = \frac{m_o C_f \left(\frac{\Delta t_s}{dt}\right)}{A_c S_i}$
(Kaiyan et al., 2009)	$\eta = \frac{\dot{m} C_p (T_o - T_i)}{A \times I}$
(Aquilanti et al., 2023)	$\eta_{av} = \frac{m_f C_f (T_2 - T_1)}{G * A \times \Delta t}$

2.34 Evaluación de Calidad de los productos cocinados al Sol.

La calidad de los alimentos se han definido como un grado de excelencia en la que se incluyen cualidades como el sabor, aspecto y contenido nutricional (Potter & Hotchkiss, 1999). Además, se incluyen también características que, aunque pueden ser muy subjetivas, dependen de la aceptabilidad del consumidor.

Cuando seleccionamos los alimentos y cuando los comemos utilizamos todos nuestros sentidos, incluidos la vista, olfato, gusto, tacto e incluso el oído, estas propiedades son conocidas como propiedades sensoriales. Los factores de calidad detectables por los sentidos pueden dividirse en tres categorías: de aspecto, textura y gusto (Potter & Hotchkiss, 1999).

Es por lo que la evaluación sensorial se suele utilizar como una medida de calidad. El Instituto de Alimentos de EE. UU. (IFT) caracteriza la evaluación tangible como "el control lógico utilizado para inspirar, medir, descomponer y descifrar las respuestas a esos atributos de alimentación y diferentes sustancias, que son vistos por las facultades de vista, olfato, gusto, contacto y audiencia" (Aguilar Lagos, 2017).



Las pruebas afectivas utilizadas en el análisis sensorial tienen como propósito evaluar la respuesta (reacción, preferencia o aceptación) de consumidores reales o potenciales de un producto, idea o característica específica de un producto. Una de estas pruebas es la aceptabilidad.

La medición de aceptabilidad sensorial se realiza a través del uso de escalas hedónicas, permitiendo la evaluación de hasta 5 o 6 muestras dependiendo de la naturaleza del producto. Esta prueba se basa en que el consumidor dé su impresión una vez que ha probado las muestras, señalando cuánto le agradan o desagradan (grado de aceptabilidad sensorial).

Las muestras se presentan codificadas en orden equilibrado entre los consumidores. Es recomendable que entre la presentación de una y otra muestra el consumidor haga un intervalo de 1 a 3 min y utilice algún neutralizante (frecuentemente agua) para evitar la fatiga (Hough & Fiszman, 2005). En la tabla 6, se muestra un ejemplo de escala estructurada utilizada en ensayos de aceptabilidad.

Tabla 6-Escala estructurada (aceptabilidad). Fuente: Estimación útil de la vida sensorial de los alimentos de (Hough & Fiszman, 2005).

Escala estructurada (Aceptabilidad)

Escala verbal	Escala numérica
Me gusta extremadamente	9
Me gusta mucho	8
Me gusta moderadamente	7
Me gusta levemente	6
Ni me gusta ni me disgusta	5
Me disgusta levemente	4
Me disgusta moderadamente	3
Me disgusta mucho	2
Me disgusta extremadamente	1



El análisis sensorial descriptivo, representa la metodología más sofisticada en comparación con los métodos de discriminación y de aceptabilidad. Entre los diferentes métodos para realizar ensayos descriptivos se encuentran, por ejemplo, el “Perfil de Sabor” (Flavor Profile) y “Perfil de Textura” (Texture Profile), no obstante, el método más utilizado es el “Análisis Descriptivo Cuantitativo” (The QDA Method). Este método fue desarrollado por Stone y Sidel en 1974 (Stone y Sidel, 2004) y se encarga de medir las características sensoriales de un producto (Hough & Fiszman, 2005). En la tabla 7 se observa la escala estructurada del análisis descriptivo cuantitativo enfocado en la diferencia entre diferentes tipos de muestras.

Tabla 7-Escala estructurada de formulario de análisis descriptivo cuantitativo. Fuente: Estimación de la vida útil sensorial de los alimento de (Hough & Fiszman, 2005).

Escala estructurada	
Escala verbal	Escala numérica
Ninguna diferencia	0
Diferencia muy leve	1
Diferencia leve o moderada	2
Diferencia moderada	3
Diferencia modera o grande	4
Diferencia grande	5
Diferencia muy grande	6



CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

La metodología de la presente investigación es de tipo mixto con enfoques cuantitativos y cualitativos para llevar a cabo el análisis de resultados de los procesos de secado y de cocción solar, como se describe en la figura 5.

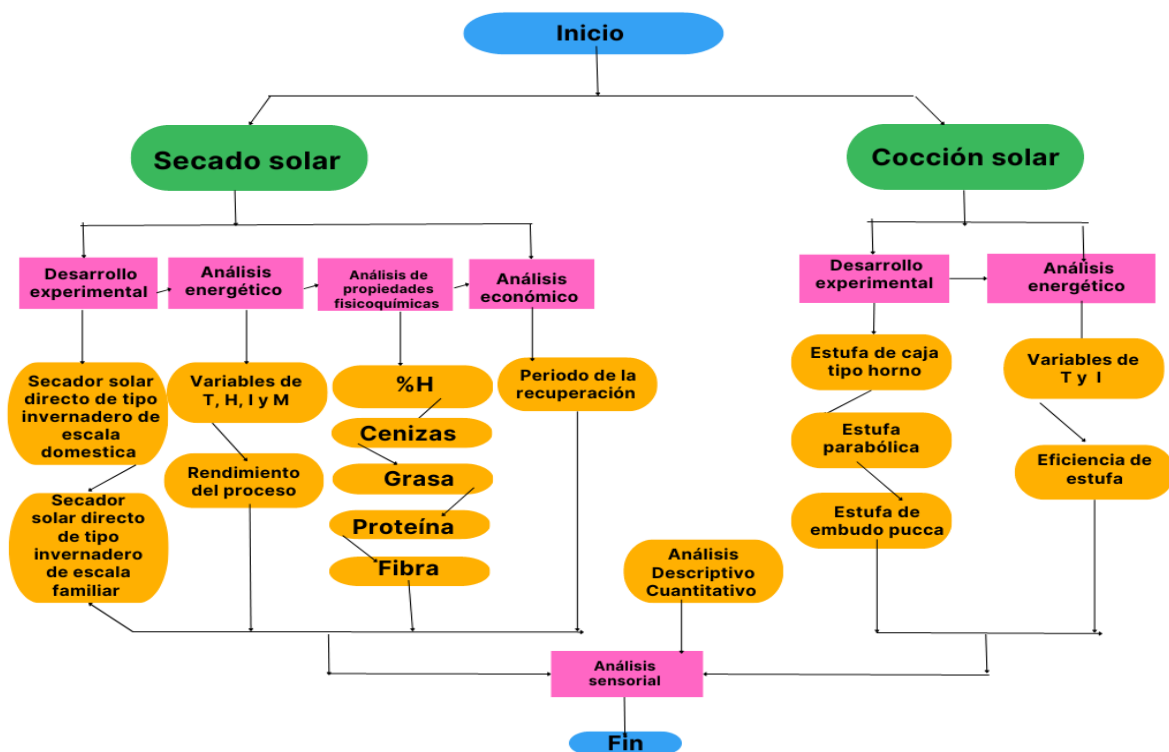


Figura 5- Diagrama de flujo de la metodología de investigación.

En el diseño metodológico se usará método cualitativo en los análisis sensoriales de los productos obtenidos de la cocción y el secado solar utilizando escalas de aceptabilidad (Hough & Fiszman, 2005). El método cuantitativo se aplicará para el análisis energético y económico de los prototipos de secado y cocción solar. La metodología tiene también corte experimental ya que se hará uso de sistemas de medición para el registro de variables como la temperatura, humedad, irradiancia y pérdida de masa para el análisis de desempeño energético de los prototipos. El registro y adquisición de datos durante el desarrollo experimental de los procesos de secado y cocción, es fundamental para el análisis energético y el análisis de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de los productos obtenidos. Para la evaluación del desempeño



energético de los prototipos se utilizó un sistema autónomo de medición, monitoreo, registro, procesamiento y almacenamiento de datos, de las variables temperatura, irradiancia, humedad y masa. El sistema de medición está basado en el uso de un microcontrolador Arduino Mega 2560 y el Software “Arduino IDE” y cuenta con 10 sensores “DS18B20” para la medición de temperatura, 4 sensores “DHT22” para la medición de humedad relativa y temperatura, 4 celdas solares de 2.3 x 4.3 cm calibradas para conocer la irradiancia solar y un módulo HX711 conjunto a una celda de carga de 5 kg para la medición de masa, un módulo micro SD para guardar la información obtenida de los sensores y un display “SSD1306” para la visualización de información en tiempo real.

3.1 Desarrollo experimental de secado de productos

Para un correcto secado de producto se debe seguir una metodología en la que se incluye desde la selección de la fruta, hasta el etiquetado y almacenamiento de los productos. En la figura 6 se presenta el diagrama de flujo a seguir en el proceso de secado. Cabe mencionar que la metodología de secado puede ser aplicada para cualquier tipo de fruta, en esta tesis el proceso y los resultados están enfocados a las frutas de mango Kent y plátano verde y maduro thai.

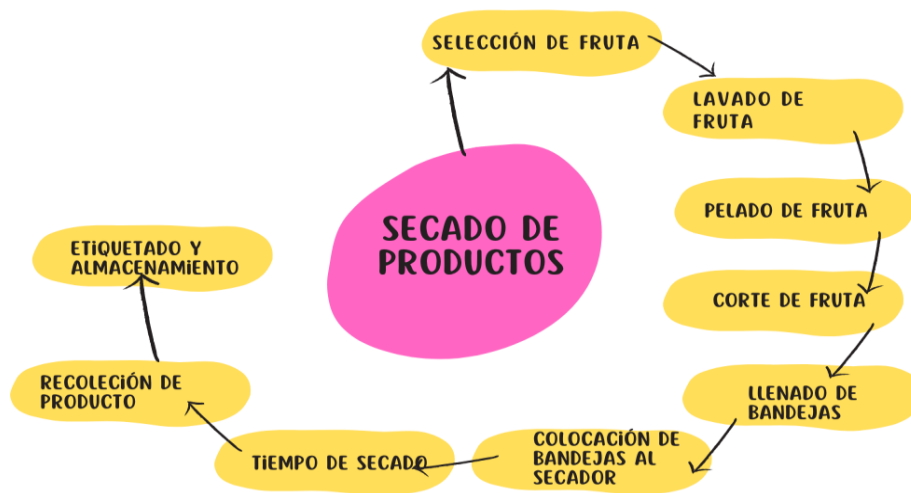


Figura 6-Diagrama de flujo del desarrollo experimental del secado de productos. Fuente (FAO-AGS, 2007)



3.2 Análisis Energético del proceso de secado

En la figura 7 se observa el diseño y dimensiones del secador de escala doméstica. Está fabricado con lámina de policarbonato 6mm transparente con protección contra rayos UV, la estructura en perfil cuadrado de aluminio $\frac{3}{4}$ in (pulgadas). Cuenta con 3 charolas para la carga de fruta, de malla mosquitera. El secador cuenta con un ventilador, extractor VNGA-117 M Steren 115V 50/60 Hz 0.17 A.

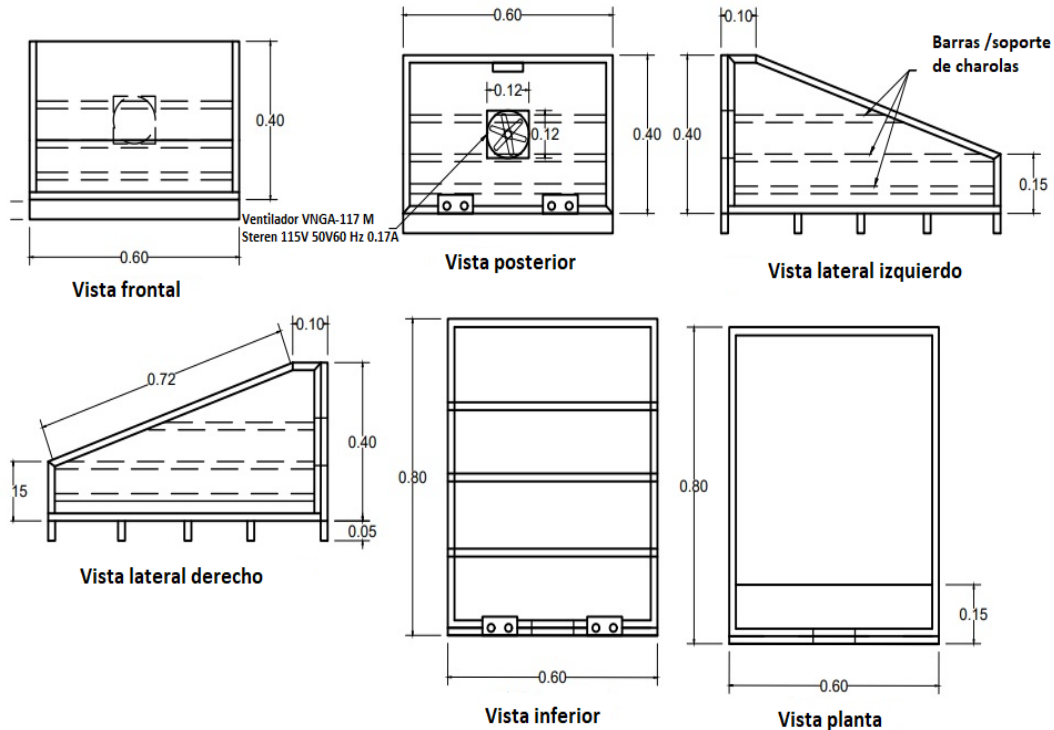


Figura 7-Plano del prototipo de secador de escala doméstica.

En la figura 8 se muestra el diseño y dimensiones del secador solar tipo invernadero de escala familiar. Fabricado con hoja de policarbonato transparente de 6 mm y protección contra rayos UV. Cuenta con 36 charolas para la carga de frutas construidas con perfil cuadrado de aluminio $\frac{3}{4}$ in cubiertas de malla tipo mosquitera 00. La estructura del secador es de perfil cuadrado de aluminio $1\frac{1}{4}$ ft con estructura de puerta armada con zoclo sobre vena 2 in , cerco de chapa 2 y con 4 ventiladores VNGA-117 M Steren 115V 50/60 Hz 0.17 A. El secador cuenta con un vano para entrada de aire de 0.20 m del lado lateral derecho.

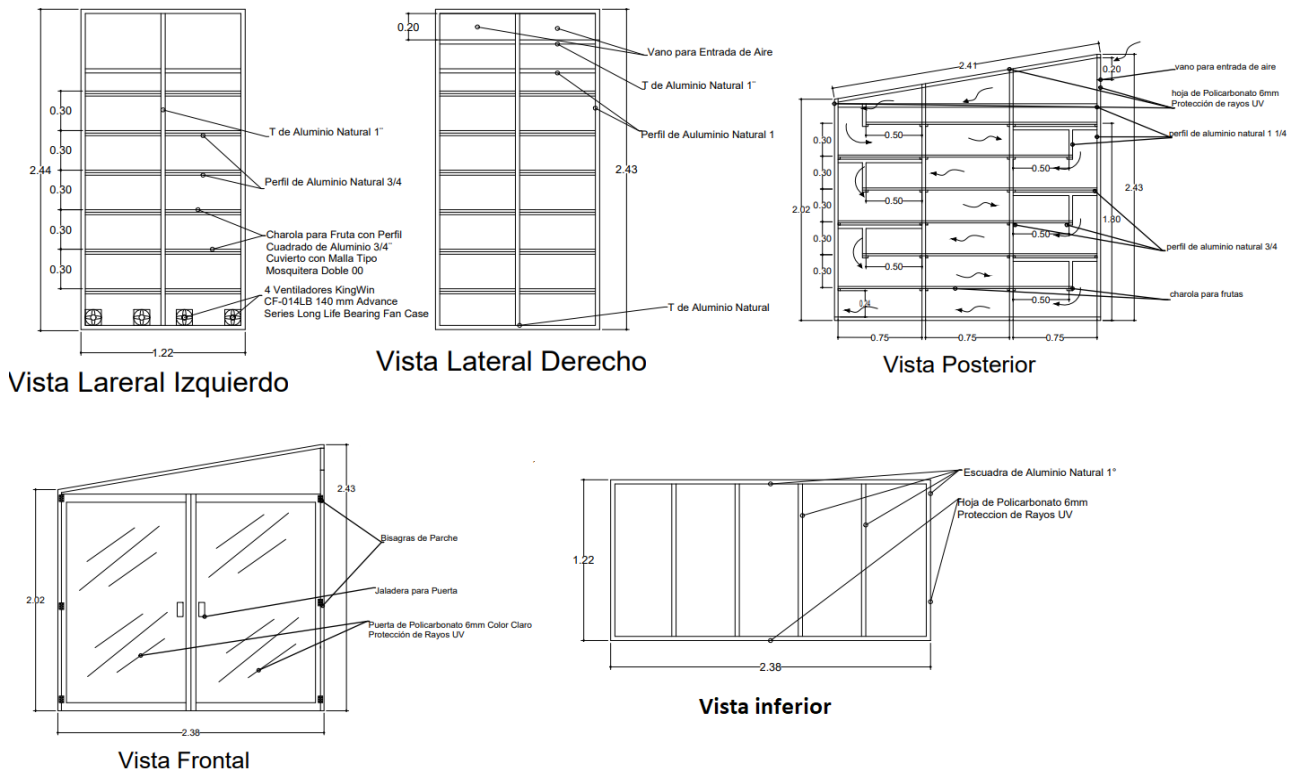


Figura 8- Plano del prototipo de secador solar directo tipo invernadero de escala comercial.

El rendimiento del secador se estimó como la diferencia de masa entre la energía utilizada, utilizando las ecuaciones (1) y (2). La energía incidente se obtiene como el área de captación (m^2) multiplicada por la insolación (kWh/m^2). En el caso de la presente tesis para el área de captación se consideraron el plano superior de la techumbre y la cara sur del secador. El valor de la insolación se obtuvo de la integral de la irradiancia en el intervalo de tiempo establecido para el proceso de secado.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Masa (kg)}}{\text{Energía (kWh)}} \quad (1)$$



$$\text{Rendimiento} = \frac{p1-p2}{A*S} \quad (2)$$

Donde

p1=peso inicial del producto (kg)

p2=peso final del producto (kg)

A=área del secador (m²)

S=insolación (kWh*m²)

3.3 Análisis de propiedades fisicoquímicas de los productos secos.

En figura 9 se muestra un diagrama a bloques de la secuencia de análisis químico-proximal.

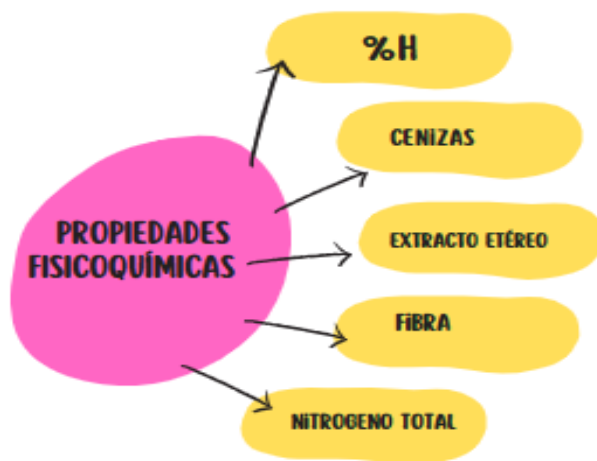


Figura 9-Diagrama de flujo de las determinaciones de las propiedades fisicoquímicas.

3.3.1 Determinación de materia seca y porcentaje de humedad

La determinación de materia seca y del porcentaje de humedad se realizó por triplicado. Para dicha determinación se utilizaron 3 crisoles, los cuales fueron puestos a peso constante durante 1 hora para posteriormente ser pesado. A continuación, se colocó en cada crisol una muestra de aproximadamente 1.5 gramos de cada fruta (mango y plátano). Una vez colocada la muestra en los crisoles, se depositaron en el horno de convección por 24 horas a una temperatura de 110°C, y pesados nuevamente.



Para la obtención de la materia seca y porcentaje de humedad, se utilizaron las siguientes (3) y (4).

$$\% \text{ de materia seca} = \frac{\text{PF}-\text{PI}}{\text{PM}} * 100 \quad (3)$$

$$\% \text{ de humedad} = (100) - (\% \text{ de materia seca}) \quad (4)$$

Donde:

PF=peso final del crisol (g)

PI=peso inicial del crisol (g)

PM=peso de la muestra (g)

3.3.2 Determinación de cenizas

La determinación de cenizas se llevó a cabo en base seca. Las muestras fueron depositadas en una mufla por 5 horas a temperatura de 550°C. Una vez concluido el tiempo, se registró el peso. Para el cálculo del porcentaje de cenizas de utilizaron las ecuaciones (5) a (7).

$$\text{Gramos de cenizas} = \text{PF}-\text{PI} \quad (5)$$

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\text{PF}-\text{PI}}{\text{PM}} \quad (6)$$

$$\% \text{ Cenizas BS} = \frac{\text{Peso cenizas} \times 100}{\text{PM}} \quad (7)$$

Donde:

PF=peso final del crisol (g)

PI=peso inicial del crisol (g)

PM=peso de la muestra (g)

3.31 Determinación de extracto etéreo

La determinación de extracto etéreo se realizó por el método de Soxhlet. EL recirculador que ayuda a enfriar el equipo Soxhlet estuvo a una temperatura de 5°C. Se utilizaron 5 g de muestra para cada determinación. Las muestras fueron pesadas en cartuchos de celulosa, mismas que fueron depositadas en los extractores del equipo Soxhlet. En un matraz con cuello



esmerilado (previamente puestos a peso constante y registrado su peso), se colocaron 130 ml de éter de petróleo para ser utilizado como solvente. Posterior a esto los matraces fueron colocados en la parrilla de calentamiento del equipo y se conectaron con el tubo enfriador. Una vez que todo el equipo está instalado se encienden las parrillas a 180°C y se asegura que haga la primera ebullición. La extracción se efectúa por un periodo de 4 horas. Durante la extracción se observa continuamente que se realice el reflujo o sifoneo correctamente y que el goteo sea constante y se deposite dentro del cartucho.

Una vez terminado el periodo de tiempo de la extracción, se apaga el equipo y se deja enfriar el matraz para posteriormente ser puesto en un rotaevaporador a vacío BUCHI con controlador V-850. La presión a la que se llevó la evaporación fue 450 mbar a 90 rpm. Finalmente, el matraz con el contenido de grasa fue limpiado externamente con papel y puesto en el horno de convección a 110°C por media hora, esto para que terminaran de evaporarse residuos de vapores. Pasada la media hora los matraces se colocan en el desecador de vidrio y pasados 20 min fueron pesados nuevamente para obtener el contenido final de grasa en las muestras. La ecuación 8 se utilizó para obtener el % final de extracto etéreo.

$$\% \text{ de extracto etéreo} = \frac{P-p}{M} 100 \quad (8)$$

Donde:

P=peso en gramos del matraz con grasa

p=peso en gramos del matraz sin grasa

M=peso en gramos de la muestra

3.3.3 Determinación de fibra

Para la determinación de fibra se deben utilizar muestras que contengan naturalmente menos de 1% de lípidos, o de lo contrario realizar una extracción previa. Para esta investigación las muestras utilizadas fueron obtenidas en la determinación de extracto etéreo. Se preparan dos soluciones, la primera con H₂SO₄ al 0.225 N donde se utilizaron 7 ml de H₂SO₄ para preparar



1L de solución. Para el cálculo de la cantidad de volumen utilizado de H_2SO_4 se aplicó la ecuación 9.

$$N = \frac{(m) * (\#eq)}{(PM) * (v)} \quad (9)$$

Donde:

N=normalidad, moleq/L

m=masa, g

#eq=número de equivalentes, eq

PM=peso molecular, g/mol

v=volumen, L

Por tratarse de volumen aplicamos también la ecuación (10).

$$v = \frac{m}{\rho} \quad (10)$$

Donde:

v=volumen ml

m=masa, g

ρ =densidad g/ml

Para la solución de NaOH al 0.313 N, se aplicó la fórmula anterior (10). Se pesaron crisoles previamente lavados y secos que fueron puestos a peso constante lo mismo que los papeles filtro libres de cenizas, esto por 2 horas. Para registrar el peso de cada uno. Una vez preparadas las soluciones se transfieren dos gramos de la muestra desengrasada a un vaso de Berzelius de 600 ml y se adicionan 200 m de la solución acida (H_2SO_4) previamente calentada a 80°C. Una vez terminado, colocamos cada uno de los vasos de Berzelius en una de las placas previamente calentadas en el digestor con recirculación (CHILLER) y se toman 30 min al iniciar la ebullición.

Terminada la digestión se filtra la mezcla acidificada con el papel filtro libre de cenizas y el sistema buchner-kitasato con bomba de vacío (esperar que esté atemperada la muestra), esto



hasta obtener los residuos totales en el filtro. Utilizar aproximadamente 3 litros agua para realizaracaaaaa el filtrado.

Se transfiere la muestra filtrada al vaso de Berzelius, lavando el papel filtro con 200 ml de la solución alcalina (NaOH) y comenzar la digestión al igual que en la solución ácida. Volvemos a filtrar la mezcla alcalina con el papel filtro libre de cenizas proseguir con el lavado de la muestra. Por último, trasferimos al papel filtro (sin cenizas) con la muestra a un crisol y se dispone a secar a 110°C hasta obtener peso constante (toda la noche aprox.). Se registra el peso. Luego, se calcinan a 600°C durante 3 horas, esto para obtener el peso final del crisol con la muestra. Se deja enfriar en un desecador y finalmente se pesa el crisol y registrar el peso. Para la determinación del contenido de fibra cruda se utiliza la ecuación (11).

$$\% \text{Fibra cruda} = \frac{(P_s - (P_c - P_{cv}))}{M} \times 100 \quad (11)$$

Donde:

P_s = peso seco del residuo a 110°C

P_{cv} = peso del crisol vacío (g)

P_c = peso de las cenizas de la muestra (g)

M = peso de la muestra (g)

3.3.4 Determinación de nitrógenos totales

Esta determinación consta de 3 etapas. En la primera se lleva a cabo la digestión, para eso pesamos 1 g por cada una de las muestras y lo introducimos en el matraz Kjeldahl seco. A cada uno de los matraces les agregamos una pastilla de mezcla catalizadora (7g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} + 93\text{g K}_2\text{SO}_4$ o Na_2SO_4) y 15 ml de H_2SO_4 concentrado al 93-98%. Una vez terminado se colocan los matraces en el digestor Kjeldahl, al que previamente se le fue colocado el colector de gases y se encendió el Scrubber. La combinación de la pastilla y H_2SO_4 generan un color oscuro.

El digestor fue puesto en posición 8. La digestión se lleva a cabo poco a poco hasta que cambie de color oscuro a verde azulado. Se deja enfriar la muestra digerida, el Scrubber no se apaga hasta que ya no haya ningún vapor y este frío. A cada uno de los tubos se le añaden 80



ml de agua destilada y se espera 10 min a que la muestra esté fría. Es importante el periodo de enfriamiento ya que, en el procedimiento de determinación, el apelmazamiento de las sales causa bajas recuperaciones del nitrógeno contenido en la muestra.

La segunda etapa continua con la destilación de las muestras, para ello en un matraz Erlenmeyer de 500 ml, se adiciona 80 ml de solución de H_3BO_3 al 4%. Dicha solución fue preparada con 40 g de H_3BO_3 . Se utilizó la siguiente fórmula para hacer el cálculo de masa.

$$\% \text{ masa} = \frac{M(g)}{\text{Disolvente (ml)}} \times 100 \quad (12)$$

Donde:

$M(g) = \text{masa (g)}$

Al matraz Erlenmeyer se le adiciona 3 gotas de reactivo Shiro-tashiro. La solución se tornará de rosa al agregar el reactivo. Para realizar la destilación se utilizó el equipo Buchi distillation Unit K-350. Para tener un correcto uso del destilador se debe asegurar que el Chiller este encendido, esto ayudará a mantener el enfriamiento del destilador. El destilador está programado para destilar durante 4 min. Se debe verificar que los contenedores adicionales tengan suficiente agua destilada uno y el otro, NaOH al 32%. Para preparar la solución de NaOH de utilizaron 320 g para 1 L de solución. Al inicio de la destilación, se coloca el tubo Kjeldahl y un matraz con agua para hacer un lavado previo, antes de destilar las muestras.

Colocar el tubo con la muestra en el destilador, y el matraz Erlenmeyer, en el extremo del destilador el cual contiene la solución de H_3BO_3 y el reactivo Shiro-Tachiro.

Luego se presiona el botón “reagent” por siete segundos (Estos siete segundos están probados que adiciona 80 ml) para que agregue el NaOH a la muestra. Cuando vire la muestra en el matraz de violeta a verde está destilada la muestra. Al final se vuelve a poner el tubo y matraz con agua solamente para hacer el lavado final.

Para la tercera etapa, se lleva a cabo la titulación de las muestras. Esto se realiza con HCl 0.1 N valorado mediante una bureta de 50 ml. Se utilizo 8.28 ml de HCL para 1 L de solución. Para prepara la solución se utilizó la siguiente formula 13.



$$N = \frac{m \cdot \#eq}{PM \cdot v} \quad (13)$$

Donde:

N=normalidad, moleq/L

m=masa, g

#eq=número de equivalentes, eq

PM=peso molecular, g/mol

v=volumen, L

En una placa se calentamiento se coloca el matraz y un agitador magnético para que se homogenice cuando se está agregando el ácido clorhídrico (HCl). Se agrega muy lentamente el HCl y dejar de agregarle en cuanto cambie de color la muestra. Cambia de color verde malaquita a violeta. Para el cálculo de nitrógeno total se aplicó la ecuación (14).

$$\% \text{ de N total} = \frac{\text{ml de HCl gastado} \times N \times 0.014 \times 100}{\text{g de muestra}} \quad (14)$$

$$\% \text{ de proteína bruta} = \% \text{ de N} \times 6.25 \quad (15)$$

Donde:

N=Normalidad de HCl

0.014=Miliequivalente químico del N

6.25=Proporción de proteína a N



3.4 Análisis Energético del proceso de Cocción

El análisis energético del proceso de cocción se llevará a cabo en 3 de los prototipos de estufas solares que se encuentran en (SCI, 2023) y que son de acceso público. El primer prototipo es el de caja tipo horno en la figura 10 se puede observar el plano de dicha estufa, cabe mencionar que los planos se adaptaron a las necesidades para dicha tesis. En la figura 11 se presenta el plano de la estufa parabólica y en la figura 12 el plano de la estufa de panel tipo embudo “Pucca”.

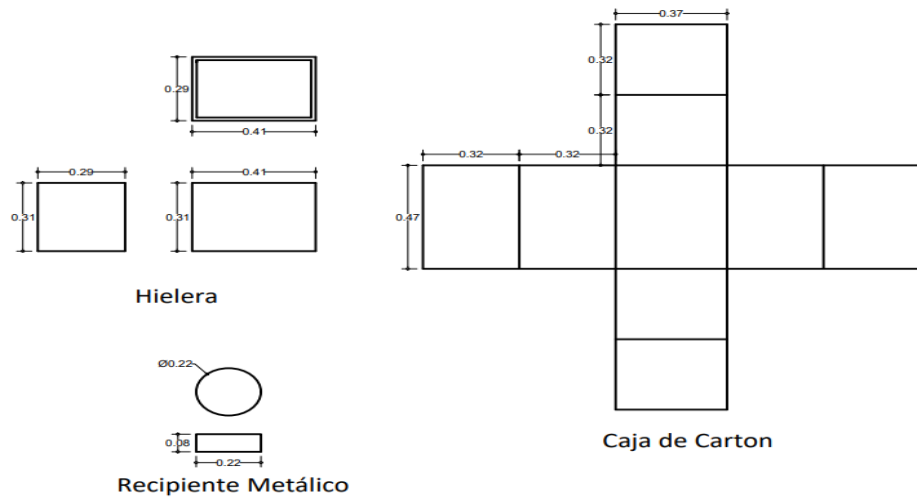


Figura 10-Plano de prototipo de estufa de caja de tipo horno

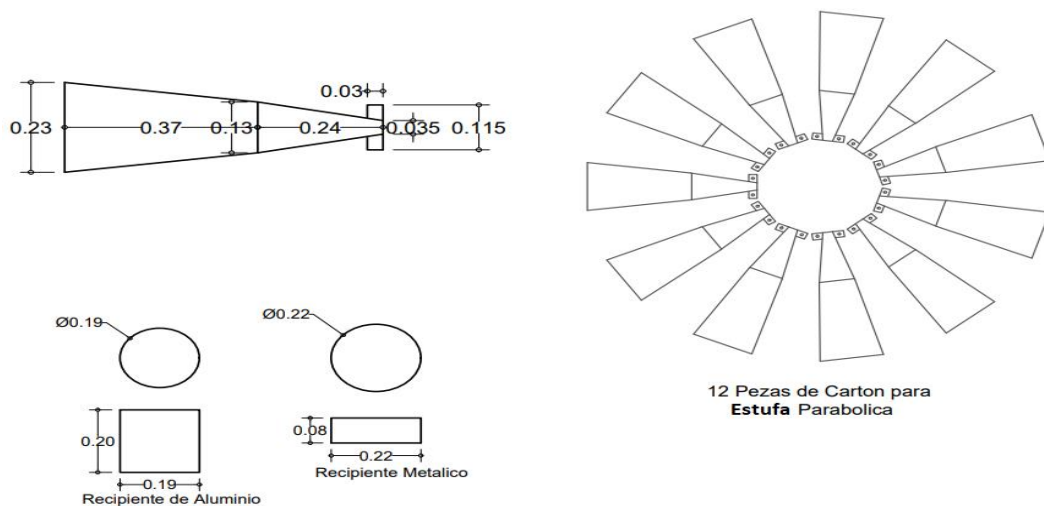


Figura 11-Plano del prototipo de estufa parabólica

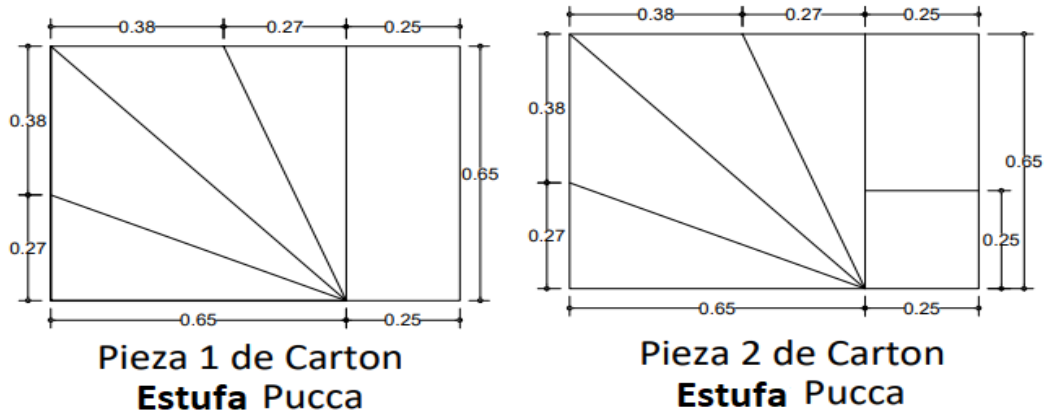


Figura 12-Plano de estufa de panel tipo embudo Pucca.

Para el análisis energético se optó por utilizar la ecuación de eficiencia térmica de (Aquilanti et al., 2023). El análisis de las estufas solares en la actualidad todavía es un proceso un tanto complejo y por lo tanto se sigue investigando y experimentando para tener una certeza más eficaz que ayude a determinar dicho análisis. De acuerdo con el diseño de cada estufa, el análisis puede variar y se toman diferentes parámetros. Es por lo que la ecuación que se muestra a continuación se utilizara para los 3 tipos de estufas en la presente investigación. El análisis energético se consideró como fluido térmico el agua presente en cada uno de los alimentos a cocinar.

$$\eta_{av} = \frac{m_f C_f (T_2 - T_1)}{G * A * \Delta t} \quad (16)$$

Donde:

η_{av} es la Eficiencia térmica del sistema, m_f es la masa del fluido térmico en el sistema (kg)

Δt_s = Diferencia de tiempo

A = Área del colector, m^2

G = irradiancia, W/m^2

C_f = Calor específico del fluido térmico

T_1 = Temperatura inicial, K

T_2 = Temperatura máxima alcanzada, K



3.5 Análisis de propiedades sensoriales de los alimentos.

El Análisis Descriptivo Cuantitativo fue aplicado para los productos de secado y para los alimentos obtenidos en el proceso de cocción. El análisis sensorial se realizó para los productos secos obtenidos de mango y plátano, tanto en secado solar como en deshidratador con gas convencional.

Mientras que para los alimentos de cocción fue para 4 muestras de alimentos diferentes: arroz, frijol, carne de cerdo y pay de queso. El análisis sensorial fue realizado a un panel no experto de 20 personas, mismas que degustaron las 4 muestras de secado y 4 muestras de cocción. El análisis descriptivo cuantitativo fue adaptado para fines de esta tesis y el formulario se muestra continuación en la tabla 8 y 9, para cocción y para secado respectivamente.

Tabla 9-Formulario de pruebas sensoriales para cocción.

Formulario de pruebas sensoriales								
Lugar y fecha:			Edad:		Genero:	M	F	Muestra:
Características	Aspecto general	Olor	Sabor	Acidez	Consistencia	Observaciones		
Me gusta								
Me disgusta								
No respondió								
Muchas gracias								

*Fuente: (Hough & Fiszman, 2005)

Tabla 8-Formulario de pruebas sensoriales para secado

Formulario de pruebas sensoriales								
Lugar y fecha:			Edad:		Genero:	M	F	Muestra:
Características	Aspecto general	Olor	Sabor	Acidez	Consistencia	Observaciones		
Me gusta								
Me disgusta								
No respondió								
Muchas gracias								

*Fuente: (Hough & Fiszman, 2005)



Diferencia entre muestra 1 y 2			
Característica			
Ninguna diferencia			
Diferencia leve			
Diferencia moderada			
Diferencia grande			
¿Cuál muestra le gusta más?			
Muestra 1		Muestra 2	
¿Por qué?			

*Fuente: (Hough & Fiszman, 2005)



CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Proceso de secado a escala doméstica

El proceso de secado de fruta se realizó siguiendo los manuales operativos de la FAO (FAO-AGS, 2007). Se realizaron 3 pruebas, las primeras dos el 15 de febrero del 2023 con el secador sin carga, la segunda cargada con plátano y una más 02 de marzo del 2023 con mango. En los tres casos el secador se cargó con 1kg de pulpa, el tiempo se fijó 5 horas para las 3 pruebas. Durante las pruebas los ventiladores se mantuvieron apagados para tener una condición de trabajo en modo directo-pasivo. Los sensores de temperatura del sistema de instrumentación se colocaron en los tres niveles de bandejas para obtener un promedio de temperatura global dentro del secador, además, a la entrada, a la salida del secador y la temperatura ambiente. Los sensores de humedad se colocaron por duplicado para tener la humedad promedio global dentro del secador. Los sensores de irradiancia se colocaron dentro y fuera del secador para tener el valor de la irradiancia directa y difusa. En la figura 13 se muestra la distribución de los sensores de irradiancia, temperatura y humedad en el secador de escala doméstica El sensor rojo 1, 2, 3 y 4 representa la T (temperatura) ambiente, T entrada, T global y la T salida, respectivamente. El sensor 1 amarillo representa la irradiancia global y el sensor 1 azul la humedad relativa global.

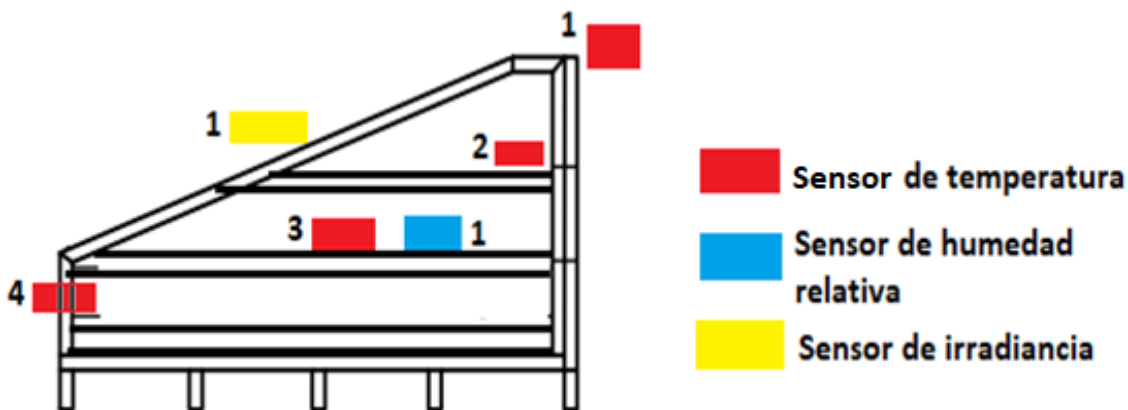


Figura 13-Distribución de los sensores de temperatura, irradiancia y humedad en el secador doméstico.



En la figura 14 se observa el comportamiento de la humedad relativa, la irradiancia y la temperatura. La hora de inicio de prueba fue a las 10:30 a.m. Se obtuvo una T máxima a la entrada de 79.4°C, y para la T máxima a la salida 78.3°C. La temperatura promedio global durante 3 horas se mantuvo entre los 70°C y los 78°C. La humedad alcanzó un máximo de 41.5 %, y la mínima fue de 3%. La irradiancia global fuera del secador alcanzó los 899.5 W/ m² como máximo a las 13:00 p.m.

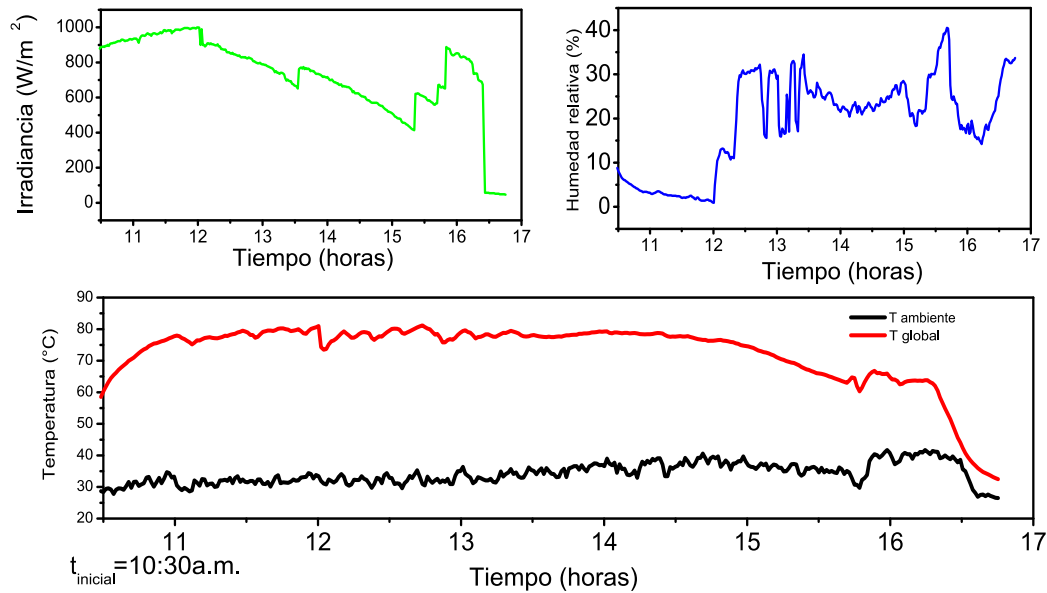


Figura 14-Humedad relativa, irradiancia y temperatura en función del tiempo para el secador de escala doméstica sin carga.

Los resultados para la prueba con el secador cargado con plátano se muestran en la figura 15. El proceso inició a las 10:30 a.m., la temperatura máxima global alcanzó 81.3°C. Las temperaturas se mantuvieron entre los 70°C- 80°C de las 12:00 p.m. hasta las 3:00 p.m. La humedad relativa del ambiente fue de 33% y dentro de la cámara de secado osciló entre el 10% y 20%. La curva de máxima irradiancia coincide como era esperado, con el periodo en el que se presentó menor cantidad de humedad y mayor temperatura. Cuando la irradiancia disminuye la temperatura también lo hace y, por lo tanto, la humedad aumenta.

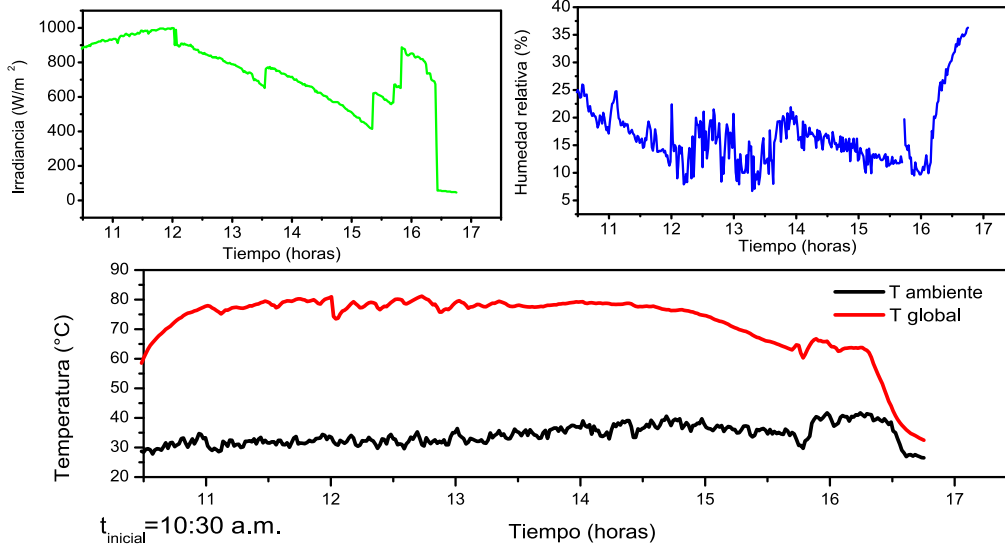


Figura 15-Irradiancia, humedad relativa y temperatura en función del tiempo para el secador de escala doméstica cargado con plátano.

La figura 16 muestra el comportamiento de las temperaturas dentro del secador, para la prueba de secado de mango.

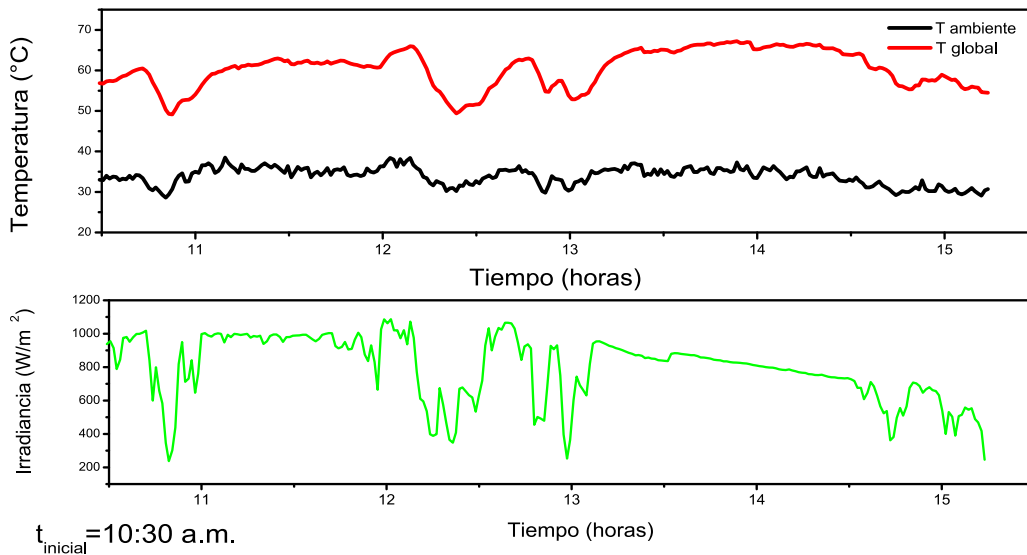


Figura 16-Irradiancia y temperatura en función del tiempo para el secador de escala domestica cargado con mango.

La temperatura de entrada y salida presentaron un comportamiento similar entre los 30°C y los 45°C. La temperatura global fue de 65°C. El periodo donde se tuvo mayor temperatura



coincide con el periodo en el que la irradiancia fue mayor. El valor máximo fue de 1100W/ m² y el mínimo de 120 W/ m².

4.2 Proceso de secado en prototipo tipo invernadero

Para el análisis del secador directo tipo invernadero familiar, instalado en la Comunidad de El llano, en el municipio de San Blas, se llevaron a cabo tres pruebas de secado. La primera prueba se realizó el 02 de febrero de 2023 con el secador vacío, una segunda, el día 17 de febrero de 2023 con el secador cargado al 100% con plátano maduro iniciando el proceso de secado a las 2:30 p.m. y la tercera prueba de secado se llevó a cabo el día 25 de febrero de 2023 con el secador cargado al 100% con plátano verde, proceso que inició a las 12:00 p.m. En la figura 17 se muestra una imagen de la construcción del secador tipo invernadero con la distribución de charolas y la colocación de los sensores de temperatura y humedad.



Figura 17-Secador directo tipo invernadero con distribución de charolas y colocación de sensores de temperatura y humedad en secador directo tipo invernadero familiar.

Para la caracterización en vacío se estableció un periodo de análisis de 24 horas. La temperatura global es consecuencia del promedio de todos los sensores, excepto los que



corresponden a la entrada y salida. La figura 18 muestra el comportamiento global de las variables de humedad y temperatura, dentro del secador. La temperatura global máxima alcanzada fue de 53.59 °C.

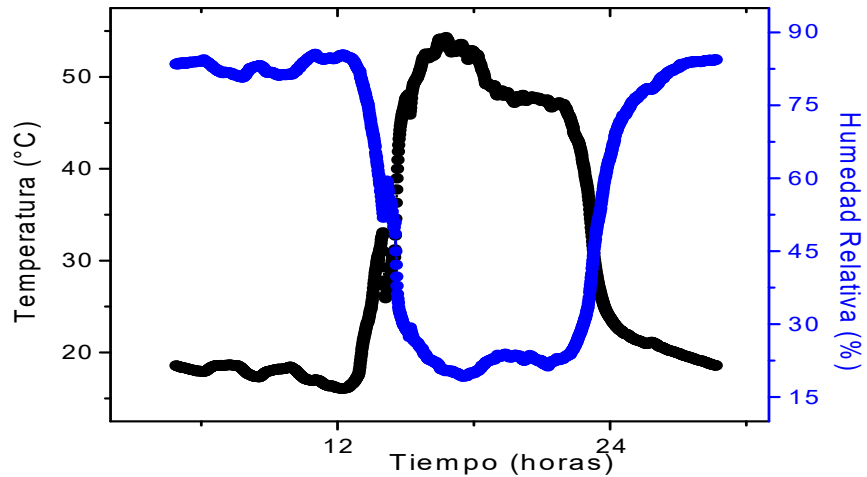


Figura 18-Temperatura y humedad relativa global en función del tiempo dentro del secador directo tipo invernadero de escala familiar, sin carga.

Se observa que la humedad máxima global de 85.76% ocurre durante las horas en las que no hay insolación, es decir, toma la humedad del ambiente. Durante las horas de máxima insolación la humedad adquiere valores mínimos, de 19.25%, esto debido al incremento de la temperatura dentro de la cámara de secado, y este comportamiento se mantiene durante el día para volver a aumentar cuando ya no se recibe energía solar. Por lo tanto, conforme la energía solar aumenta, la temperatura aumenta y por lo tanto disminuye la humedad.

La segunda prueba de secado se realizó con el secador cargado con 75 kg de pulpa de fruta. De los cuales 57.5 kg son de plátano maduro y 17.5 kg son de plátano verde. El plátano verde fue colocado en 1A, 1B, 1C, 3C, 4A y 5C el resto fue de plátano maduro. Para esta tesis se le nombró a toda la corrida como plátano maduro. La distribución de los sensores de temperatura, irradiancia y humedad se observan en la figura 19.

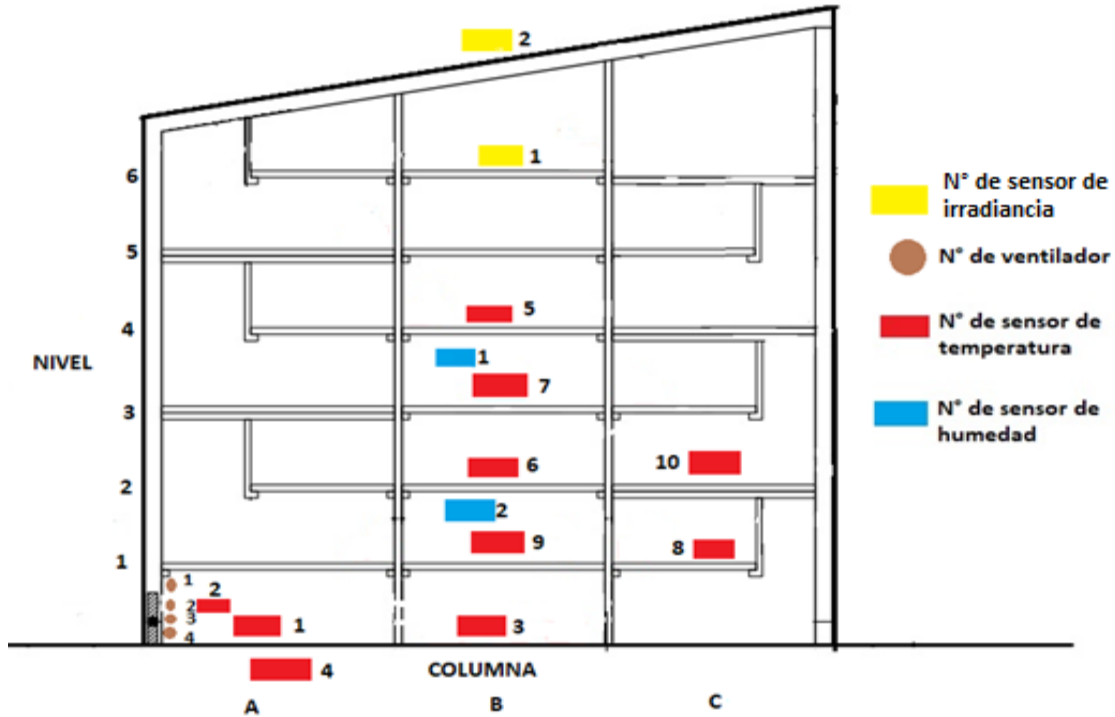


Figura 19-Distribución de los sensores de humedad, temperatura e irradiancia para el secador directo tipo invernadero de escala familiar.

El proceso duró 81 horas con la intermitencia de recurso solar durante las horas de noche, la Temperatura global se obtiene del promedio de todos los sensores de temperatura a excepto de los sensores 4, 2 y 8, ya que estos son la T ambiente, T salida y la T de entrada respectivamente. Para los sensores de humedad se realizó un promedio para todo el secador con los sensores 1 y 2, y para el sensor de irradiancia le corresponde a la irradiancia difusa el sensor 1 a la irradiancia directa en sensor 2. En la figura 20 se muestran las gráficas de temperatura e irradiancia medidas durante la prueba de secado. La Temperatura promedio global máxima fue 45.8°C.

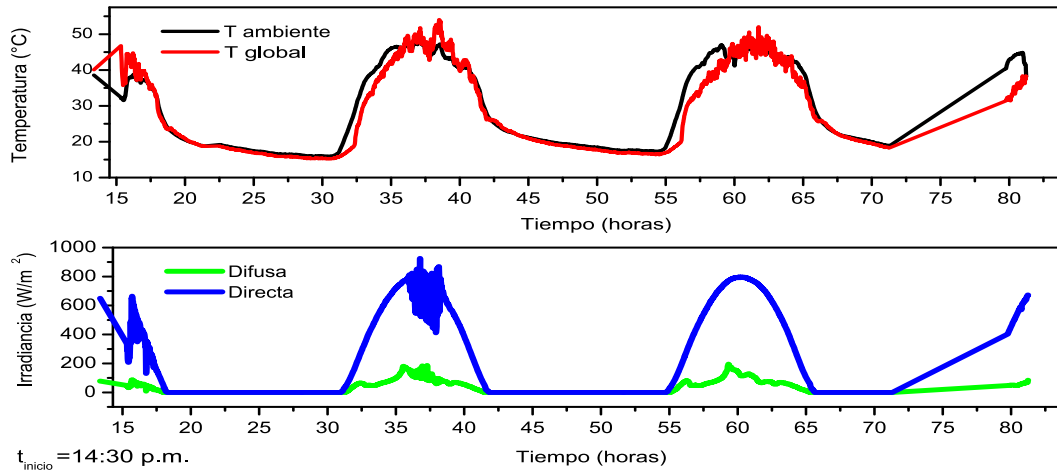


Figura 20-Temperatura e irradiancia en función del tiempo para el secador directo tipo invernadero de escala familiar con plátano maduro.

Las gráficas de irradiancia global (fuera) y difusa (dentro) se presentan en la figura 20, corroborando la linealidad entre el comportamiento de la irradiancia con el de la temperatura. En la figura 21 se muestran las gráficas de humedad y temperatura para esta prueba, el comportamiento de la humedad relativa en función del tiempo y de la temperatura son opuestos. De acuerdo con la gráfica en la parte baja del secador fue donde se presentó mayor cantidad de humedad siendo esto en los periodos donde no había radiación solar. La humedad relativa mínima que presento el secador fue de 19.80% que corresponde con el máximo de temperatura y de irradiancia. Conforme la temperatura aumenta la humedad relativa disminuye.

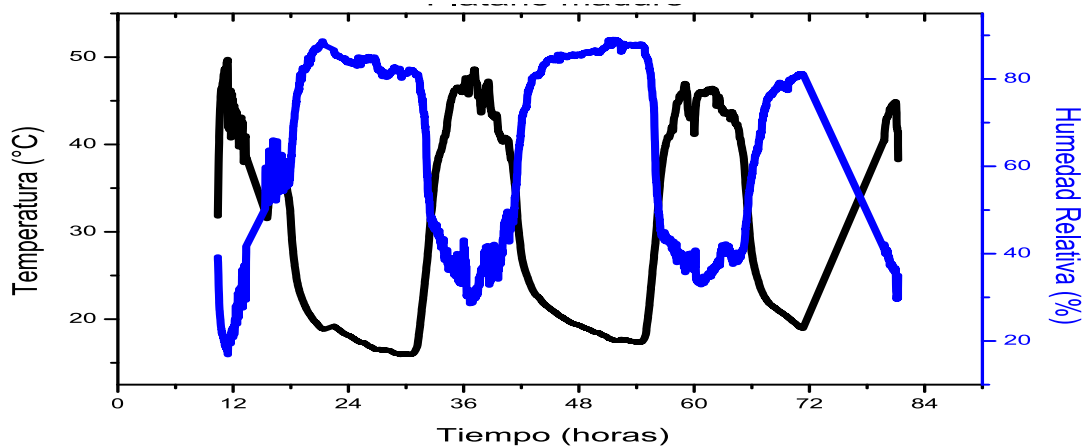


Figura 21-Temperatura y humedad relativa en función del tiempo para el secador directo tipo invernadero de escala familiar cargado con plátano maduro.



La figura 22 muestra el comportamiento de la pérdida de masa o agua eliminada durante el proceso de secado, mediante la disminución del peso inicial en masa húmeda y el peso final en seco, para cada charola. Se observa poca variación entre las columnas (eje x), sin embargo, en los niveles 1 a 6, es más significativa la pérdida de peso en los niveles 5 y 6 (eje y) y, por lo tanto, tienen una mejor eficiencia de secado.

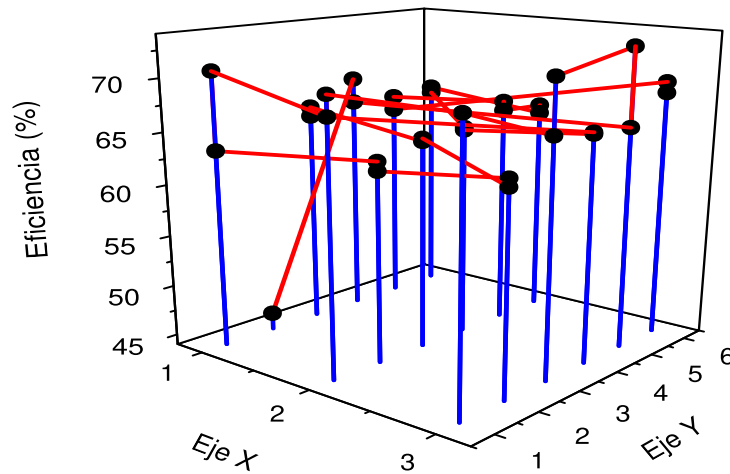


Figura 22-Pérdida de masa en función del tiempo por cada charola del secador directo tipo invernadero cargado con plátano maduro

En la figura 23 se presenta el comportamiento de la pérdida de peso por columna y por nivel, respectivamente. La columna que tuvo una mejor eficiencia de secado fue la columna 3 con valores de eficiencia de secado de hasta 72%, mientras que la columna 1 y 2 tienen un desempeño parecido entre los 65% y 70%. En el caso de los niveles el 5 y el 6 son los que presentan mayor eficiencia de secado con un 72% mientras que el nivel 2 presenta la eficiencia más baja con 46%.

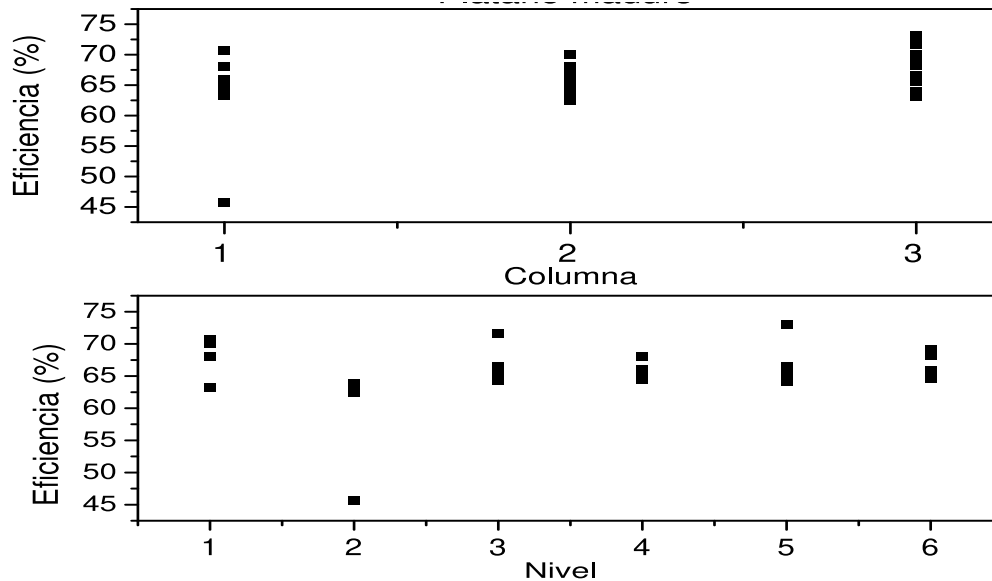


Figura 23-Eficiencia de secado para las 3 columnas del secador directo tipo invernadero de escala familiar cargado con plátano maduro.

La tercera prueba de secado se realizó el día 25-02-2023 con una carga de 60 kg de plátano verde. El proceso de secado considerando la intermitencia de la radiación solar fue de 54.66 horas, para obtener un producto totalmente seco. La Temperatura promedio global se obtiene del promedio de todos los sensores internos. Para la humedad relativa se realizó un promedio para todo el secador con los 4 sensores de humedad.

Los resultados de la medición de temperatura para la tercera prueba de secado se presentan en la figura 24. La Temperatura promedio alcanzó 41.20°C. Para esta corrida se utilizaron dos ventiladores, con la finalidad de tener una condición de secado con convección forzada, éstos se activaron a las 12:00 pm del primer día de secado. En el segundo día de secado de esta prueba se activaron los 4 ventiladores a las 10:30 am que corresponde a las 34 horas del proceso.

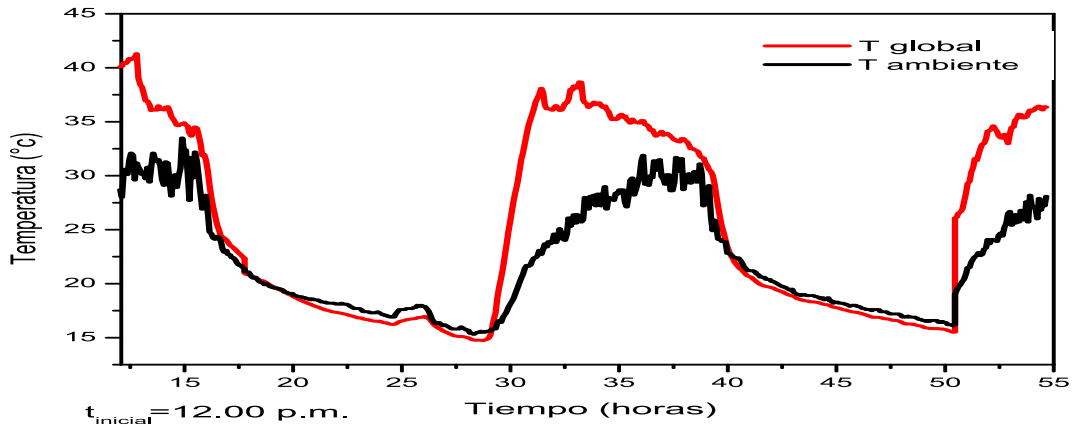


Figura 24-Temperatura en función del tiempo para el secador directo tipo invernadero de escala familiar cargado con plátano verde.

En la figura 25 se observa el comportamiento de la pérdida de agua en función del tiempo, estimando por la pendiente de la parte lineal del decaimiento de masa, que la tasa de secado fue de 174 g/hora para un periodo de 4 horas el primer día de secado y de 176.174 g/horas para el segundo día con un período de 3 horas.

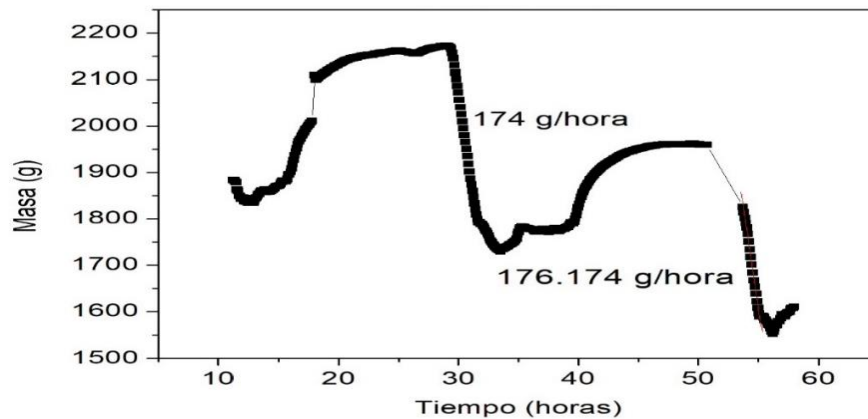


Figura 25-Pérdida de masa (agua eliminada) en función del tiempo para el secado de plátano verde en un secador solar tipo invernadero de escala familiar.



En la figura 26 se puede observar una comparación entre el comportamiento de la temperatura y la eliminación de agua (pérdida de masa). Conforme la temperatura aumenta, la pérdida de masa se hace evidente, indicando la velocidad de secado.

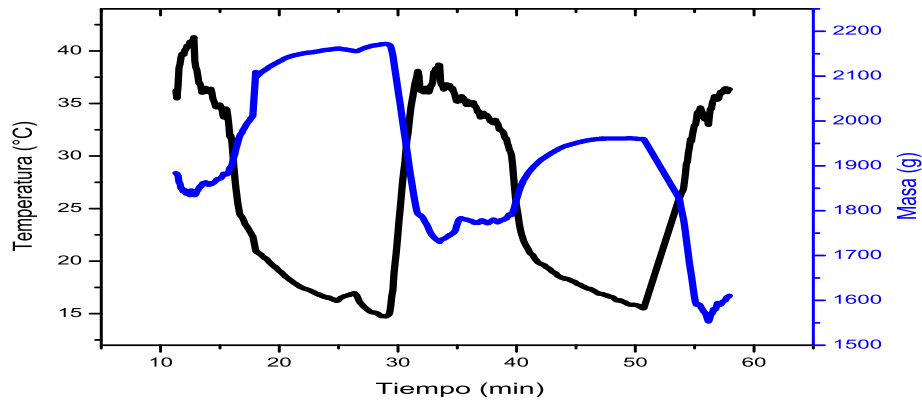


Figura 26-Curvas de Temperatura y Pérdida de masa en función del tiempo en el proceso de secado de plátano verde en un secador solar tipo invernadero de escala familiar.

También se evaluó la humedad en comparación con la temperatura, como se muestra en la figura 27. Se observa que, en los periodos nocturnos, el ambiente se satura de humedad, ya que la humedad máxima dentro del secador alcanza valores de hasta 96%, haciendo que el proceso de secado se ralentice ya que los productos vuelven a ganar agua. Durante el día, cuando la irradiancia y la temperatura aumentan, la humedad en el secador presenta valores promedio de 36.51%.

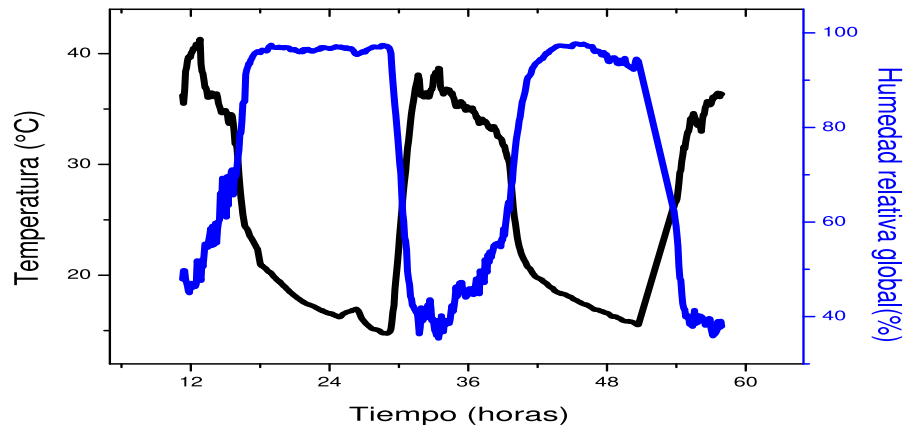


Figura 27-Comparación de la temperatura con la humedad relativa en función del tiempo para el secador directo tipo invernadero de escala familiar.



Por otra parte, en la figura 28 podemos observar el comportamiento del secado para cada uno de los 6 niveles (eje Y) y las 3 columnas (eje X). Se puede ver que hay un comportamiento muy similar sin embargo en la columna 1 y en el nivel 6 es donde se aprecia una mayor eficiencia de secado.

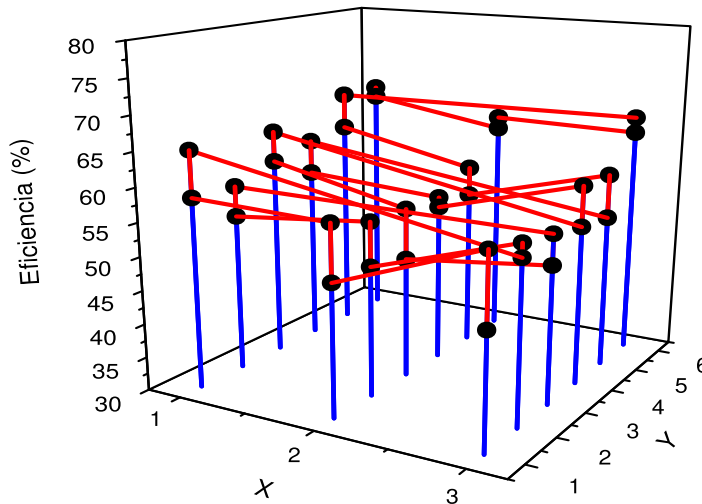


Figura 28-Eficiencia del secador solar directo tipo invernadero de escala familiar para el plátano verde en función del tiempo.

Realizando el análisis por separado de la eficiencia de cada uno de las columnas y niveles figura 29. La columna 1 presenta una eficiencia regular, mientras que en la 2 y en 3 hay un poco más de variación, sin embargo, la columna 6 es la que alcanza una mayor eficiencia con 67.82%. La columna 3 es la que presenta un nivel de eficiencia más bajo con 48%. En la figura 43 el comportamiento de los niveles es parecido y están entre el rango de 45% y 70%. El nivel que tiene un mejor comportamiento es el 6 ya que todas las charolas oscilan entre el 60% y 70% de eficiencia.

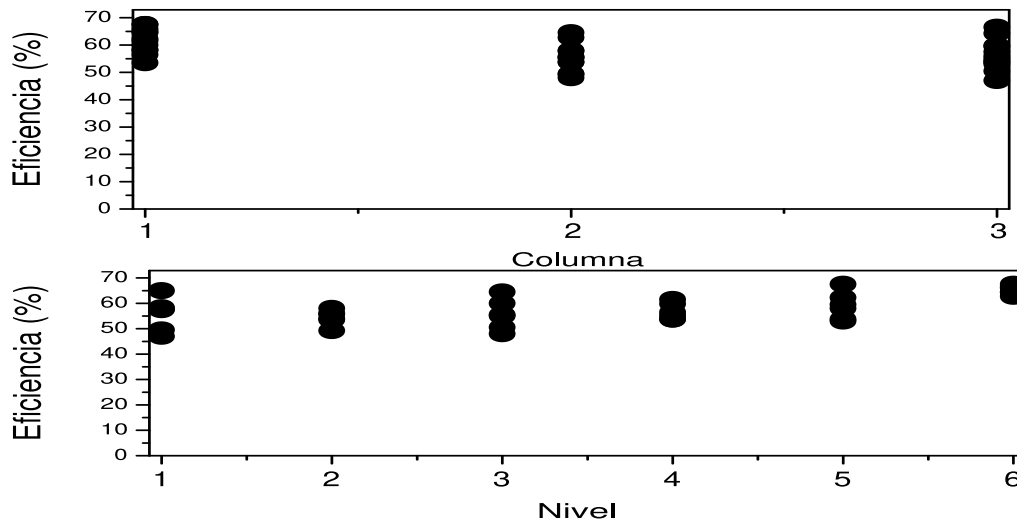


Figura 29-Eficiencia por columna para el secador directo tipo invernadero familiar para plátano verde.

El análisis económico se realizó siguiendo la metodología de (Jain et al., 2023) suponiendo condiciones favorables para el proceso, se recomienda como trabajo futuro realizar proyecciones con diferentes escenarios (favorables y no favorables). Se aplicó la ecuación 17 para el cálculo del periodo de recuperación de la inversión inicial de \$65,238.4 para la adquisición del secador solar tipo invernadero de escala familiar. En la tabla 12 podemos observar 7 parámetros a considerar para el cálculo. El costo del capital del secador es el valor real de la inversión. Los parámetros del 2 al 7 fueron supuestos para una corrida de secado 70 kg plátano verde que los resultados previos muestran un rendimiento de 25 kg de plátano seco, que después del proceso de molienda y tamizado se transforman en harina de plátano como producto final. La fruta humedad se compra a \$3.00 el kg en las empacadoras locales, y la harina de plátano se vende en el mercado local a \$150.00 kg. Suponiendo la mano de obra de dos trabajadores y el funcionamiento del secador durante las 53 semanas del año considerando que todas las semanas se tienen las condiciones climatológicas para el proceso de secado, y 1 corrida de secado por semana. Con los datos de la tabla 10 bajo estos supuestos el periodo de recuperación de la inversión es de 0.49 años (5 meses). Un segundo análisis indica que aumentando la cantidad de corridas de secado a 3 por semana el periodo de recuperación disminuye a 0.41 años (4 meses).



$$\text{Periodo de recuperaci3n} = \frac{\text{inversi3n total}}{\text{beneficio total}} \quad (17)$$

Tabla 10- Periodo de recuperaci3n de la inversi3n inicial prueba 1.

No par3metro	Par3metro	Valor (MXN)
1	Costo del capital del secador (A)	65238.4
2	Costo de reparaci3n y mantenimiento por a3o	1000
3	Costo requerido de materia prima por a3o	22260
4	Costo de mano de obra requerida por a3o	63600
5	Costo total de producci3n por a3o B= (2+3+4)	86860
6	Dinero recuperado de la venta del producto seco (C)	397500
7	Beneficio neto total por a3o (C-B)	310640
8	Periodo de recuperaci3n=inversi3n total /beneficio total	0.49

4.2.1 An3lisis del rendimiento energ3tico del proceso de secado

El c3lculo del rendimiento energ3tico obedece a la relaci3n entre la p3rdida de masa (agua eliminada) y la cantidad de energ3a que se necesita para llevar a cabo el proceso, o la energ3a incidente el 3rea de captaci3n del secador. En la tabla 11 se muestran los par3metros para calcular el rendimiento experimental en el secador solar directo tipo invernadero familiar, para el caso de secado de pl3tano maduro y pl3tano verde, obteniendo un 3ndice de rendimiento de 1.41 kg/kWh para pl3tano madura y 1 kg/kWh para el caso de pl3tano verde. Ambos valores son superiores a los c3lculos te3ricos que se pueden realizar a partir del calor latente de vaporizaci3n del agua, que indica un valor de 2.26 MJ/kg o 0.627 kg/kWh, de energ3a para evaporar un kg de agua, como lo explica a detalle (Messina et al., 2022) es decir la eficiencia del secador, es menor al 50%, raz3n por la cual se deben implementar acciones para la optimizaci3n, como mejores aislamientos, para que durante las noches no exista ganancia de humedad as3 como sistemas el3ctricos de respaldo que permitan aumentar y controlar la temperatura y dar continuidad al el proceso durante las horas de intermitencia solar.



Tabla 11-Parámetros para el cálculo de rendimiento del proceso de secado para plátano maduro y plátano verde, usando un secador solar tipo invernadero familiar.

Cálculo de rendimiento de proceso de secado en el secador directo tipo invernadero de escala comercial					
Producto	Área m²	Insolación kWh/ m²	Energía kwh	Masa (kg)=	Rendimiento (kg/kWh) =
Plátano maduro	6.68	5.22	34.84	49.04	1.41
Plátano verde	6.68	5.22	34.84	34.77	1.00

En el caso del proceso de plátano verde, debido a que el contenido de humedad es menor, se obtuvo un rendimiento de 1.00 kg/kWh.

En el secador doméstico el rendimiento para el proceso de secado del mango fue de 0.29 kg/kWh, mismo que se muestra en la tabla 12, mientras que, para el plátano, el rendimiento fue de 0.24 kg/kWh. El secador operó de manera pasiva, es decir, sin convección forzada. Los valores de rendimiento en secado del plátano y mango se muestran en la tabla 12.

Tabla 12-Rendimiento del secado en el secador de escala doméstica.

Cálculo de rendimiento de proceso de secado en el secador directo de escala domestica					
Producto	Área m²	Insolación kWh/ m²	Energía kwh	Masa (kg)=	Rendimiento (kg/kWh) =
Mango	0.58	4.10	2.38	0.7	0.29
Plátano	0.58	4.71	2.74	0.65	0.24

Los índices de rendimiento indican que los materiales, dimensiones y diseño de este prototipo, lo hacen es un buen secador solar, con rendimientos cercanos a las que establecen los cálculos teóricos ideales para el proceso de secado solar. En la figura 30 se presentan imágenes de los productos finales de plátano y mango después del proceso de secado solar.



Figura 30-Imágenes de a) producto final de plátano y b) producto final de mango

4.2.2 Análisis de propiedades fisicoquímicas de los productos secos

Los resultados de los análisis químico-proximal para el plátano obtenido por ambos métodos de secado se observan a continuación. En las tablas 13 y 14 se muestran los resultados del % de humedad, cenizas, grasa, proteína y fibra.

Tabla 13-Análisis químico proximal para el plátano secado en secador solar.

Característica	(% de materia seca)		(% de humedad)		(% Cenizas)		(% Grasa)		(% Proteína)		(% Fibra)	
	σ	E	σ	E	σ	E	σ	E	σ	E	σ	E
	15.82		84.18		1.66		0.57		1.95		38.407	
Plátano solar	0.49	0.57	0.50	0.57	0.04	0.05	0.07	0.08	0.09	0.10	0.13	0.16

* σ es la variación estándar de la muestra y E es el error en la muestra.

Por cuestiones de practicidad en esta investigación se hará referencia a plátano solar definido como: el producto que se obtuvo del secado solar en secador doméstico. Mientras que cuando se haga referencia a plátano gas se define como: al que fue deshidratado utilizando como fuente de energía el gas Lp (licuado de petróleo).



Tabla 14-Análisis químico proximal para el plátano deshidratado en horno de gas.

Característica	(% de materia seca)		(% de humedad)		(% Cenizas)		(% Grasa)		(% Proteína)		(% Fibra)	
	σ	E	σ	E	σ	E	σ	E	σ	E	σ	E
	22.31		77.69		2.09		0.64		1.75		39.60	
Plátano gas	0.95	1.07	0.95	1.07	0.04	0.04	0.07	0.08	0.03	0.04	0.32	0.36

* σ es la variación estándar de la muestra y E es el error en la muestra.

Como se observa en las tablas 13 y 14 realizando la comparación entre ambos análisis, el % de humedad para el plátano solar fue mayor al igual que la proteína y la fibra. Por su parte las cenizas y la grasa fueron mayores para el plátano gas. Los resultados para el mango obtenidos por ambos métodos se presentan a continuación en las tablas 15 y 16. La humedad en el mango fue mayor en el mango gas al igual que la proteína, la grasa y las cenizas, solo la fibra fue mayor en el mango solar.

Tabla 15- Análisis químico proximal para el mango obtenido en secador solar.

Característica	(% de materia seca)		(% de humedad)		(% Cenizas)		(% Grasa)		(% Proteína)		(% Fibra)	
	σ	E	σ	E	σ	E	σ	E	σ	E	σ	E
	19.91		80.09		1.55		1.90		2.05		40.263	
Mango solar	0.45	0.51	0.45	0.51	0.04	0.05	0.63	0.71	0.05	0.05	0.44	0.50

* σ es la variación estándar de la muestra y E es el error en la muestra.



Tabla 16-Análisis químico proximal para el mango deshidratado en gas

Característica	(% de materia seca)		(% de humedad)		(% Cenizas)		(% Grasa)		(% Proteína)		(% Fibra)	
	σ	E	σ	E	σ	E	σ	E	σ	E	σ	E
	19.83		80.17		2.42		1.99		2.66		40.94	
Mango gas	0.79	0.90	0.79	0.90	0.33	0.37	0.56	0.64	0.17	0.19	0.14	0.16

* σ es la variación estándar de la muestra y E es el error en la muestra.

En ambos análisis, tanto en plátano como mango hay una variabilidad en los resultados y complicado definir las diferencias, dependiendo la fruta y el método se pueden tener diferencias entre ambas. En la figura 31 se muestran imágenes de: a) plátano maduro secado al sol y de las determinaciones de los análisis químico-proximales.

a)



b)



c)



d)



Figura 31-Imágenes de a) plátano verde en rodajas, plátano maduro en rodajas, plátano maduro en tiras, b) determinación de cenizas, c) determinación de grasa, d) determinación de fibra.



4.3 Análisis Energético del proceso de Cocción

Para el análisis se estableció un periodo de tiempo de cocción de aproximadamente 4 horas para los diversos alimentos. Se cocinaron alimentos de los diferentes grupos alimenticios, cereales (arroz), leguminosas (frijol), proteínas (carne de cerdo) y verduras (zanahoria, chícharo, elote), además de un postre (pay de queso). Se eligió el mes de julio para realizar las pruebas de cocción dado que las condiciones climatológicas no son favorables y con esto se quería demostrar que a pesar de ello las cocinas solares funcionan.

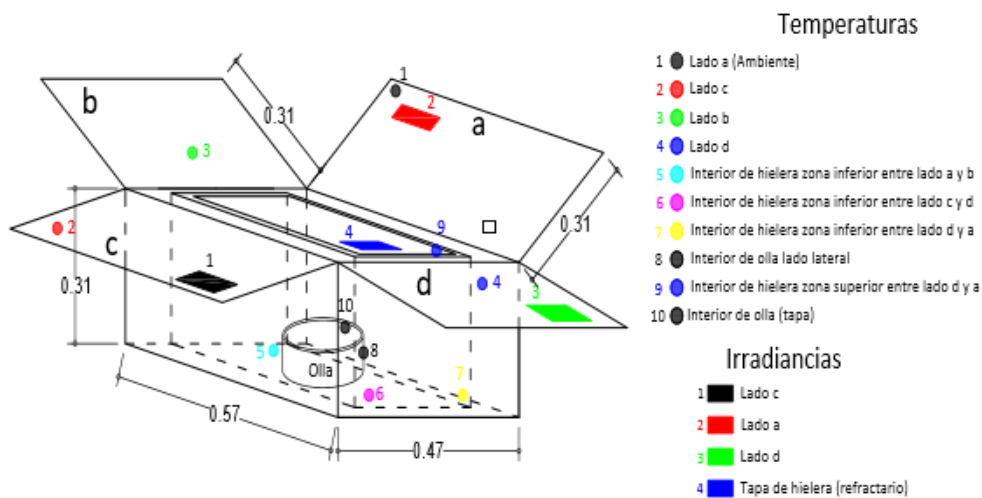


Figura 32-Distribución de sensores de temperatura e irradiancia para la estufa de caja tipo horno.

Durante la evaluación de desempeño de los tres modelos de estufas, se registró la temperatura ambiente, la temperatura en la cavidad del horno o del interior del panel reflector dependiendo del tipo de estufa (se colocaron 8 sensores y se realizó un promedio para tener la T global) y la temperatura en la olla de cocción. Para el caso de la irradiancia se promedió el total de la irradiancia registrada por los sensores, para obtener la irradiancia global.



El periodo de cocción iniciaba a las 9:00 am y terminaba las 2:00 pm aproximadamente. La distribución de los sensores en cada una de las estufas se realizó interna y externamente, como se observa en las figuras 32-34.

En la figura 32 se observa la distribución de los sensores de temperatura e irradiancia en la estufa de caja tipo horno. El sensor 1 de temperatura representa la T ambiente. el sensor 5, 6, 7, 8 y 9 se promediaron para obtener la T de la cavidad del horno y el sensor 10 representa la T de la olla. Las irradiancias se promediaron la tener la irradiancia global.

En la figura 33 se observa la distribución de los sensores de temperatura e irradiancia para la estufa parabólica. El sensor 1 representa la T ambiente, los sensores 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 se promediaron para obtener la T del plano reflector y los sensores 9 y 10 se promediaron para tener la temperatura dentro de la olla.

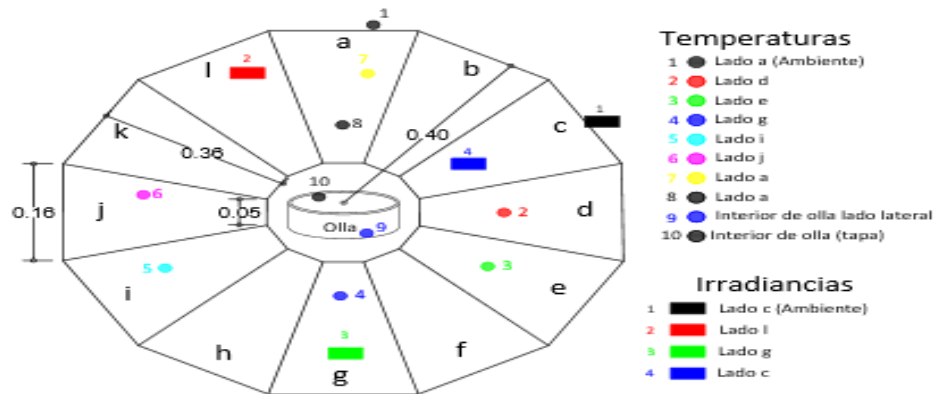


Figura 33-Distribución de los sensores de temperatura e irradiancia en la estufa parabólica.

La distribución de los sensores para la estufa de panel tipo embudo “Pucca” se muestra en la figura 34 siguiendo el mismo procedimiento para la distribución de sensores.

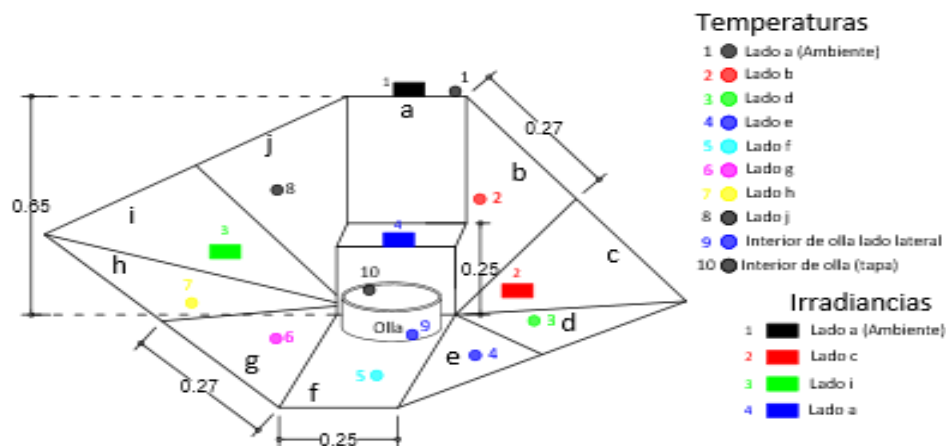


Figura 34-Distribución de los sensores de temperatura e irradiancia de la estufa de panel tipo embudo “Pucca”

En las figuras 35 a 43 se muestran los resultados del análisis energético de la cocción de arroz, frijol con carne de cerdo, y pay de queso utilizando las tres diferentes estufas. El siguiente código de colores se estableció para representar todas las gráficas: la línea negra representa T ambiente; la roja T en la cavidad del horno o en el panel reflector; la verde, la T que se alcanzó en la olla y la línea azul representa la irradiancia global. Las pruebas se llevaron a cabo los días 19, 20 y 21 de junio de 2022, para la cocción arroz, frijol con carne de cerdo y pay de queso, respectivamente.

4.3.1 Pruebas de cocción en estufa de caja tipo horno

En la figura 35 se muestran los resultados de la prueba realizada el día 19 de julio de 2022 para la cocción de arroz en una estufa solar de caja tipo horno. Las gráficas muestran la relación del incremento de temperatura en función del tiempo y la irradiancia. Los resultados de la figura 35 demuestran que, para la estufa de caja tipo horno la parte superior de la cavidad alcanza una mayor temperatura (86°C), mientras que dentro de la olla la temperatura fue de 80°C, es decir, hay una diferencia de 6 °C entre la cavidad del horno y la temperatura de cocción en el interior de la olla. La temperatura promedio en la cavidad se mantuvo en 80°C durante 1h, por de lo nublado del día, como se observa en la gráfica de irradiancia. Este diseño no alcanzó a realizar



la cocción con esas condiciones climáticas. La irradiancia promedio para este día en la superficie de la cavidad fue de 790 W/m^2 .

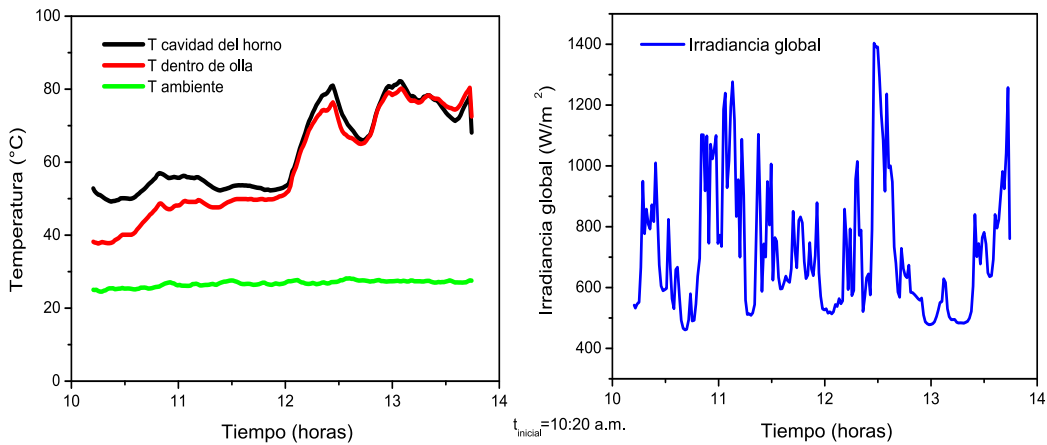


Figura 35-Temperatura e irradiancia en función del tiempo para cocción de arroz en estufa de caja tipo horno

En la figura 36 se muestran las condiciones para la cocción de frijol con carne de cerdo en la estufa tipo horno, para la prueba realizada en día 20 de julio de 2022. Como se observa, se alcanzó una temperatura máxima de 81°C dentro de la cavidad del horno y 84°C dentro de la olla, es decir hubo una diferencia de 3°C entre la temperatura de la cavidad y la temperatura de cocción. Se observa nuevamente, lo nublado del día por la variación de la irradiancia, la cual se mantuvo en un promedio de 716 W/m^2 durante esta prueba de cocción. Nuevamente se observa que el diseño de estufa tipo horno para las condiciones climatológicas con cielo nublado, no alcanzan las temperaturas suficientes para poder llevar a cabo el proceso de cocción y resultaron en una cocción incompleta de los alimentos.

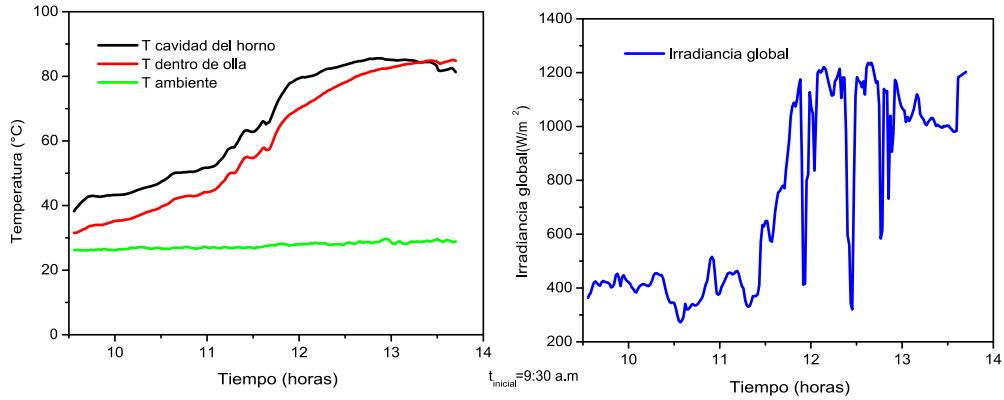


Figura 36-Temperatura e irradiancia en función del tiempo para cocción de frijol-cerdo en estufa de caja tipo horno

En la figura 37, se muestran los resultados de la prueba de cocción del pay de queso en la estufa tipo horno, realizada en día 21 de julio de 2022. La temperatura máxima alcanzada dentro de la cavidad fue de 80°C y de 74 °C dentro de la olla, es decir, una diferencia de temperaturas de 6°C entre la cavidad y la temperatura de cocción. La irradiancia promedio durante el proceso de prueba fue de 921 W/m². En las tres pruebas realizadas en el prototipo de estufa tipo horno, el alimento no se cocinó en su totalidad, esto indica que este diseño a pesar de tener condiciones climatológicas favorables no es funcional para realizar al proceso.

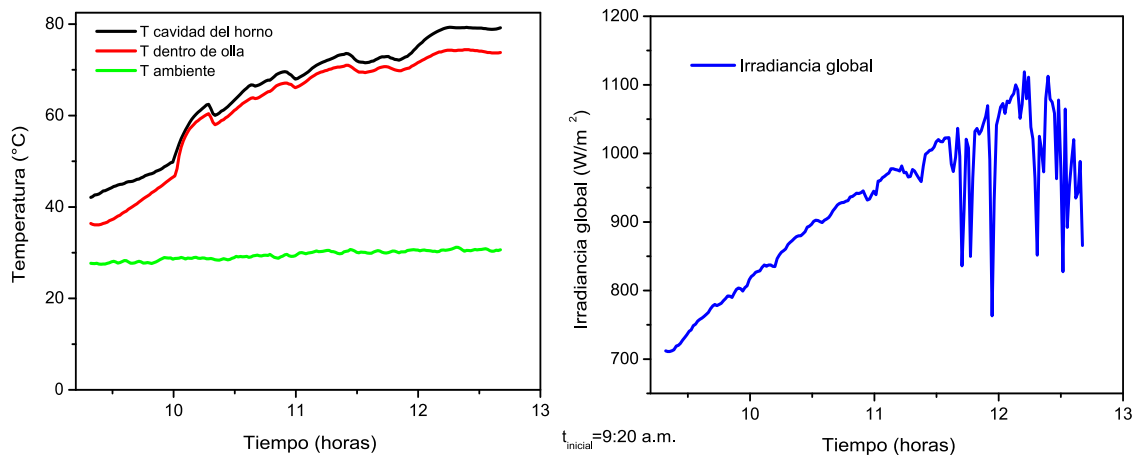


Figura 37- Temperatura e irradiancia en función del tiempo para la cocción de pay de queso en estufa de caja tipo horno



El cálculo de la eficiencia se realizó aplicando la ecuación (16), presentada en el capítulo 3, esta información permite conocer el desempeño de las tres estufas, bajo las condiciones climatológicas de la prueba realizada, para los distintos alimentos que se prepararon. La tabla 17 presenta la eficiencia de la estufa de caja tipo horno, para cada proceso de cocción en donde se obtuvieron 2.2% para el arroz, 5.1% para el frijol con carne de cerdo y 1.5% para el pay de queso. La estufa en promedio tuvo una eficiencia del 2.9%.

Tabla 17-Eficiencia para la estufa de caja tipo horno

Característica	m_o Masa del fluido térmico (Kg)	Cf Calor específico del fluido térmico (c_p)	T1 (Temperatura inicial)	T2 (Temperatura)	t Diferencia de temperatura (T2-T1) (K)	Ac Área de captación (m^2)	Si Irradiancia global (W/m^2)	Eficiencia (%)
Arroz	0.5	4180	30.2	80	49.8	0.338	790.00	2.2
Frijol + carne	1	4180	30.59	84	53.41	0.338	716.00	5.1
Pay	0.5	4180	32.54	74	41.46	0.338	921.00	1.5

En la figura 38 se presentan imágenes de los alimentos después del proceso de cocción solar en la estufa de caja tipo horno.

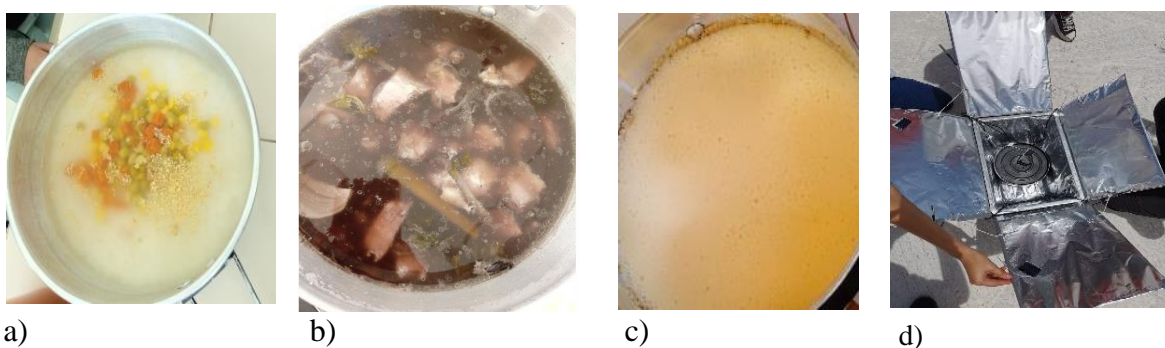


Figura 38- Alimentos después de proceso de cocción a) arroz, b) frijol con carne de cerdo, c) pay, d) estufa de caja



4.3.2 Pruebas de cocción en estufa parabólica

En la figura 39, se muestran los resultados de la prueba de cocción de arroz en la estufa parabólica. La prueba fue realizada en día 19 de julio de 2022. La temperatura máxima alcanzada en el interior de la olla de cocción fue de 101°C , es decir, hay un aumento de 21°C con respecto a la estufa tipo horno, para el mismo día de prueba. Este resultado indica que la concentración que se logra por el diseño parabólico es favorable para la cocción de alimentos, puesto que la temperatura alcanzada fue suficiente para la cocción y el arroz se cocinó por completo en el periodo de prueba de 4 horas. La gráfica de irradiancia es un promedio de los valores recibidos en los distintos puntos de la superficie del reflector parabólico.

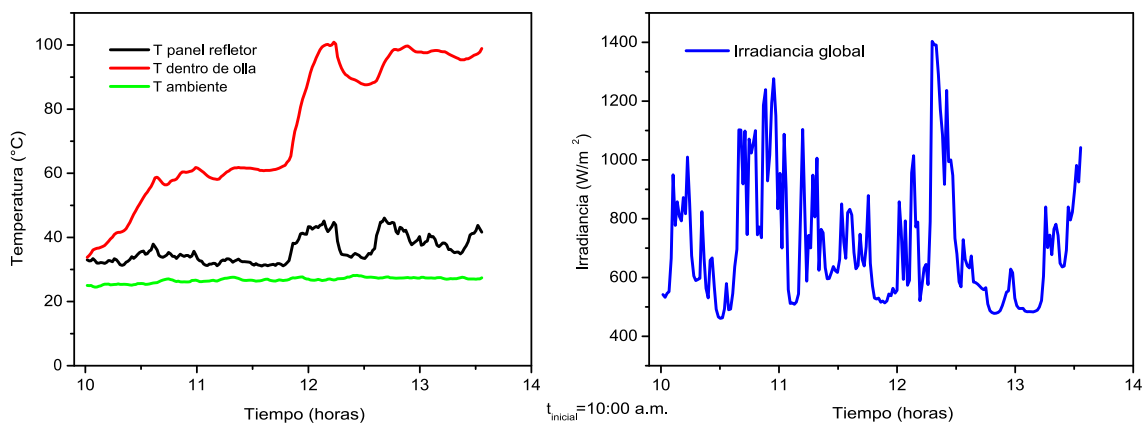


Figura 39-Temperatura e irradiancia en función del tiempo para la cocción de arroz en la estufa parabólica.

En la figura 40 se muestran las condiciones para la cocción de frijol con carne de cerdo, para la prueba realizada el 20 de julio de 2022. La temperatura máxima alcanzada dentro de la olla fue de 108°C y la mínima de 38.6°C . Es decir, hay un aumento de 24°C con respecto a la estufa tipo horno. Este resultado indica que la temperatura lograda para este diseño parabólico en conjunto con las condiciones climatológicas es favorable para la cocción de alimentos. El frijol con carne de cerdo se cocinó por completo en el periodo de las 4 horas establecidas de prueba.



En la figura 41, se muestran los resultados de la prueba de cocción de pay de queso para la estufa parabólica, la prueba fue realizada el día 21 de julio de 2022. En esta prueba se alcanzaron 99°C dentro de la olla como temperatura máxima y 53.3°C como temperatura mínima. Existe un aumento de 25°C en la temperatura máxima alcanzada en este prototipo, con respecto a la estufa de caja. La irradiancia promedio durante intervalo de tiempo de la prueba fue de 921 W/m^2 . Por lo tanto, el resultado indica que el diseño de la estufa parabólica bajo las condiciones climatológicas de este día es favorable para llevar a cabo procesos de cocción, la cocción del pay de queso se realizó completamente en el tiempo del establecido.

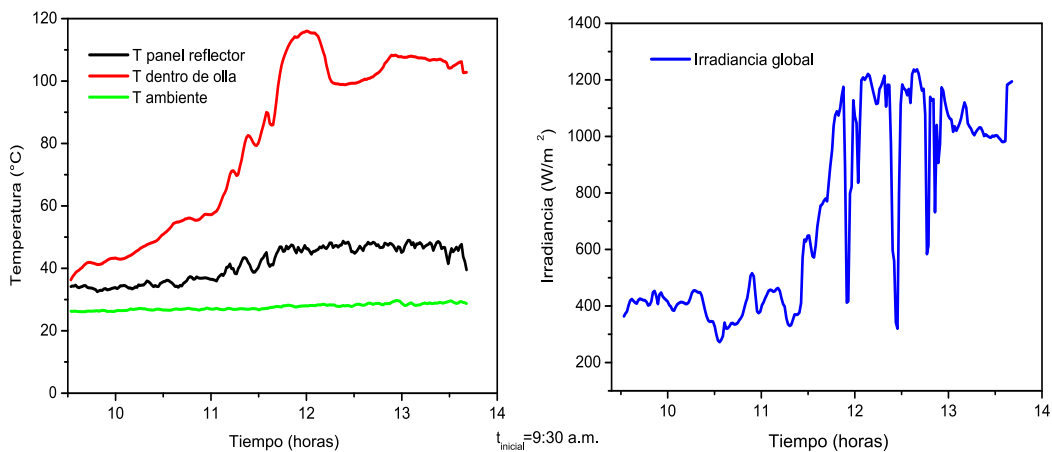


Figura 40- Temperatura e irradiancia en función del tiempo para cocción de frijol-cerdo en la estufa parabólica.

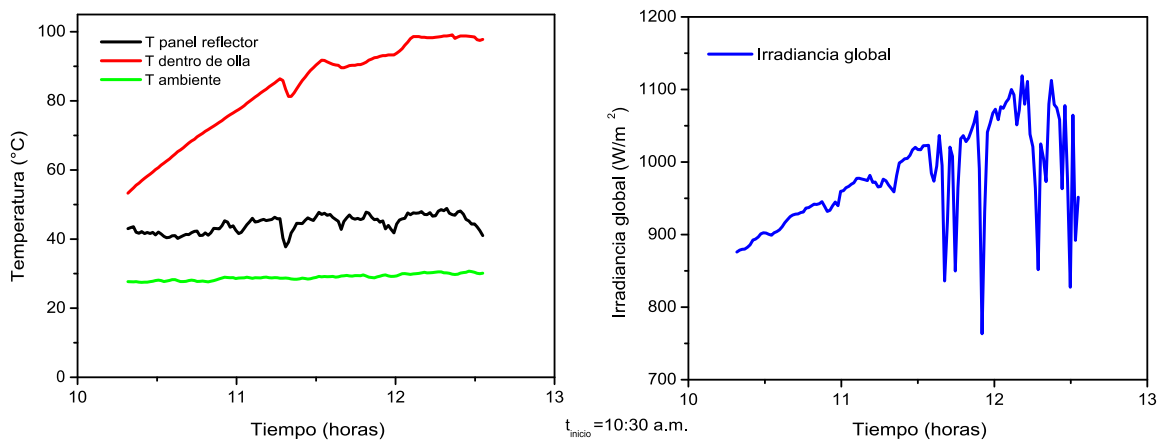


Figura 41- Temperatura e irradiancia en función del tiempo para la cocción de pay en la estufa parabólica



En el caso de la estufa parabólica las eficiencias alcanzadas se muestran en la tabla 18, que se obtuvieron fueron 2.5% para el arroz, 5.2% para el frijol con carne de cerdo y 2.0% para el pay. La estufa parabólica en promedio presentó una eficiencia del 3.2%.

Tabla 18-Eficiencia para la estufa parabólica

Característica	m_o Masa del fluido térmico (Kg)	Cf Calor específico del fluido térmico ($J/kg \cdot ^\circ K$)	T1 (Temperatura inicial)	T2 (Temperatura máxima)	t Diferencia de temperatura (T2-T1) (K)	Ac Área de captación (m^2)	Si Irradiancia global (W/m^2)	Eficiencia (%)
Arroz	0.5	4180	30.2	101	70.8	0.61	790.00	2.5
Frijol+carne	1	4180	30.59	108	77.41	0.61	716.00	5.2
Pay	0.5	4180	32.54	99	66.46	0.61	921.00	2.0

En la figura 42 se presentan imágenes de los alimentos obtenidos después del proceso de cocción solar para la estufa parabólica.

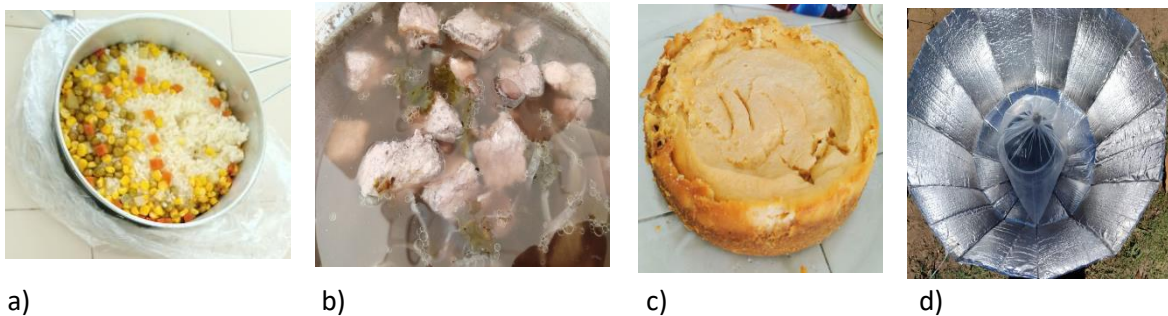


Figura 42- Alimentos después de proceso de cocción a) arroz, b) frijol con carne de cerdo, c) pay y d) estufa parabólica.

4.3.3 Pruebas de cocción en estufa panel tipo embudo “Pucca”

Los resultados para la estufa de panel reflector tipo embudo “Pucca” se presentan en las figuras 43, 44 y 45 para el arroz, frijol con cerdo y el pay de queso, respectivamente. En la figura 43 se muestran las condiciones para la cocción de arroz, realizada el 19 de julio de 2022. La



temperatura máxima alcanzada dentro de la olla fue 105°C y la mínima de 51°C . Este resultado nos indica que la estufa de panel tipo embudo “Pucca” está por arriba en temperatura de los dos prototipos anteriores en 25°C y 4°C con respecto a la estufa de caja tipo horno y a la de panel reflector tipo parabólica, respectivamente. Por lo tanto, el desempeño de este diseño de estufa bajo las condiciones climatológicas de la prueba realizada fue mejor, y esto se ve reflejado en la mayor temperatura alcanzada, y, por lo tanto, la cocción completa del alimento en un tiempo menor al establecido.

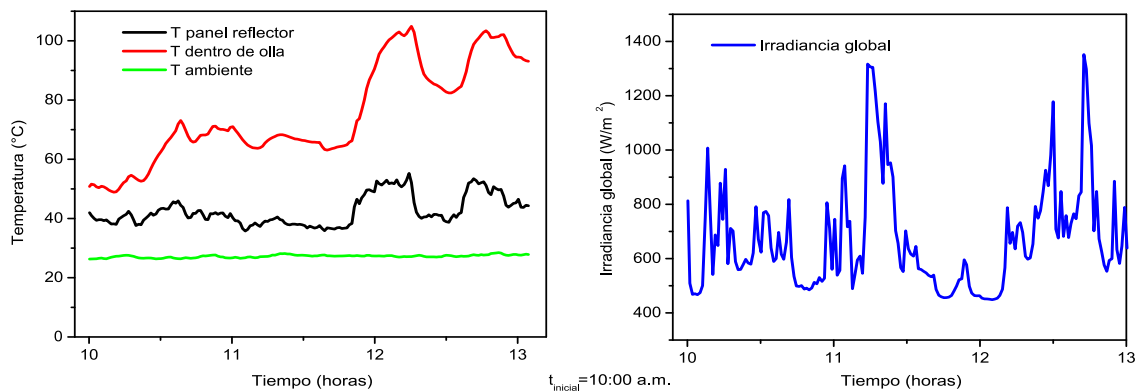


Figura 43- Temperatura e irradiación en función del tiempo para la cocción de arroz en la estufa de panel tipo embudo “Pucca”

En la figura 44 se muestran los resultados de la cocción de frijol con carne de cerdo, para la prueba realizada el 20 de julio de 2022 en la estufa de panel tipo embudo “Pucca”. La temperatura máxima alcanzada dentro de la olla fue de 104°C y la mínima de 53°C . Es decir, hay un aumento de 20°C con respecto a la estufa tipo horno y 4°C menos que en la estufa parabólica. Este resultado indica que los diseños de estufas tipo panel, ya sea parabólico o tipo embudo es favorable para la cocción de alimentos. El frijol con carne de cerdo se cocinó por completo en el periodo de las 4 horas establecidas de la prueba.

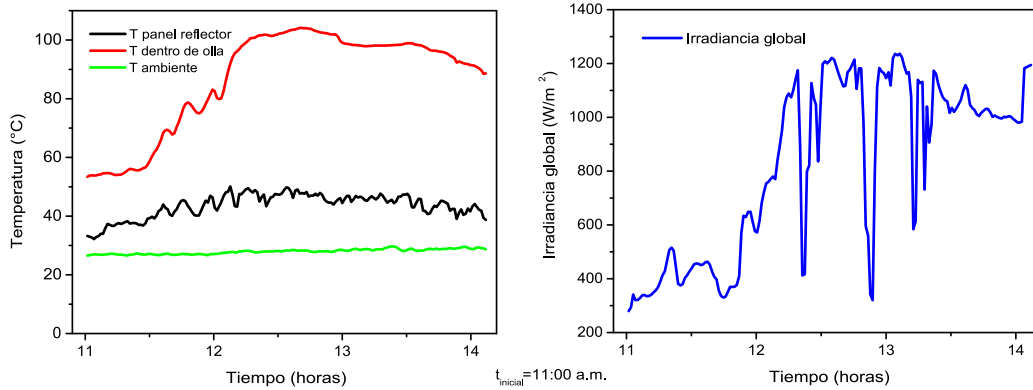


Figura 44- Temperatura e irradiancia en función del tiempo para la cocción de frijol-cerdo en la estufa de panel tipo embudo “Pucca”.

Por último, en la figura 45, se muestran los resultados de la prueba de cocción de pay de queso para la estufa de panel tipo embudo “Pucca”, realizada el día 21 de julio de 2022. Para esta prueba se alcanzaron 116°C como temperatura máxima dentro de la olla. Lo cual nos indica que hay un aumento de 42°C con respecto a la estufa de caja y 17°C con respecto a la estufa parabólica para el mismo día de cocción bajo las mismas condiciones climatológica. La irradiancia promedio fue de 921 W/ m^2 . Por lo tanto, el resultado indica que el diseño de la estufa de panel tipo embudo “Pucca” bajo las condiciones climatológicas de este día es el más favorable para llevar a cabo procesos de cocción, puesto que el proceso se llevó a cabo a mayor temperatura con respecto a los diseños anteriores, en estufa tipo caja o con reflector parabólico y el pay de queso se cocinó en un tiempo de 2.5 horas.

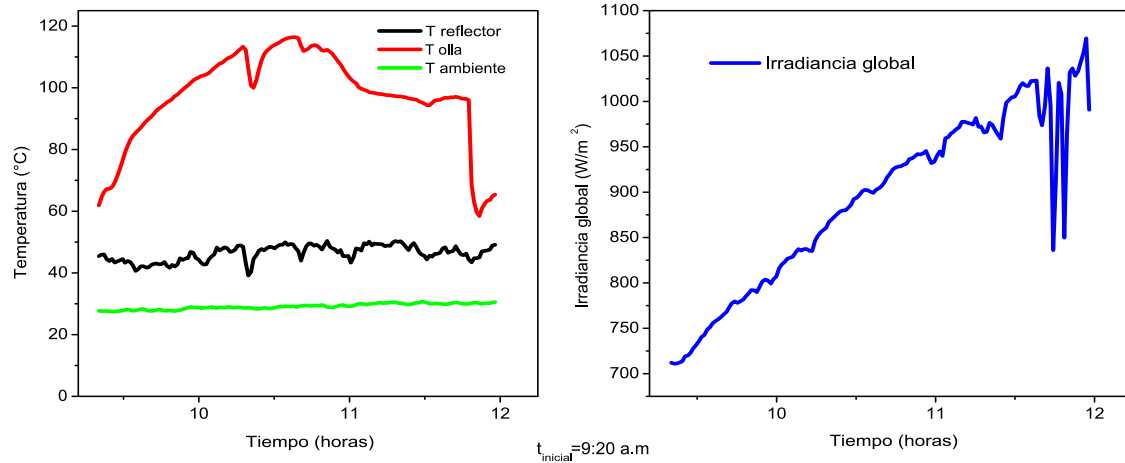


Figura 45- Temperatura e irradiancia en función del tiempo para la cocción de pay de queso en la estufa de panel tipo embudo “Pucca”

En la tabla 19 se presenta los resultados para la eficiencia de la estufa de panel tipo embudo “Pucca”. Para el arroz 3.3%, 9.4 % para el frijol con carne de cerdo, 5.0 % el pay. La eficiencia en promedio de la estufa fue de 5.9%.

Tabla 19-Eficiencia para la estufa de panel tipo embudo “Pucca”

Característica	mo Masa del fluido térmico) (Kg)	Cf Calor específico del fluido térmico (J/kgk)	T1 (Temperatura inicial)	T2 (Temperatura máxima)	t Diferencia de temperatura (T2-T1) (K)	Ac Área de captación (m²)	Si Irradiancia global (W/m²)	Eficiencia (%)
Arroz	0.5	4180	30.2	105	74.8	0.420	790.00	3.3
Frijol+carne	1	4180	30.59	104	73.41	0.420	716.00	9.4
Pay	0.5	4180	32.54	116	83.46	0.420	921.00	5.0

Por lo tanto, de acuerdo con los resultados anteriores la estufa que presento una mejor eficiencia fue la estufa de panel tipo embudo “Pucca” con 5.9 %.



En la figura 46 se presentan imágenes de los alimentos obtenidos después del proceso de cocción en la estufa de panel tipo embudo “Pucca”.



a) b) c) d)

Figura 46- Alimentos después de proceso de cocción a) arroz, b) frijol con carne de cerdo, c) pay y d) estufa de panel tipo embudo “Pucca”

A manera de análisis de comparación en la tabla 20 se resumen los resultados para cada una de las estufas, donde se observa la diferencia de temperatura máxima, irradiancia y la eficiencia del proceso, es decir la eficiencia de cada estufa para el mismo alimento durante el mismo día, así como la eficiencia de la estufa después de los 3 procesos.

Tabla 20-Análisis comparativo del proceso de cocción

Prueba	1			2			3		
Fecha	19/06/2022			20/06/2022			21/06/2022		
Tipo de estufa	Caja tipo horno	Parabólica	Pucca	Caja tipo horno	Parabólica	Pucca	Caja tipo horno	Parabólica	Pucca
Alimento	Arroz	Arroz	Arroz	Frijol + cerdo	Frijol + cerdo	Frijol+ cerdo	Pay	Pay	Pay
Tmax (°C)	80	101	105	84	108	104	74	99	116
Tamb(°C)	27.2	27.2	27.2	27.59	27.59	27.59	29.54	29.54	29.54



G global (W/m²)	790	790	790	716	716	716	921	921	921
η proceso	2.2	2.5	3.3	5.1	5.2	9.4	1.5	2	5
η estufa	Caja tipo horno			Parabólica			Pucca		
	2.9			3.2			5.9		

4.4 Pruebas de propiedades sensoriales de los alimentos.

El análisis sensorial de los productos obtenidos en secado y cocción solar se realizó aplicando un cuestionario a un panel de 20 personas no entrenadas, a las cuales se les preguntaba si les gustaban o no los siguientes atributos: consistencia, acidez, sabor, olor, color y aspecto general del producto. Los resultados se muestran en las siguientes figuras.

4.4.1 Pruebas sensoriales de productos secos.

En la figura 47 se muestran las pruebas sensoriales realizadas por un panel no entrenado para evaluar el producto mango, deshidratado en horno de gas y en secador solar. En general, los seis atributos evaluados: consistencia, acidez, color, olor y aspecto general les gustó más para los productos secados al sol, que para el mango secado en horno de gas.

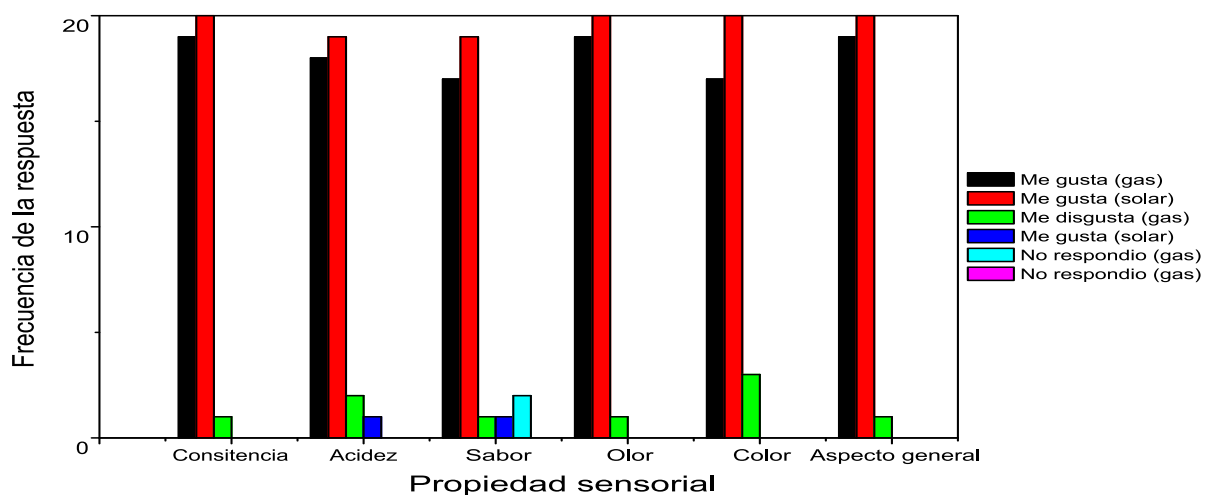


Figura 47-Análisis sensorial comparativo entre para el mango deshidratado con gas y con energía solar.



Para el caso del plátano deshidratado con energía solar en la figura 48 se muestran las respuestas del grupo panelista a la propiedad sensorial de sabor, el cual gusto más el producto solar, mientras que el color gusto más en el producto obtenido en gas. En las propiedades sensoriales de consistencia, acidez, olor y aspecto general se presentó un empate entre ambas muestras. Por lo que para el plátano no se tiene una tendencia hacia alguna de las dos técnicas de secado.

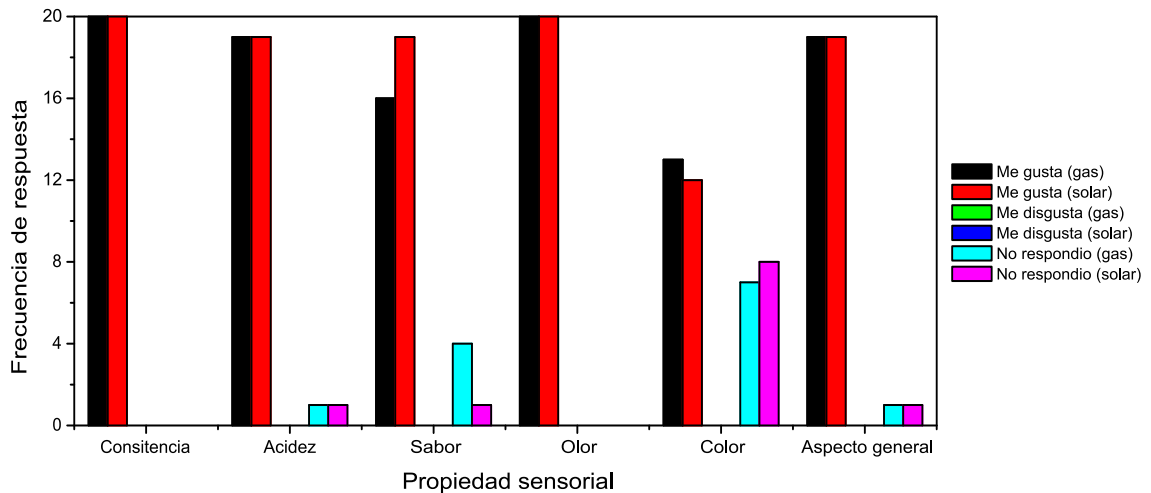


Figura 48-Análisis sensorial comparativo entre el plátano deshidratado con energía solar y con gas convencional

En termino generales los resultados indican que no hay una tendencia hacia alguna de las propiedades sensoriales de las muestras ya sea en gas o secado con sol. Por lo que además se realizó un formulario de aceptabilidad y de diferenciación entre ambas muestras y los resultados fueron los siguientes. La gráfica 49 muestra los resultados de la comparación entre las muestras de mango y plátano. Tanto para mango como plátano la mayoría de los panelistas encontró una diferencia modera entre cada una de las muestras.

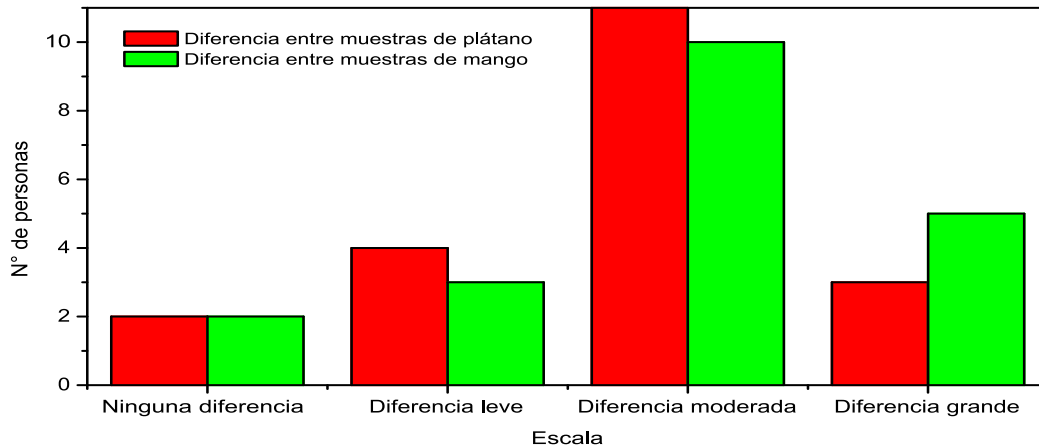


Figura 49-Análisis de comparación entre muestras de mango y plátano

En la figura 50 se muestran los resultados de la aceptabilidad de los productos deshidratados con gas y con energía solar. En las muestras de plátano la aceptabilidad se inclinó hacia los productos obtenidos en el secador solar, mientras que en las muestras de mango se presenta mayor aceptabilidad en las muestras obtenidas en secador de gas.

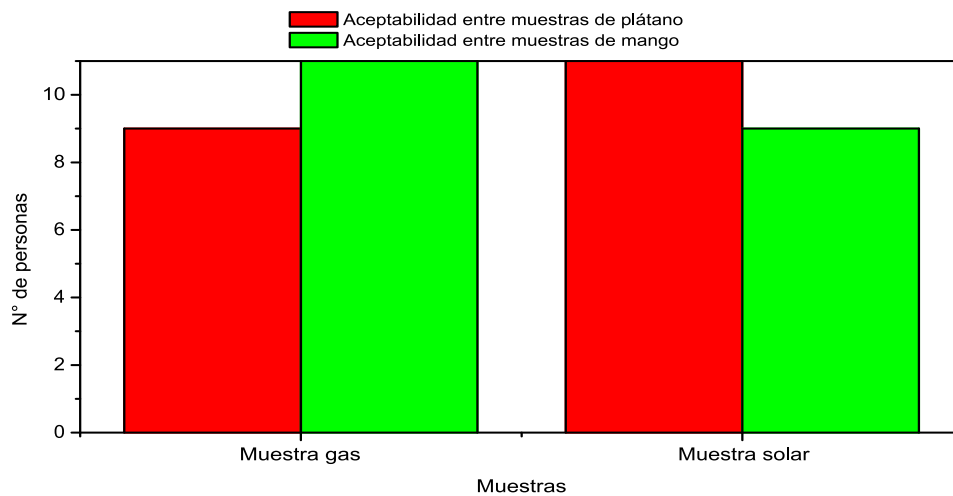


Figura 50-Análisis de aceptabilidad entre las muestras de mango y plátano.



4.4.2 Pruebas sensoriales de productos de cocción solar

Los resultados para el análisis sensorial de los alimentos cocinados al sol fueron los siguientes y están presentados en la figura 51. Los resultados para el arroz en todas las propiedades sensoriales tienden a la escala de me gusta. Mismo resultado que para el frijol, la carne y el pay. Para los 4 alimentos, en las propiedades de olor, consistencia y aspecto general la escala tiende a me gusta. Por lo tanto, los resultados indican que la comida solar es aceptada y es del gusto de los consumidores.

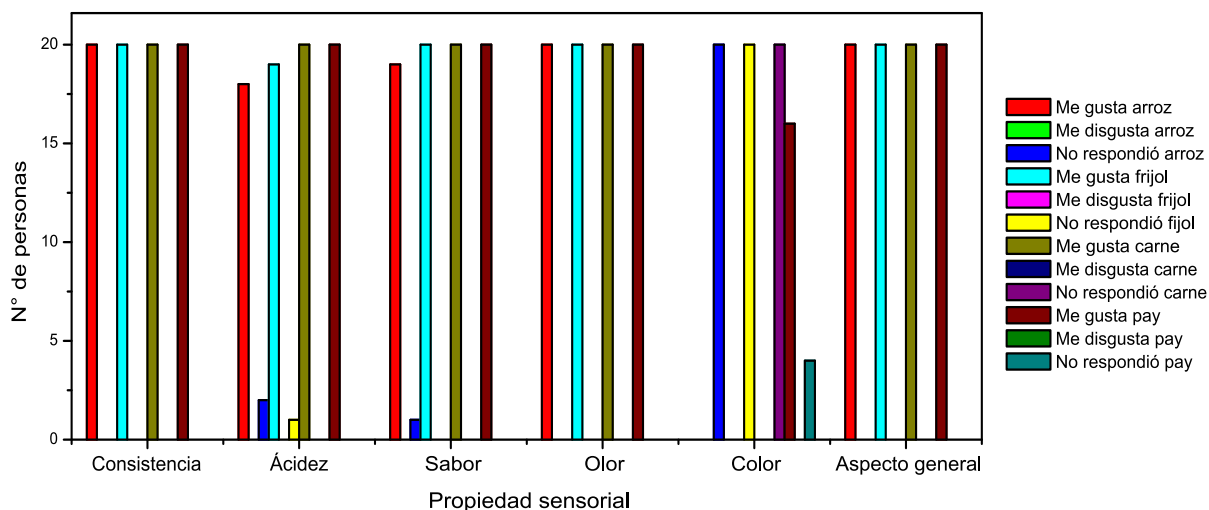


Figura 51-Análisis sensorial de los alimentos cocinados en estufa solar

En la figura 52 se muestra una imagen de los alimentos antes de ser sometidos al proceso de cocción.



Figura 52-Imágenes de Pay, frijol, arroz, carne de cerdo antes del proceso de cocción



CONCLUSIONES

El prototipo de secador directo de tipo invernadero de escala comercial alcanzó un rendimiento de 1.41 kg/kWh para la corrida de secado utilizando convección natural con plátano maduro donde se colocaron 74.266 kg de fruta madura y se obtuvieron 25.299 kg de fruta seca, lo que indica que la fruta terminó con el 30.07% de humedad. Mientras que para la corrida de plátano verde fue de 1.00 kg/kWh aplicando convección forzada con 4 ventiladores y utilizando 60 kg de fruta madura y obteniendo 25.235 kg de fruta deshidratada. Por lo tanto, el producto final tiene 42.06% de humedad.

El prototipo de secador de escala doméstica alcanzó rendimientos de 0.29 kg/kWh y 0.24 kg/kWh para el mango y el plátano maduro, respectivamente, ambos en convección natural. Para la prueba realizada con mango el resultado indica que de 1 kg de fruta madura y se obtuvieron 300g de fruta seca, es decir, queda un 30% del porcentaje en peso, mientras que para el plátano por 1 kg de fruta madura se obtienen 350 gramos de fruta seca finalizando el proceso de prueba, es decir, quedó un 35% en peso.

De acuerdo con los análisis fisicoquímicos y químico proximales que se realizaron a las frutas se concluye que no hay una diferencia significativa entre un método de secado y el otro. Por lo que no hay una tendencia que indique que la fruta se puede beneficiar más por un método o por otro. Sumado a ello, los análisis sensoriales indican también que en diferencia y aceptabilidad dependiendo el comensal y del gusto de éste, el método de secado no influye en la elección del producto a consumir. De ahí que se puede promover el uso masivo de secadores solares con el beneficio de ahorros en el uso de combustible, disminución de huella hídrica como beneficios ambientales y salud pública, sin sacrificar atributos de calidad y aceptabilidad de los productos.

Para el caso de la cocción solar la estufa que presentó una mejor eficiencia fue la estufa de panel tipo embudo “Pucca” con el 5.9%, las estufas parabólicas y las de caja tipo horno presentaron eficiencias de 3.2% y 2.9% respectivamente. Además, la facilidad de uso y sencillez en la construcción y el diseño de esta estufa. De ahí la importancia de promover el uso masivo



de este tipo de diseños en comunidades urbanas y rurales y lograr resultados exitosos en los procesos de cocción, incluso en días nublados, como los presentados en esta tesis. Dos de las tres estufas cocinaron completamente los alimentos, a pesar de lo desfavorable de las condiciones para la cocción, pues se seleccionaron días parcialmente nublados para las pruebas realizadas en este trabajo de tesis. La estufa de caja tipo horno bajo condiciones climatológicas con cielos nublados no es eficiente para llevar proceso de cocción por lo que los diseños de concentradores parabólicos o de panel podrían ser una alternativa para llevar a cabo proceso de cocción en días de este tipo.

De manera personal este estudio me ayudó a crecer profesionalmente, como persona y mejorar mi entorno social. Este trabajo impacto en las comunidades y ha logrado a través de los meses de intervención en el marco del proyecto 319456 del CONAHCYT que las personas se apropiaron de la tecnología de secado y cocción. Por lo anterior expreso que es importante este tipo de proyectos para los ingenieros químicos salir del aula y aplicar lo aprendido. Porque el ingeniero químico no debe de estar aislado de los problemas de la sociedad.

Recomendaciones para trabajo futuro

- Este trabajo queda abierto a futuras investigaciones ya que se tienen muchas variables que se pueden analizar para mejorar el funcionamiento que sea más adecuado para un mejor rendimiento de prototipos de secado y cocción solar.
- Es importante cuidar la inocuidad y la calidad del producto a someter al proceso de secado y realizar pruebas microbiológicas, que aseguren la calidad.
- Se recomienda realizar análisis de propiedades sensoriales en condiciones controladas, con productos recién obtenidos y evaluados por un panel entrenado.



BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Lagos, J. A. (2017). Calidad y características organolépticas de los alimentos. *Repositorio Institucional* - UNE. <http://repositorio.une.edu.pe/handle/20.500.14039/3860>
- Ahmed, S. M. M., Al-Amin, Md. R., Ahammed, S., Ahmed, F., Saleque, A. M., & Abdur Rahman, Md. (2020). Design, construction and testing of parabolic solar cooker for rural households and refugee camp. *Solar Energy*, 205, 230-240. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.05.007>
- Akpinar, E. K. (2010). Drying of mint leaves in a solar dryer and under open sun: Modelling, performance analyses. *Energy Conversion and Management*, 51(12), 2407-2418. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.05.005>
- Alibas, I. (2007). Microwave, air and combined microwave–air-drying parameters of pumpkin slices. *LWT - Food Science and Technology*, 40(8), 1445-1451. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.09.002>
- Aquilanti, A., Tomassetti, S., Coccia, G., Muccioli, M., & Di Nicola, G. (2023). Experimental characterization and performance comparison of four prototypes of panel solar cooker for low to high sun elevations. *Journal of Cleaner Production*, 390, 136158. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136158>
- Arunachala, U. C., & Kundapur, A. (2020). Cost-effective solar cookers: A global review. *Solar Energy*, 207, 903-916. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.026>
- Basunia, M. A., & Abe, T. (2001). Thin-layer solar drying characteristics of rough rice under natural convection. *Journal of Food Engineering*, 47(4), 295-301. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00133-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00133-3)
- Bernard, R. (1996). *SOLAR ENERGY - The Big Adventure of Solar Cookers*. http://iiscenvis.nic.in/Environ_sys/doc1995_1996/solardoc610.html
- Bonnet, I., & Villegas Aguilar, P. (2005). *Energía solar: Su aprovechamiento práctico*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4814.4727>
- CEC. (2018). *Characterization and Management of Food Loss and Waste in North America*. <http://www.cec.org/es/publications/characterization-and-management-of-food-loss-and-waste-in-north-america-2/>
- Chaudhary, R., & Yadav, A. (2020). Twin vessel solar cook stove for the simultaneous cooking of two different cooking articles. *Solar Energy*, 208, 688-696. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.08.032>



- Datta, A. K. (2007). Porous media approaches to studying simultaneous heat and mass transfer in food processes. I: Problem formulations. *Journal of Food Engineering*, 80(1), 80-95. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.05.013>
- Duc Pham, N., Khan, M. I. H., Joardder, M. U. H., Rahman, M. M., Mahiuddin, Md., Abesinghe, A. M. N., & Karim, M. A. (2019). Quality of plant-based food materials and its prediction during intermittent drying. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(8), 1197-1211. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1399103>
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley & Sons.
- Ebersviller, S. M., & Jetter, J. J. (2020). Evaluation of performance of household solar cookers. *Solar Energy*, 208, 166-172. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.056>
- FAO. (2021). *Pérdida y desperdicio de alimentos*. Portal de apoyo a las políticas y la gobernanza. <https://www.fao.org/policy-support/policy-themes/food-loss-food-waste/es/>
- FAO-AGS. (2007). *Driet Frut*. Informacion sobre operaciones de poscosecha. <https://www.fao.org/in-action/inpho/publicaciones/detail/es/c/2403/>
- Farooqui, S. Z. (2014). A review of vacuum tube based solar cookers with the experimental determination of energy and exergy efficiencies of a single vacuum tube based prototype. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 439-445. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.010>
- Garg, H. P., & Adhikari, R. S. (1998). Renewable energy programme and vision in India. *Renewable Energy*, 14(1), 473-478. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(98\)00106-2](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(98)00106-2)
- Gilago, M. C., Mugi, V. R., & V. p. , C. (2023). Performance assessment of passive indirect solar dryer comparing without and with heat storage unit by investigating the drying kinetics of carrot. *Energy Nexus*, 9, 100178. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100178>
- Gueymard, C. A. (2018). Revised composite extraterrestrial spectrum based on recent solar irradiance observations. *Solar Energy*, 169, 434-440. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.04.067>
- Hasan Masud, M., Karim, A., Ananno, A. A., & Ahmed, A. (2020a). Conditions for Selecting Drying Techniques in Developing Countries. En M. Hasan Masud, A. Karim, A. A. Ananno, & A. Ahmed (Eds.), *Sustainable Food Drying Techniques in Developing Countries: Prospects and Challenges* (pp. 21-40). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42476-3_2



- Hasan Masud, M., Karim, A., Ananno, A. A., & Ahmed, A. (2020b). Energy and Drying. En M. Hasan Masud, A. Karim, A. A. Ananno, & A. Ahmed (Eds.), *Sustainable Food Drying Techniques in Developing Countries: Prospects and Challenges* (pp. 41-61). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42476-3_3
- Hasan Masud, M., Karim, A., Ananno, A. A., & Ahmed, A. (2020c). Practiced Drying Technologies in Developing Countries. En M. Hasan Masud, A. Karim, A. A. Ananno, & A. Ahmed (Eds.), *Sustainable Food Drying Techniques in Developing Countries: Prospects and Challenges* (pp. 63-80). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42476-3_4
- Hasan Masud, M., Karim, A., Ananno, A. A., & Ahmed, A. (2020d). Sustainable Drying Techniques for Developing Countries. En M. Hasan Masud, A. Karim, A. A. Ananno, & A. Ahmed (Eds.), *Sustainable Food Drying Techniques in Developing Countries: Prospects and Challenges* (pp. 81-168). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42476-3_5
- Hough, G., & Fiszman, S. (2005). *Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos*. Programa CYTED.
- Jain, R., Paul, A. S., Sharma, D., & Panwar, N. L. (2023). Enhancement in thermal performance of solar dryer through conduction mode for drying of agricultural produces. *Energy Nexus*, 9, 100182. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100182>
- Janjai, S., Lamlert, N., Intawee, P., Mahayothee, B., Bala, B. K., Nagle, M., & Müller, J. (2009). Experimental and simulated performance of a PV-ventilated solar greenhouse dryer for drying of peeled longan and banana. *Solar Energy*, 83(9), 1550-1565. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.05.003>
- Joardder, M. U. H., & Hasan Masud, M. (2019). *Food Preservation in Developing Countries: Challenges and Solutions*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-11530-2>
- Joardder, M. U. H., Kumar, C., & Karim, M. A. (2017). Multiphase transfer model for intermittent microwave-convective drying of food: Considering shrinkage and pore evolution. *International Journal of Multiphase Flow*, 95, 101-119. <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2017.03.018>
- Kadam, D. M., & Samuel, D. V. K. (2006). Convective Flat-plate Solar Heat Collector for Cauliflower Drying. *Biosystems Engineering*, 93(2), 189-198. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.11.012>
- Kaiyan, H., Hongfei, Z., Tao, T., & Xiaodi, X. (2009). Experimental investigation of high temperature congregating energy solar stove with sun light funnel. *Energy Conversion and Management*, 50(12), 3051-3055. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.08.009>



- K.J., C., A.S., M., M.N.A, H., S.K, C., & J.C, H. (2001). Batch drying of banana pieces—Effect of stepwise change in drying air temperature on drying kinetics and product colour. *Food Research International*, 34(8), 721-731. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00094-1](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00094-1)
- Koppmann, R. (Ed.). (2007). *Volatile Organic Compounds in the Atmosphere* (1.^a ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470988657>
- Koyuncu, T., Tosun, İ., & Pınar, Y. (2007). Drying characteristics and heat energy requirement of cornelian cherry fruits (*Cornus mas* L.). *Journal of Food Engineering*, 78(2), 735-739. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.035>
- Kudra, T. (2004). Energy Aspects in Drying. *Drying Technology*, 22(5), 917-932. <https://doi.org/10.1081/DRT-120038572>
- Kumar, C., Joardder, M. U. H., Farrell, T. W., Millar, G. J., & Karim, M. A. (2016). Mathematical model for intermittent microwave convective drying of food materials. *Drying Technology*, 34(8), 962-973. <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1087408>
- Lafarge, C., Bard, M.-H., Breuvar, A., Doublier, J.-L., & Cayot, N. (2008). Influence of the Structure of Cornstarch Dispersions on Kinetics of Aroma Release. *Journal of Food Science*, 73(2), S104-S109. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00645.x>
- Maskan, A., Kaya, S., & Maskan, M. (2002). Effect of concentration and drying processes on color change of grape juice and leather (pestil). *Journal of Food Engineering*, 54(1), 75-80. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00187-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00187-X)
- Mekonnen, B. A., Liyew, K. W., & Tigabu, M. T. (2020). Solar cooking in Ethiopia: Experimental testing and performance evaluation of SK14 solar cooker. *Case Studies in Thermal Engineering*, 22, 100766. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100766>
- Messina, S., González, F., Saldaña, C., Peña-Sandoval, G. R., Tadeo, H., Juárez-Rosete, C. R., & Nair, P. K. (2022). Solar powered dryers in agricultural produce processing for sustainable rural development worldwide: A case study from Nayarit-Mexico. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 3, 100027. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2022.100027>
- Mugi, V. R., Das, P., Balijepalli, R., & Vp, C. (2022). A review of natural energy storage materials used in solar dryers for food drying applications. *Journal of Energy Storage*, 49, 104198. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104198>
- Ortiz Prudencio, S. del A. (2006). *Determinación de la composición química proximal y fibra dietaria de 43 variedades criollas de maíz de 7 municipios del sureste del estado de Hidalgo*. ICSa-BD-UAEH. <http://200.57.56.70:8080/xmlui/handle/231104/630>



- Ortiz-Rodríguez, N. M., Condorí, M., Durán, G., & García-Valladares, O. (2022). Solar drying Technologies: A review and future research directions with a focus on agroindustrial applications in medium and large scale. *Applied Thermal Engineering*, 215, 118993. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118993>
- Pablos Arroyo, F., Gonzalo calderon, A. B., & Muños Nieto, A. L. (2013). *Aplicación de técnicas de posicionamiento global en radiación solar,aprovechamiento energético y diseño de seguidores solares*. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/4980>
- Palzer, S. (2009). Food structures for nutrition, health and wellness. *Trends in Food Science & Technology*, 20(5), 194-200. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.02.005>
- Parada, J., & Aguilera, J. M. (2007). Food Microstructure Affects the Bioavailability of Several Nutrients. *Journal of Food Science*, 72(2), R21-R32. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00274.x>
- Potter, N. N., & Hotchkiss, J. H. (1999). *Ciencia de los alimentos*. Acribia, Editorial, S.A.
- Sablani, S. S. (2006). Drying of Fruits and Vegetables: Retention of Nutritional/Functional Quality. *Drying Technology*, 24(2), 123-135. <https://doi.org/10.1080/07373930600558904>
- Sagade, A. A., Samdarshi, S. K., Lahkar, P. J., & Sagade, N. A. (2020). Experimental determination of the thermal performance of a solar box cooker with a modified cooking pot. *Renewable Energy*, 150, 1001-1009. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.11.114>
- SCI. (2022, febrero 12). *Introducción la cocina solar* Solar Cookers International Association. Solar Cooking. https://solarcooking.fandom.com/wiki/Solar_Cookers_International_Association
- SCI. (2023). *Solar cooker plans*. Solar Cooking. https://solarcooking.fandom.com/wiki/Category:Solar_cooker_plans
- SDS. (2017). *PROGRAMA DE GESTIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE DEL ESTADO DE NAYARIT 2017-2026*. <https://sds.nayarit.gob.mx/index.php/proaire/>
- SEMARNAT. (2021, enero 21). *Partículas suspendidas PM10 y PM2.5 dañan salud y medio ambiente*. gob.mx. <http://www.gob.mx/semarnat/articulos/particulas-suspendidas-pm10-y-pm2-5-danan-salud-y-medio-ambiente?idiom=es>
- Senatore, F., Napolitano, F., Mohamed, M. a-H, Harris, P. J. C., Mnkeni, P. N. S., & Henderson, J. (2004). Antibacterial activity of *Tagetes minuta* L. (Asteraceae) essential oil with different chemical composition. *Flavour and Fragrance Journal*, 19(6), 574-578. <https://doi.org/10.1002/ffj.1358>



SENER, & CONUEE. (2018, junio 23). *Infografía Cocción de alimentos*. gob.mx. <http://www.gob.mx/conuee/documentos/infografia-coccion-de-alimentos>

solarcooking. (2023). *¿Por qué la cocina solar?* Cocina Solar. https://solarcooking.fandom.com/es/wiki/%C2%BFPor_qu%C3%A9_la_cocina_solar%3F

Soomro, A. (2018). *Kit de soluciones de la OMS para promover energías domésticas limpias*. 4.

Velasco, J. G. (2009). *Energías renovables*. Reverte.

Vengadesan, E., & Senthil, R. (2021). Experimental investigation of the thermal performance of a box type solar cooker using a finned cooking vessel. *Renewable Energy*, 171, 431-446. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.130>