



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN ENERGÍAS
RENOVABLES**

TESIS

**DESARROLLO DE UN SECADOR SOLAR, PARA MANGO
ATAULFO EN EL EJIDO SAN MIGUEL DE TONALÁ, CHIAPAS.**

Para obtener el grado de:
Ingeniera en Energías Renovables

presenta:

Evelyn Citlali Espinosa López

Director:

Dr. Roilan Iglesias Díaz





TUXTLA GUTIÉRREZ CHIAPAS
05 de febrero de 2019

C. EVELYN CITLALI ESPINOSA LÓPEZ

Pasante del Programa Educativo de: INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

DESARROLLO DE UN SECADOR SOLAR PARA MANGO ATAULFO EN EL
EJIDO SAN MIGUEL DE TONALÁ, CHIAPAS

En la modalidad de: TESIS PROFESIONAL

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional

Atentamente

Revisores

Firmas

DR. PASCUAL LÓPEZ DE PAZ

DR. NEIN FARRERA VÁZQUEZ

DR. ROILAN IGLESIAS DÍAZ

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a COCYTECH por el apoyo económico que me brindado para que se hiciera posible este proyecto.

Debo agradecer de manera especial y sincera al Dr. Roilan Iglesias Díaz por aceptarme para realizar esta tesis bajo su dirección. Su apoyo y confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de esta tesis, sino también en mi formación como ingeniera. Las ideas propias, siempre enmarcadas en su orientación, han sido la clave del buen trabajo que hemos realizado juntos, el cual no se puede concebir sin su siempre oportuna participación. Le agradezco también el haberme facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de esta tesis. Muchas gracias.

Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento al Dr. Heber Vilchis Bravo por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesis. Debo destacar, por encima de todo, su disponibilidad y paciencia.

Quiero extender un sincero agradecimiento al Ing. Mario Agustín García Estrada, Ing. Enrique Cansino López, Ing. Giselle Hernández Brenes e Ing. Luis Fernando Sibaja Guillen por la colaboración en este proyecto.

Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas, gracias a mi madre por estar dispuesta a acompañarme cada larga y agotadora noche de estudio, agotadoras noches en las que su compañía y la llegada de sus cafés era para mí como agua en el desierto; gracias a mi padre por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida.

ÍNDICE

1	GENERALIDADES	1
1.1	Introducción.....	1
1.2	Antecedentes	2
1.2.1	Antecedentes del secado de mango a nivel mundial.....	3
1.2.2	Antecedentes del secado de mango en México y Chiapas.	5
1.3	Planteamiento del problema.....	7
1.4	Objetivo e hipótesis.....	7
1.4.1	Objetivo general.....	7
1.4.2	Objetivos específicos.....	7
1.4.3	Hipótesis.....	9
1.5	Justificación.....	9
1.6	Conclusión.	9
2	MARCO TEÓRICO	10
2.1	Introducción.....	10
2.2	Análisis del área de aplicación.....	10
2.3	La fuente de calor (sol).....	14
2.3.1	Características del sol	15
2.3.2	Radiación solar.....	17
2.4	¿Qué es el secado?	20
2.4.1	Técnicas de eliminación de agua en productos agroalimentarios.	21
2.4.2	Etapas en el proceso de secado.....	21
2.4.3	Transferencia de calor y materia en el secado	23
2.4.4	Mecanismos de transferencia de humedad	29
2.4.5	Transferencia de humedad en el interior del sólido	29

2.4.6	Teoría de la difusión	30
2.5	Eficiencia de proceso de cesado.....	32
2.6	Características del mango ataulfo	33
2.7	Secadores solares.....	34
2.8	Conclusión.	38
3	METODOLOGÍA.....	39
3.1	Introducción.....	39
3.2	Área de investigación. Municipio Tonalá, Chiapas, México.....	39
3.3	Proceso de investigación	41
3.3.1	Diseño de un secador solar	41
3.3.2	Selección de materiales de calidad	50
3.3.3	Construcción de un secador solar	50
3.3.4	Evaluar e dispositivo de secado con y sin producto en las instalaciones de la UNICACH.....	51
3.3.5	Evaluación de prototipo en campo.....	54
3.3.6	Realizar propuesta final al ejido.....	54
3.4	Conclusión	55
4	RESULTADOS Y DISCUSIONES	56
4.1	Introducción.....	56
4.2	Diseño y construcción del prototipo.....	56
4.2.1	Determinación de recurso energético.....	56
4.2.2	Dimensiona de la superficie de captación y la cámara de secado.....	57
4.2.3	Diseño tridimensional	59
4.2.4	Construcción del prototipo de secado solar.....	60
4.3	Resultados de la evaluación del prototipo.....	62

4.3.1	Evaluación en vacío.....	62
4.3.2	Evaluación con carga	66
4.4	Análisis de las variaciones climatológicas de Tonalá.....	70
4.5	Evaluación del prototipo en campo	73
4.5.1	Evaluación con carga	75
4.6	Propuesta final al ejido.....	77
4.7	Conclusión	79
5	CONCLUSIONES.....	80
6	Referencias.....	81

LISTA DE FIGURA

Figura 1.1 Vista lateral del secador solar de mango.	4
Figura 1.2 Estructura del secador solar.....	5
Figura 1.3 Secador hibrido solar térmico-eólico desarrollado en el CIDTER-UNICACH.	6
Figura 2.1 Ubicación de Tonalá, Chiapas en el mapa (INEGI).....	12
Figura 2.2 Medición multidimensional de la pobreza.....	13
Figura 2.3 Proceso del sol.....	15
Figura 2.4 Estructura solar. (Acosta 2017).....	17
Figura 2.5 Espectro de la radiación Solar.	18
Figura 2.6 Esquema de las fases alimento- fluido. (Universitat and València 2016).	20
Figura 2.7 Etapas de operación de secado (Fito et al., 2001).....	22
Figura 2.8 La diferencia de la radiación de calor, no hay algo que se pueda llamar radiación de masa.	24
Figura 2.9 Maneras diferentes de expresar la concentración de la especie A de una mezcla binaria de A y B.....	26
Figura 2.10 Mecanismo de función superficial en el transporte de vapor de agua.....	30
Figura 2.11 Mecanismo de difusión líquida del transporte de vapor de agua.....	31
Figura 2.12 Mecanismo de difusión de Knudsen del transporte de vapor de agua.	32
Figura 2.13 Mecanismo de difusión de Knudsen del transporte de vapor de agua.	34
Figura 2.14 Secador solar directo. Foto de internet.	35
Figura 2.15 Secador indirecto con circulación natural.....	36
Figura 2.16 Secador indirecto con circulación forzada.....	36
Figura 2.17 Secador Solar Mixto.	37
Figura 3.1 Radiación incidente en el municipio de Tonalá Chiapas, México.	40
Figura 3.2 Ubicación de Tonalá, Chiapas en el mapa (INEGI).....	41
Figura 3.3 Proceso de secado.....	52
Figura 4.1 Vista trasera del diseño del secador.	60

Figura 4.2 Fotos del proceso de construcción.....	61
Figura 4.3 Foto del secador terminado.....	61
Figura 4.4 Secador durante las evaluaciones	70
Figura 4.5 Evaluación con carga.....	76
Figura 4.6 Diseño del secador.....	77
Figura 4.7 Flotilla de secadores	78

LISTA DE TABLA

Tabla 2.1 Producción agrícola por tipo de cultivo.....	11
Tabla 2.2 Indicadores sociodemográfica del municipio de Tonalá, Chiapas.	13
Tabla 2.3 Características físicas del sol. (Mendoza 2011)	15
Tabla 2.5 Contenido de humedad de algunas frutas y temperatura máxima.(<i>Fundación Celestina Pérez de Almada 2005</i>).	33
Tabla 3.1 Valores de r_0 , r_1 y r_k en dependencia del tipo de clima.	43
Tabla 3.2 Contenido de humedad de algunas frutas y temperatura máxima tolerable (UNESCO,2005).....	45

LISTA GRAFICA

Grafica 1.1 Cosecha mundial del mango.	3
Grafica 4.1 Radiación incidente en Tuxtla Gutiérrez.	57
Grafica 4.2 Variación de la temperatura en el colector.....	63
Grafica 4.3 Variación de la temperatura dentro de la cámara.	63
Grafica 4.4 Variaciones de temperatura.	64
Grafica 4.5 Variación Relativa del aire.	65
Grafica 4.6 Variación de humedad de la muestra de mango.....	66
Grafica 4.7 Curva de humedad del mango.....	67
Grafica 4.8 Curva de humedad del aire dentro de la cámara durante el secado...	68
Grafica 4.9 Temperatura de la cámara durante el proceso de secado.....	69
Grafica 4.10 Radiación incidente en el colector durante el proceso de secado. ...	69
Grafica 4.11 Radiación solar del municipio de Tonalá.....	71
Grafica 4.12 Temperatura ambiente del municipio de Tonalá.....	72
Grafica 4.13 Humedad relativa del municipio de Tonalá.	73
Grafica 4.14 Temperatura del aire en la cámara interior y en el ambiente exterior.	74
Grafica 4.15 Humedad del interior de la cámara y temperatura del aire ambiente.	74
Grafica 4.16 Humedad del interior de la cámara y humedad del ambiente.....	75
Grafica 4.17 Curva de humedad del mango.....	76

RESUMEN

En los últimos años, la escasez y mayores precios de los combustibles de origen fósiles, ha despertado un nuevo interés en el uso de la energía solar. Una de las aplicaciones más nobles es el secado solar; se ha tratado de desarrollar diversas tecnologías que permitan solucionar los problemas mencionados en relación al secado al aire libre natural. El uso de secadores solares, protege a los productos de las inclemencias del tiempo, tales como: la lluvia, el polvo, el viento, así como agentes microbiológicos dañinos. El secado solar de los alimentos es importante y que es una forma de conservar el producto seco y el desperdicio de productos, además se aprovecha la energía limpia y gratis del sol. Estas tecnologías pueden preparar los alimentos para la venta abriendo una fuente nueva de trabajo. Por ello se propone un dispositivo para su aplicación real a gran escala, y así disminuir las pérdidas de mango que cada año se dan; siendo alrededor de 20000 toneladas de mango ataulfo en el estado, consecuencia, fundamentalmente, de la sobreproducción. Dicha propuesta será aplicada en el Ejido de San Miguel, municipio de Tonalá, Chiapas; donde existe una zona productora de mango ataulfo, en la cual se logró obtener el interés del ejido. Por tales razones se propone usar el ejido como zona de experimentación, y a su vez de implementación y transferencia de esta tecnología, dando, así como resultado el inicio del proyecto en sus primeras fases.

1 GENERALIDADES

1.1 Introducción

Una de las maneras más simples para lograr el secado de alimentos es exponiendo el producto de forma directa al sol, donde el material húmedo se extiende en grandes superficies y sólo hay que esperar a que el agua contenida dentro del producto se elimine por medio de la convección con el aire. Este procedimiento es de muy bajo costo, pero el proceso de secado sería muy tardado y con baja calidad por causas de fuertes mermas (baja de producción) ocasionadas por las lluvias durante el proceso de secado y la influencia de fauna nociva, si el producto es colocado en el suelo de manera extendida.

En los últimos años, la escasez y mayores precios de los combustibles de origen fósil, ha despertado un nuevo interés en el secado basado en el uso de la energía solar, se han ido desarrollando diversas técnicas e instalaciones de secado solar, que permiten solucionar los problemas mencionados en relación con el secado al aire libre, además, de proteger los productos contra la lluvia, el polvo, así como fauna nociva.

El secado solar de los alimentos es importante ya que de esta forma se pueden conservar los productos secos durante muchos meses, evitando el desperdicio, se aprovecha la energía limpia y gratis del sol y se pueden preparar los alimentos para la venta abriendo una fuente nueva de trabajo. Por ello en este trabajo se propone un dispositivo de aplicación real a gran escala para disminuir las pérdidas de mango, que cada año se producen, siendo alrededor de 20,000 toneladas de mango ataulfo en el Estado, debido fundamentalmente a su sobreproducción.

México domina el mercado de exportación con el 33 % de los mangos frescos que se comercializan en el orbe, rebasando los 233 millones de dólares, Además de la colindancia con el principal consumidor, nuestro país tiene una variabilidad climática privilegiada que permite el establecimiento de huertas en latitudes muy diferentes. Por ello, se produce mango constantemente durante ocho meses al año. La cosecha inicia por lo general en Chiapas y termina en Sonora, lo que da como resultado que México domine el mercado desde febrero hasta septiembre(Infante et al. 2011).

1.2 Antecedentes

El sol es nuestra principal fuente de energía, que se manifiesta en forma de luz y calor. La energía solar es la energía que se obtiene de la radiación electromagnética del sol, esta radiación puede ser aprovechada por diversas tecnologías.

Una de las tecnologías que aprovecha esta fuente de energía es el secador solar, básicamente es un deshidratador solar donde la energía del sol es aprovechada transformándola en calor útil para crear efecto invernadero, este calor eleva la temperatura del aire contenido en una cámara donde se encuentra los alimentos puestos en rejillas. El proceso de secado del alimento se realiza por acciones del aire caliente circulando que pasa entre los alimentos, lo cual causa la evaporación del agua del producto y lleva esa humedad hacia el exterior de deshidratado. Es un dispositivo bastante simple, con el que se puede deshidratar frutas, verduras, semillas etc.

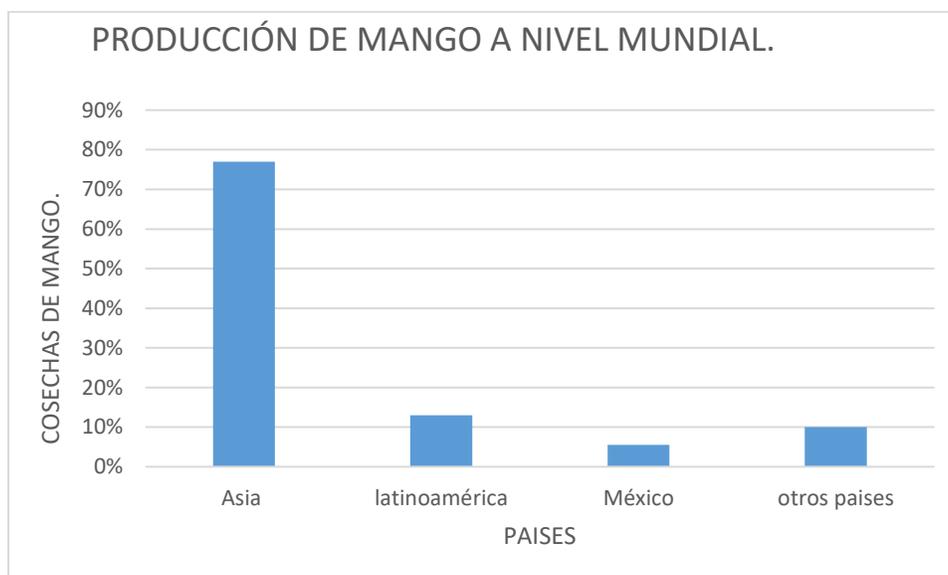
El secado es una de las técnicas más antiguas utilizadas para la conservación de alimentos desde los principios de la humanidad ya que proporciona al hombre una posibilidad de subsistencia en épocas de carencia.

Un buen deshidratador para productos agrícolas debe mantener una temperatura estable de 35 a 60 °C en la cámara de secado; por arriba de 60 °C se puede perder una gran cantidad de vitaminas. Por abajo de 35 °C se pueden conservar más vitaminas, pero si el ambiente es húmedo se favorece el crecimiento de bacterias y mohos, resultando un producto de mala presentación y posiblemente perjudicial para los consumidores (Fundación Celestina Pérez de Almada 2005). Para la deshidratación es esencial la ventilación, ya que lo importante no es calentar el producto, sino eliminar su humedad.

1.2.1 Antecedentes del secado de mango a nivel mundial.

Los agroecosistemas tropicales y subtropicales del mundo, que constituyen alrededor de 95 países, cuentan con plantaciones comerciales, produciendo 43 millones de toneladas, de las cuales la gran mayoría es consumida internamente por los países productores y únicamente se exporta alrededor de 3 %.

En la Gráfica 1.1 se puede observar la comparación de cosechas de los países que entre ellos se encuentra México en los países más productores. Aun cuando en los últimos años México ha ocupado consistentemente el cuarto lugar mundial después de la India, China y Tailandia, su producción constituye escasamente 5.5 % del total. No obstante, es el principal exportador con poco más de 20 % de las exportaciones mundiales de mango, aunque en algunos años ha sido superado por la India (INFOCOMM 2016).



Grafica 1.1 Cosecha mundial del mango.

Sin embargo, no pueden ser exportada toda la producción por eso se considera la utilización de los secadores solares, pero actualmente existen unos cuantos prototipos en el mundo que se han diseñado y construido especialmente para realizar pruebas experimentales de tan valioso producto en la cadena comercial para nuestro país y el mundo.

Uno de ellos, es el que propone (Omda et al. 2004) construido en Khartoum, Sudan. Este prototipo de secador solar fue diseñado a partir de investigaciones preliminares realizadas en condiciones controladas de secado a nivel laboratorio. La forma del secador es de tipo gabinete y consiste en una cámara de secado y un colector solar combinados en una sola unidad como se muestra en la figura 1.1. El área del prototipo es de 1.03 m².

El propósito de este prototipo es ser utilizado en ensayos de secado experimentales bajo diferentes condiciones de carga. Las condiciones climatológicas para la zona de operación del dispositivo son de 30° C de temperatura, una radiación de 20 MJ/m²/día y una humedad del ambiente de 15 %. El secador está diseñado para deshidratar una carga de 100 kg de mango en rebanadas en un tiempo de 20 horas con un área de captación solar de 16.8 m². La cámara de secado está diseñada para alcanzar una temperatura máxima de 70 °C y reducir un 70 % de humedad al producto en cuestión.

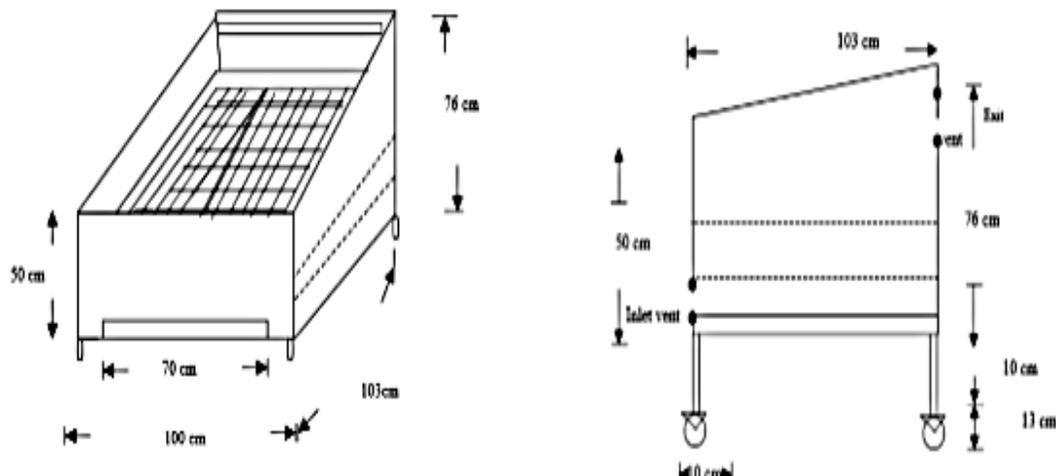


Figura 1.1 Vista lateral del secador solar de mango.

1.2.2 Antecedentes del secado de mango en México y Chiapas.

La historia del secado solar de frutas en México se remonta al año de 1983 en diversas comunidades de Colima, Jalisco, Oaxaca y Zacatecas mediante un proyecto financiado por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología para instalar prototipos en diversos hogares, junto con colectores, hornos, estufas e invernaderos solares (Ballina V. 1986). Desde esa fecha hasta ahora, en nuestro país se han diseñado y construido diversos prototipos de secadores solares para diferentes frutas y vegetales como papaya, chile habanero, nopal y zanahoria (Hernández et al. 2014).

Vidal Amauri de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y eléctrica Unidad Culhuacán del estado de México, reportó un diseño y construcción de un secador solar híbrido con energía alternativa; energía solar, energía eólica y gas LP. Logrando alcanzar una temperatura de 50 °C con una capacidad de 1000 gr (manzana) con capacidad de 4 charolas (Paredes jc 2013). (figura 1.2)



Figura 1.2 Estructura del secador solar.

Uno de los dispositivos construidos en el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Energías Renovables (CIDTER-UNICACH) es el secador híbrido solar térmico-eólico que está diseñado para deshidratar diversos productos agrícolas como frutas, hojas, verduras y granos. Este dispositivo soporta una carga de 32 kg para frutos, con una humedad inicial entre 80 a 85 % y una humedad final entre 5 % a 8 %, con una temperatura de trabajo de 60° C a 90 °C.

Para el diseño de este dispositivo se contemplaron diversas condiciones internas y externas del lugar donde se instalaría, como el potencial energético solar y eólico de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, para poder determinar la cantidad de energía necesaria para realizar el proceso de secado. Por último, se consideraron ciertos parámetros como la latitud del lugar donde se instala el sistema, orientación, temperatura ambiente, humedad relativa ambiente y la radiación solar. Este dispositivo cuenta con un área de captación de 6.41 m² y se compone de 2 colectores solares de tubo de vacío (heat pipe). Las dimensiones de la cámara de secado son de 2 m de largo, 1 m de ancho y 1 m de altura. Además, cuenta con un aerogenerador de 1 kW de capacidad, junto con un par de resistencias eléctricas, las cuales suministran el calor necesario para mantener el proceso de secado durante periodos intermitentes de radiación.

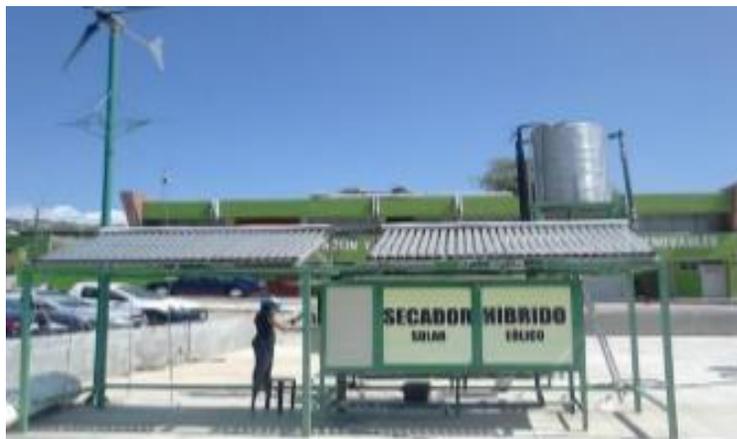


Figura 1.3 Secador híbrido solar térmico-eólico desarrollado en el CIDTER-UNICACH.

1.3 Planteamiento del problema.

El principal problema que se analizará, radica en darle una solución a la sobre producción que existe de mango ataulfo, en el ejido San miguel, Tonalá Chiapas, a través de un tratamiento poscosecha, analizando la posibilidad de implementar secadores solares.

El secado tradicional de fruta puede traer problemas de calidad y salud, ya que, al estar al aire libre, está en contacto con insectos y otros factores atmosféricos que hacen el proceso lento e insalubre; por otro lado, en Chiapas se pierden 20,000 toneladas de mango al año, debido a que se presenta una sobreproducción de mango, una falta de equipos y de una metodología más desarrollada para su conservación después de su cosecha.

1.4 Objetivo e hipótesis.

Ya conocido el problema a resolver se plantea como objetivo general de esta investigación lo siguiente.

1.4.1 Objetivo general.

Desarrollar un secador solar para la deshidratación de mango ataulfo en el ejido de San Miguel, municipio de Tonalá, Chiapas.

Para llevar esta investigación al cumplimiento de su objetivo general se plantean una serie de etapas que constituyen la estructura de este trabajo y que son los objetivos particulares:

1.4.2 Objetivos específicos.

1. Diseño de un secador solar.

Seleccionar del tipo de secador y el diseño del prototipo. Analizar las características del mango ataulfo para designar el secador adecuado a sus características, de estos se tendrá las características principales del prototipo para realizar el diseño, el dimensionado de la superficie de captación y de la cámara de secado, se pretende

diseñar un prototipo de secador en un programa tridimensional llamado sketchup para poder visualizar el prototipo esperado.

2. Seleccionar materiales de calidad.

Para conocer que materiales requerimos utilizar en la construcción se tiene que realizar una previa investigación del material, en cuanto a su precio, sus propiedades físicas y que tan viable sea la obtención de ellos.

3. Construir un secador solar.

Se realizará la construcción de acuerdo al diseño propuesto anteriormente y con los materiales seleccionados, resolviéndose los problemas que surjan en el proceso.

4. Evaluar el dispositivo de secado con y sin producto en las instalaciones de la UNICACH.

Se realizará monitoreo de temperatura y de humedad en las siguientes evaluaciones:

1.- Evaluación en vacío. Se observará si se llega a alcanzar los parámetros térmicos del secador, se registrarán las temperaturas en diferentes puntos de interés de la cámara de secado y de la chapa negra, de la misma manera la humedad relativa del aire dentro de la cámara.

2.-Evaluación con carga. De igual manera se observará si llega a alcanzar los parámetros térmicos del secador, además se registrará el tiempo secado, con estos datos de confeccionar la curva del secado y se registran las pérdidas de humedad del producto.

5. Evaluar el prototipo en campo

se realiza las evaluaciones de temperatura y humedad de la cámara de secado, cuando la instalación de secado este emplazada en el ejido San Miguel, Tonalá, Chiapas. La evaluación se realizará al vacío y con carga para monitorear el comportamiento de este en la zona y poder hacer algún ajuste en el proceso. Y realizar algún cambio que se necesite.

6. Realizar una propuesta final al ejido de los secadores solares que les ayudará a los ejidatarios a que reduzcan las pérdidas del mango ataulfo.

1.4.3 Hipótesis.

Llevar acabo la instalación del secador solar, disminuirá las pérdidas de cosecha por sobreproducción del mango ataulfo del ejido de San Miguel, Tonalá, Chiapas.

Al implementar el secado solar se tendrá un valor agregado al producto beneficiando a los ejidatarios del ejido.

1.5 Justificación.

Con la implementación de deshidratadores se podrá disminuir las pérdidas de mango ataulfo en el ejido San Miguel, Tonalá, Chiapas. Dándole un valor agregado al producto y más tiempo de vida (en comparación de la fruta fresca), además de proporcionar ventajas tales como evitar que la fruta este expuesta a insectos y otros agentes que pueden contaminarla y disminuir la calidad del producto, disminuir el tiempo de secado haciendo el proceso más eficiente. Todo esto utilizando una fuente de energía amigable con el medio ambiente y gratuita.

1.6 Conclusión.

En este capítulo se expone el problema de la sobre producción que existe de mango ataulfo. Por el cual se propuso como objetivo general el desarrollar un secador solar para la deshidratación de mango ataulfo en el ejido de San Miguel, Tonalá, Chiapas, que lo proteja de las fuentes contaminantes externas como polvo, insectos y condiciones ambientales. Para llevar a cabo el objetivo principal se desarrollan objetivos particulares para el desarrollo con especificaciones. Se realiza una justificación de la propuesta planteada en este capítulo ya que es una tecnología que protege al producto de daños biológicos y climatológicos ala ves dándole una vida de larga duración.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción.

Este capítulo contiene toda la teoría que se necesita para poder desarrollar el objetivo principal, se realiza un análisis de los principales temas de desarrollo de secadores solares principalmente en los productos de alimentos como frutas, verduras y plantas aromáticas, principalmente trabajos que se hallan realizado en México y en nuestro estado Chiapas.

Se analizan las principales características del estado de Chiapas y municipio de Tonalá para poder obtener los datos requeridos para realizar los cálculos y información del esta social que se encuentra. De igual manera se obtiene información requerida de la fuente de energía para para poder conocer el comportamiento de nuestra fuente (el sol).

Para poder llegar al objetivo principal se realizó investigación de los procesos que sucederán en la cámara de secado y en el colector para su posterior diseño. Como lo son la transferencia de calor, transferencia de materia y el proceso de deshidratación del producto.

2.2 Análisis del área de aplicación.

Municipio Tonalá, Chiapas, México.

La palabra Tonalá significa en náhuatl "Lugar Caluroso". Tonalá es una ciudad al sudoeste de Chiapas y cabecera de la región IX Istmo-Costa; considerada la tercera ciudad en importancia económica del estado; se encuentra asentada en la transición de la Llanura Costera del Pacífico y la Sierra Madre de Chiapas. Posee un estilo muy propio, con construcciones estilo domestico costeño, cuyo crecimiento demográfico avanza rápidamente y cuya vida social gira en torno al parque central, el cual está adornado por una estela "Tlaloc" de influencia teotihuacana. como por proveer a la capital del estado de una abundante producción de pescados, moluscos y mariscos, además de ser centro de una de

las principales regiones ganaderas de Chiapas y poseer una próspera industria turística en desarrollo.(Valenzuela 2003)

En el desarrollo de cultivos en la tabla 2.1 demuestra las cantidades de cultivos que tiene el municipio de Tonalá, Chiapas, las toneladas se muestran en el tiempo de riego en los productos y cuando es la temporada de crecimiento del cultivo de igual manera muestra el costo del producto de las dos maneras en estado riego y temporada del producto.(SAGARPA 2006)

Tabla 2.1 Producción agrícola por tipo de cultivo.

VOLUMEN Y VALOR DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA POR TIPO DE CULTIVO Y PRINCIPALES CULTIVOS SEGÚN DISPONIBILIDAD DE AGUA							CUADRO 10.3
Años agrícolas 1999 y 2005							
TIPO CULTIVO	VOLUMEN (Toneladas)			VALOR (Miles de pesos)			
	TOTAL	RIEGO	TEMPORAL	TOTAL	RIEGO	TEMPORAL	
MAÍZ GRANO	1 402 833.3	36 380.8	1 366 452.5	2 536 994.8	68 846.3	2 468 148.4	
SORGO GRANO	30 797.2	597.0	30 200.2	43 543.3	889.0	42 654.3	
RESTO DE CULTIVOS CÍCLICOS	NA	NA	NA	925 295.8	75 518.0	849 777.8	
CULTIVOS PERENNES	NA	NA	NA	7 403 451.3	1 888 529.9	5 514 921.4	
MANGO	131 249.7	22 468.5	108 781.2	378 823.4	71 686.6	307 136.9	
CHICOZAPOTE	679.4	260.0	419.4	1 662.5	910.0	752.5	
RESTO DE CULTIVOS PERENNES	NA	NA	NA	7 022 965.4	1 815 933.3	5 207 032.0	

El municipio se encuentra ubicado en los límites de la sierra madre y de la llanura cosera del pacífico, Latitud 16° 05' 22N y Longitud 093° 45' 05 W, se ubica a una altitud de 60 metros sobre el nivel del mar, capital del estado. Colinda al Norte con los municipios de Villaflores y Arriaga, al Este de Villa Corzo, al Sur Pijijiapan, al Oeste con el Océano Pacífico.

Su extensión territorial es de 1,867.72 km², lo que corresponde al 38.04% de la superficie de la región Istmo-Costa y al 2.34% de la superficie total del estado.



Figura 2.1 Ubicación de Tonalá, Chiapas en el mapa (INEGI).

El clima es cálido subhúmedo en las partes bajas y semicálido húmedo en altitudes mayores de 2,000 metros. La vegetación original es de selva baja y bosque de encino-pino. Los principales ríos y arroyos son: Jesús, Pedregal, Quetzalapa, Pando Agua Dulce, Guadalupe, Zanatenco, Amatillo, Tiltepec, Cristalino, Los Limones y el Ríto. Estas corrientes no desembocan directamente en el mar sino en esteros como el San Francisco y Albuferas como Las Lagunas, La joya, Buenavista, La Polka, Cabeza de Toro, Capulín, Piñuelos y el Mar Muerto. (Valenzuela 2003)

En el municipio se encuentra una totalidad de población de 84,594 personas en el 2010 lo cual representa el 1.8% de la población del estado. En el mismo tiempo había en el municipio 21,788 hogares siendo el 2% del total de hogares en la entidad.(SEDESOL 2010) En la tabla 2.2 podremos ver la comparación del municipio con el estado, así pudiendo observar en qué estado se encuentra la magnitud de la población, las viviendas y las escuelas de educación básica y media superior.

Tabla 2.2 Indicadores sociodemográfica del municipio de Tonalá, Chiapas.

INDICADOR	TONALÁ (MUNICIPIO)	CHIAPAS (ESTADO)
Población total, 2010	84,594	4,796,580
Total de hogares y viviendas particulares habitadas, 2010	21,788	1,072,560
Tamaño promedio de los hogares (personas), 2010	3.9	4.4
Hogares con jefatura femenina, 2010	5,187	216,407
Grado promedio de escolaridad de la población de 15 o más años, 2010	7.2	6.7
Total de escuelas en educación básica y media superior, 2010	277	18,539
Personal médico (personas), 2010	106	5,373
Unidades médicas, 2010	17	1,314
Número promedio de carencias para la población en situación de pobreza, 2010	2.8	3.2
Número promedio de carencias para la población en situación de pobreza extrema, 2010	3.8	3.9

En la Figura 2. 2 mostramos la medición de pobres que se encuentra el municipio en el 2010 el cual el porcentaje mayor se encuentra en la pobreza moderada y la pobreza extrema entonces podemos analizar que la mayoría de personas es bastante pobre a pesar de las cantidades de cultivos que logran cosechar.

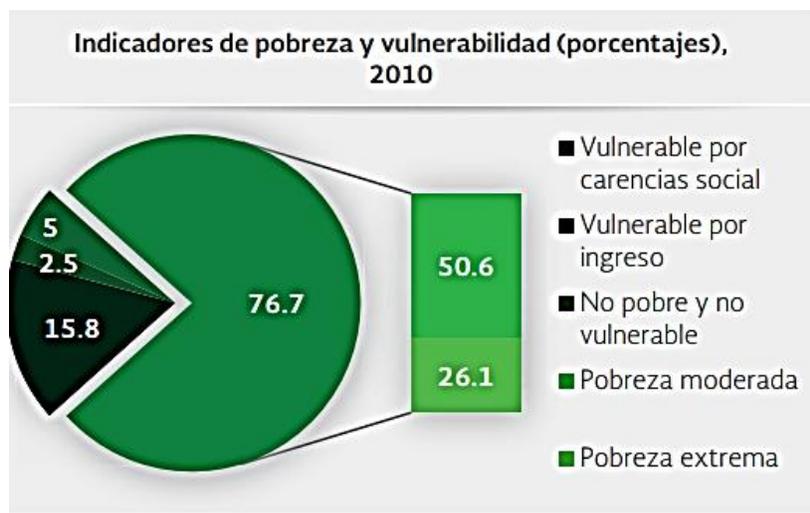


Figura 2.2 Medición multidimensional de la pobreza.

2.3 La fuente de calor (sol)

El Sol es la fuente de energía que mantiene vivo al planeta Tierra. Emite continuamente una potencia aproximadamente 62 mil 600 kilowatts por cada metro cuadrado de su superficie. Esto ha venido ocurriendo a lo largo de 4 mil 500 millones de años, y se estima que continuará así por otros 5 mil millones de años, lo cual, en términos de la existencia que ha tenido la humanidad, es prácticamente ilimitado. De hecho, en un periodo de tan sólo dos días, el planeta recibe una cantidad de energía equivalente a todas las reservas probadas que existen de petróleo, gas y carbón. Esto equivale a cerca de 60 veces el consumo anual de la sociedad humana, lo cual nos da una idea del potencial impresionante que tiene la energía del Sol para satisfacer las demandas energéticas del mundo. (Bulnes, Best y Lejos 2010)

El sol es una estrella enana y amarilla, con temperatura superficial de 5 780 K, compuesta esencialmente por Hidrógeno (74 % en masa y 92 % del volumen) y Helio (24,5 % en masa y 7 % del volumen), a lo que se añaden pequeñas trazas de elementos pesados como Hierro, Níquel, Oxígeno, Silicio, Azufre, Magnesio, Carbono, Neón, Calcio y Cromo.

El Sol está situado en una región que no parece tener nada de especial: a unos 26 000 años luz del centro de la Galaxia (que tiene un radio de unos 60 000 años luz), en el borde interno del brazo espiral de Orión. En la Galaxia, el Sol se mueve a una velocidad de 214 km s^{-1} , lo que le permite recorrer una distancia de un año luz cada 1 400 años. (Bachiller Rafael 2007)

Pero, para la Tierra y para nosotros sus habitantes, el Sol es una estrella única: nuestra estrella. Durante el día, el Sol hace palidecer a los otros cuerpos celestes, su brillo cegador no nos permite mirarlo directamente.

En la Figura 2.3 demuestra el crecimiento del sol hasta convertirse en una gigante roja y posteriormente hasta llegar a transformar en una enana blanca.



Figura 2.3 Proceso del sol.

Se dice a menudo que el Sol es una esfera de gas en ebullición. En concreto, la zona más interna del Sol, es decir la que abarca desde el centro hasta unos 0,2 radios solares, se encuentra a una temperatura muy elevada (hasta 15 millones de grados) y constituye, de hecho, un inmenso reactor nuclear.

El sol está constituido por átomos de hidrógeno. En la zona central del sol los átomos de hidrógeno se fusionan para formar átomos de helio. Pero en la conversión de hidrógeno a helio hay una pequeña fracción de masa (un 0,7 %) que se convierte en energía de acuerdo con la fórmula de Einstein (2.1).

$$E = mc^2 \quad (2.1)$$

2.3.1 Características del sol

En la Tabla 2.3 se muestra los datos físicos que se consideran más importantes del sol.

Tabla 2.3 Características físicas del sol. (Mendoza 2011)

CARACTERÍSTICA	UNIDADES
Diámetro	1,392,000 km
Superficie	$6.09 \times 10^{12} \text{ km}^2$
Volumen	$1.41 \times 10^{27} \text{ km}^3$
Masa	$1.989 \times 10^{27} \text{ kg}$
Densidad	1411 kg/m^3
Gravedad en la superficie	274 m/s^2
Temperatura de la superficie	$6 \times 10^3 \text{ }^\circ\text{K}$
Luminosidad	$3,827 \times 10^{26} \text{ W}$

El sol posee una forma esférica, y causa de su lento movimiento de rotación, tiene también un pequeño achatamiento polar, como en cualquier cuerpo de masa considerable toda la materia que lo constituye es atraído hacia el centro del objetivo por su propia fuerza gravitatoria.

Achatamiento polar es la consecuencia de la fuerza centrífuga provocada por la rotación terrestre.

En la Tabla 2.4 mostramos la distribución de los elementos que conforma la fotosfera y cómo podemos observar en la tabla anterior, el hidrogeno es el elemento con predomina perteneciendo el 73% de la masa total del sol y el segundo elemento es el helio ocupando casi el 24.85% de la masa del sol.

En la Figura 2.4 mostramos la estructura del sol que está dividida en 5 partes que son el núcleo, zona radiactiva, zona convectiva, fotosfera y cromosfera.

El núcleo es la zona del sol donde se produce la fusión nuclear debido a las altas temperaturas es decir la generación de energía del sol.

La zona convectiva se produce el fenómeno de la convección siendo las columnas de gas caliente que ascienden hasta la superficie, se enfrían y vuelven a descender.

La fotosfera es capa delgada del sol de unos 300 Km, siendo la parte del sol que se ve en la superficie, siendo la temperatura de 500°C y esta parte del sol es la que se encuentra relacionada con los campos magnéticos del sol.

La cromosfera es la que solo puede ser vista en la totalidad en un eclipse solar. Siendo de una densidad muy baja y de temperaturas altísima. Está formada por gases enrarecidos y en ella existen fortísimos campos magnéticos.(Martínez Pillet 2009)



Figura 2.4 Estructura solar. (Acosta 2017).

2.3.2 Radiación solar

La radiación es la transferencia de energía por ondas electromagnéticas y se produce directamente desde la fuente hacia fuera en todas las direcciones. Estas ondas no necesitan un medio material para propagarse, pueden atravesar el espacio interplanetario y llegar a la tierra desde el sol.

La longitud de onda y la frecuencia de las ondas electromagnéticas, son importantes para determinar su energía, su visibilidad y su poder de penetración. Todas las ondas electromagnéticas se desplazan en el vacío a una velocidad de 299.792 Km7s.

Estas ondas electromagnéticas pueden tener diferentes longitudes de onda. El conjunto de todas las longitudes de onda se denomina espectro electromagnético. El conjunto de las longitudes de onda emitidas por el sol se denomina espectro solar.(Ministerio de medio ambiente 2005)

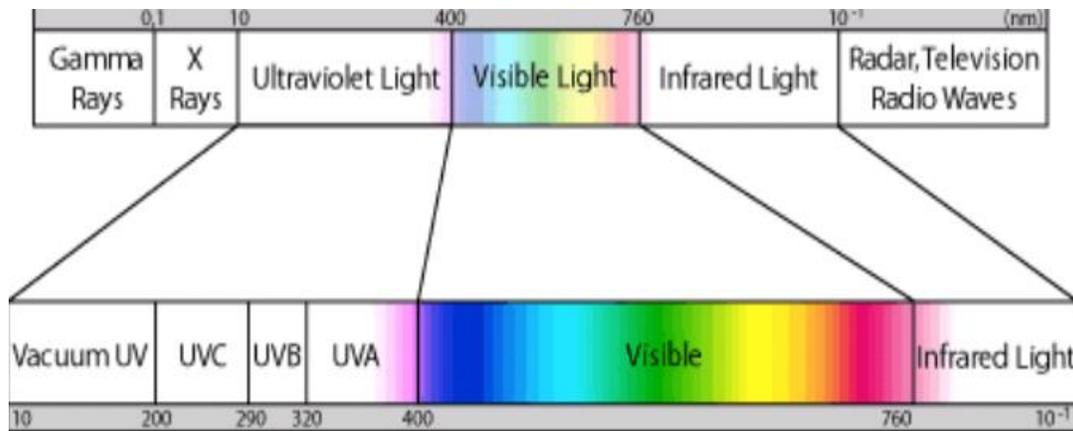


Figura 2.5 Espectro de la radiación Solar.

En la Figura 2.5 podemos observar el espectro de la radiación solar y la distribución de esta constituido por 7% del ultravioleta, 43% de luz visible, 49% infrarrojo y 1% el resto.

- Constante solar.

La constante solar, G_{sc} , es el flujo de energía proveniente del sol, que incide sobre una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar, ubicada a la distancia media de la tierra al sol, fuera de toda atmosfera.

El flujo de energía en la constante se refiere a una cantidad de energía que incide, instantáneamente, sobre una superficie de área unitaria. Esta superficie hipotética es perpendicular o normal a la dirección de propagación de la luz, lo cual en lenguaje no técnico equivale a decir que “ve al sol”.

El valor comúnmente aceptado para G_{sc} ha variado en los últimos años, según las técnicas de

Medición que se han empleado, lo cual no indica que haya variado en si la magnitud de la energía que se recibe del sol. (Naturaleza and Energia 1995)

$$G_{sc} = 1353 \text{ Wm}^2 \quad (2.2)$$

- Irradiancia solar.

La irradiancia es la utilizada para describir el valor de la potencia luminosa (energía/unidad de tiempo) incidente en un determinado instante por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética.

Su unidad de medida es: W/m^2

- Irradiación solar.

La irradiación también conocida como insolación se refiere a la cantidad de energía solar recibida durante un determinado periodo de tiempo.

Su unidad de medida es Wh/m^2

Por su diferente comportamiento, la irradiación la podemos separar en tres componentes: la directa, la difusa y la reflejada.

La radiación directa es la radiación que llega a la superficie de la tierra sin haber sufrido cambio en su trayectoria lineal desde el disco solar. El valor de la radiación directa normal es necesario para el cálculo de la radiación solar sobre superficies inclinadas, así como para establecer el desempeño de colectores concentradores.

La irradiación difusa es la que se recibe del sol después de ser desviada por dispersión atmosférica. Es radiación difusa la que se recibe a través de las nubes, así como la que proviene del cielo azul. De no haber radiación difusa, el cielo se vería negro aún de día, como sucede por ejemplo en la luna.

La radiación reflejada es el coeficiente de reflexión de la superficie, también llamada albedo. Por otra parte, las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no "ven" superficie terrestre, mientras que las superficies verticales son las que más reciben.

2.4 ¿Qué es el secado?

El secado se define como la remoción de humedad debido a la transferencia simultánea de calor y masa. Consiste en separar pequeñas cantidades de agua hasta que esta llegue a un valor aceptablemente bajo, es una de las etapas finales de una serie de operaciones.

La deshidratación es una de las técnicas más antiguamente utilizada para la conservación de alimentos. El secado al sol de frutas, granos, vegetales, carnes y pescados ha sido ampliamente utilizado desde los albores de la humanidad proporcionando al hombre una posibilidad de subsistencia en épocas de carencias. Hoy en día la industria de alimentaria extendido por todo el mundo. El tamaño de las instalaciones varía desde simple secadores solares hasta grandes y sofisticadas instalaciones de secado. En el mercado puede encontrarse una amplia variedad de productos deshidratados (vegetales, frutas, carnes, pescados, cereales y productos lácteos) o formulas a partir de ingredientes deshidratados como es el caso de las salsas y sopas en polvo.

La mayoría de productos aproalimentos son sólidos por lo que se define mejor la deshidratación como la operación básica por la que el agua que contienen un sólido o una disolución (generalmente concentrada) se transfiere a la fase fluida que lo rodea debido a los gradientes de actividades de agua (a_w) entre ambas fases que se produce el transporte de agua durante la deshidratación debido a un gradiente a_w .(figura 2.6)

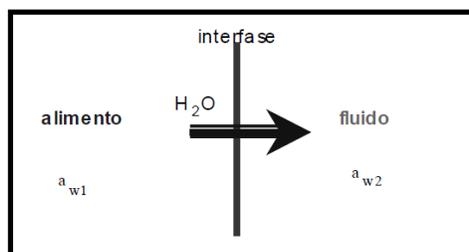


Figura 2.6 Esquema de las fases alimento- fluido. (Universitat and València 2016).

2.4.1 Técnicas de eliminación de agua en productos agroalimentarios.

La deshidratación puede llevarse a cabo por diferentes métodos, mecánicos y físico-químicos esto sería unas de las técnicas.

Prensado: también llamado compresión, es una operación que tiene por finalidad separar un líquido de un sistema de dos fases solido-liquido, comprimiendo el sistema en condiciones que permitan al líquido fluir y salir mientras el sólido queda reteniendo entre las superficies compresoras.

Evaporación superficial: cuando un producto se somete a la acción de una corriente de aire caliente, el líquido que contiene se evapora aumentando su contenido en el aire. Se produce así una desecación. Este es el método más utilizado, también llamado deshidratación por aire caliente.

Osmosis: cuando un producto se sumerge en una disolución concentrada de sal o azúcar, se produce un flujo de agua desde el interior de las células del alimento hacia la disolución más concentrada a través de una membrana semipermeable (membrana celular). Este flujo se establece a causa de una diferencia de potencial químico del agua en el alimento y en solución que lo rodea. (Universitat and València 2016)

2.4.2 Etapas en el proceso de secado

La operación de secado se divide en 3 etapas fundamentales (Figura 2.6), que describen la manera en que el proceso se lleva a cabo en una relación de contenido de humedad respecto al tiempo.

La primera etapa llamada periodo de inducción correspondiente a la fase a consiste en que el producto sea calentado y aumente su temperatura de interface, esto conlleva a que se produzca una adaptación del material a las condiciones de secado. Su duración estará en función del contenido inicial de humedad del sólido, temperatura, velocidad de aire, etc. (Fito et al., 2001).

La segunda etapa correspondiente a la fase B_1 se refiere a la eliminación de agua de la superficie del sólido que tiene una velocidad menor que la del agua en el

interior del sólido. Esta etapa es también llamada periodo de velocidad de secado constante, ya que la superficie del material se mantiene constantemente húmeda.

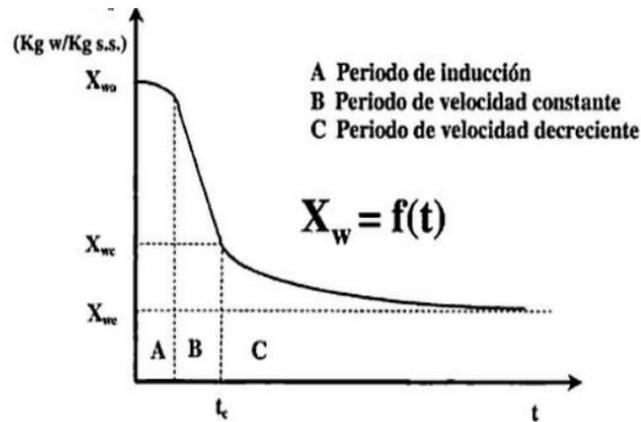


Figura 2.7 Etapas de operación de secado (Fito et al., 2001).

Su velocidad de secado será igual a la de evaporación de agua y proporcional a la velocidad de flujo de calor que va desde el aire al sólido, su temperatura se mantendrá constante.

Por último, pasa la etapa de velocidad de secado decreciente representada por la fase C, donde la humedad del sólido disminuye hasta alcanzar el equilibrio. (Fito et., al 2001).

El estudio de la cinética de secado es esencial para un correcto diseño en un proceso de secado que y un buen modelo matemático del proceso de secado ayuda a prevenir ciertos problemas como lo son los daños al producto, consumo excesivo de energía, desgaste del equipo o inclusive la disminución del rendimiento (Olivas et al., 1999).

2.4.3 Transferencia de calor y materia en el secado

Primeramente, la transferencia de calor, es la cantidad que transfiere el calor a medida que un sistema pasa por un proceso, de un estado de equilibrio a otro. Un análisis termodinámico sencillamente nos dice cuánto calor debe transferirse para que se realice un cambio de estado específico con el fin de satisfacer el principio de conservación de la energía. Cuando se desea a aplicar problemas de capacidad nominal tratan de la determinación de la razón de la transferencia de calor para un sistema existente a una diferencia específica de temperatura. Los problemas de dimensionamiento tratan con la determinación del tamaño de un sistema con el fin de transferir calor a una razón determinada para una diferencia específica de temperatura. (Omda et al. 2004)(Stefan-boltzmann and Boltzmann 2007)

Geankoplis, (1998) reportó que la transferencia de calor se genera por un gradiente de temperaturas. La velocidad es proporcional a la diferencia de temperaturas y a las propiedades del sistema de transferencia caracterizado por su coeficiente de transferencia de calor.

$$Q = hA\Delta T \quad (2.3)$$

$$Q = hA(T - T_w) \quad (2.4)$$

Donde:

Q= cantidad de calor (KJ/hr)

h= coeficiente de transferencia de calor (KJ/hr m²°C)

T= temperatura del gas (°C)

T_w= temperatura de la superficie del solido (°C)

A= área del flujo de calor (m²)

El proceso de secado también implica transferencia de materia, la cuál es responsable de la transferencia de vapor del interior de los poros del sólido hasta la superficie. Existen tres maneras por la cual se realiza la transferencia de calor sobre cualquier medio:

□ Conducción

El fenómeno de conducción de calor es un proceso mediante el cual existe propagación de energía entre partículas de un cuerpo en contacto directo teniendo diferentes temperaturas entre sí.

El lector recordará que el calor se transfiere por conducción, convección y radiación. Sin embargo, la masa se transfiere sólo por conducción (llamada difusión) y convección, y no existe algo llamado “radiación de masa” (a menos que haya algo que Scotty sepa y nosotros no, cuando transporta a las personas “a través de un rayo” hacia cualquier parte en el espacio, a la velocidad de la luz) (figura 14-5). La razón de conducción del calor en una dirección x es proporcional al gradiente de temperatura dT/dx en esa dirección y se expresa por la ley de Fourier de la conducción del calor como.

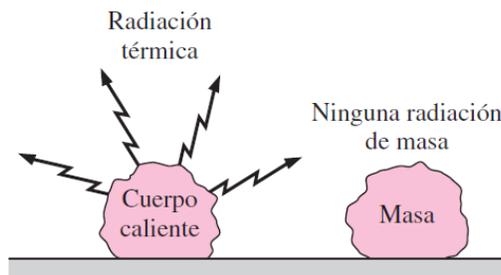


Figura 2.8 La diferencia de la radiación de calor, no hay algo que se pueda llamar radiación de masa.

Donde k es la conductividad térmica del medio y A es el área normal a la dirección de transferencia del calor. De modo semejante, la razón de difusión de masa, $mdif$, de una especie química A en un medio en reposo, en la dirección x , es proporcional al gradiente de concentración $\frac{dc}{dx}$ en esa dirección y se expresa mediante la ley de Fick de la difusión por

$$mdif = D_{AB}A \frac{dc_A}{dx} \quad (2.5)$$

donde DAB es el coeficiente de difusión (o difusividad de la masa) de la especie en la mezcla y CA es la concentración de esa especie en la mezcla en ese lugar.

(Stefan-boltzmann and Boltzmann 2007)

□ Convección

La convección térmica es la transferencia de calor desde una parte de un fluido a otra parte, de baja temperatura, por mezcla de las partículas del fluido. El calor es transportado simultáneamente durante el proceso por convección y conducción.

La diferencia de temperaturas entre el fluido y la superficie de contacto ocasiona una variación de la densidad en el fluido ocasionando un desplazamiento, el movimiento del fluido entonces produce una “convección natural”. Sin embargo, si el movimiento del fluido es debido a fuerzas externas las cuales provocan una diferencia de presiones que es independiente de las diferencias de la temperatura en el fluido, entonces se dice que es “convección forzada”.

La rapidez de transferencia de calor por convección forzada entre un fluido y una superficie limitada puede ser evaluada mediante la siguiente formula:

$$Q = hA\Delta T \quad (2.6)$$

Donde Q es la cantidad de calor, h es el coeficiente de transferencia de calor, ΔT es la diferencia de temperaturas del cuerpo y sus alrededores y A es el área del flujo de calor.

□ Radiación

La radiación térmica es la transferencia de calor de un cuerpo a alta temperatura a otro con baja temperatura por ondas electromagnéticas. La temperatura es transmitida en el espacio en forma de ondas electromagnéticas. La radiación térmica está en el rango del infrarrojo y obedece todas las reglas como la de la luz, es decir viaja en línea recta a través de medios homogéneos y se convierte en calor cuando golpea.

Algún cuerpo, el cual la pueda absorber y es reflejada y refractada de acuerdo con las mismas leyes de la luz.

Transferencia de masa es la difusión que sucede del centro del producto extruido a la superficie del mismo, iniciando a partir de este punto, la remoción de la humedad.

La ley de Fick de la difusión, propuesta en 1855, afirma que la razón de difusión de una especie química en el espacio de una mezcla gaseosa (o de una solución líquida o sólida) es proporcional al gradiente de concentración de esa especie en ese lugar. Aunque una concentración más elevada para una especie significa más moléculas de ella por unidad de volumen, la concentración de una especie puede expresarse de varias maneras. En la Figura 2.9

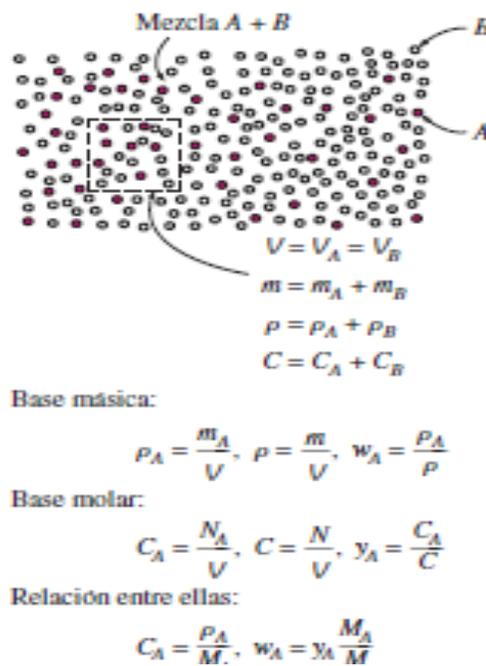


Figura 2.9 Maneras diferentes de expresar la concentración de la especie A de una mezcla binaria de A y B.

Base másica

En una base másica, la concentración se expresa en términos de densidad (o concentración de masa), la cual es la masa por unidad de volumen. Si se considera un volumen pequeño V en un lugar dentro de la mezcla, las densidades de una especie (subíndice i) y de la mezcla (sin subíndice) en ese lugar quedan dadas por

$$\text{Densidad parcial de la especie } i: \rho = \frac{m_i}{V} \quad (2.7)$$

$$\text{Densidad total de la mezcla: } \rho = \frac{m}{V} = \sum \frac{m_i}{V} = \sum \rho_i \quad (2.8)$$

Por lo tanto, la densidad de una mezcla en un lugar es igual a la suma de las densidades de sus constituyentes en ese lugar. La concentración de masa también puede expresarse en forma adimensional en términos de la fracción de masa, w , como

$$\text{Fracción de masa de la especie } i: w_i = \frac{m_i}{m} = \frac{\frac{m_i}{V}}{\frac{m}{V}} = \frac{\rho_i}{\rho} \quad (2.9)$$

Nótese que la fracción de masa de una especie varía entre 0 y 1, y la conservación de la masa requiere que la suma de las fracciones de masa de los constituyentes de una mezcla sea igual a 1. Es decir, $\sum w_i = 1$. Asimismo, obsérvese que, en general, la densidad y la fracción de masa de un constituyente en una mezcla varían con el lugar, a menos que los gradientes de concentración sean cero.

Base molar

En una base molar, la concentración se expresa en términos de concentración molar (o densidad molar), la cual es la cantidad de materia, en kmol, por unidad de volumen. Una vez más, si se considera un volumen pequeño V en un lugar dentro de la mezcla, las concentraciones molares de una especie (subíndice i) y de la mezcla (sin subíndice) en ese lugar quedan dadas por concentración molar parcial de la i :

$$C_i = N_i / V \text{ (kmol/m}^3\text{)} \quad (2.10)$$

Concentración molar total de la especie mezcla:

$$C = N / V = \sum N_i / V = \sum C_i \quad (2.11)$$

Por lo tanto, la concentración molar de una mezcla en un lugar es igual a la suma de las concentraciones molares de sus constituyentes en ese lugar. La concentración molar también puede expresarse en forma adimensional en términos de la fracción molar y como

Fracción molar de la especie i :

$$y_i = \frac{N_i}{N} = \frac{N_i}{V} = \frac{N}{V} = \frac{C_i}{C} \quad (2.12)$$

Una vez más, la fracción molar de una especie varía entre 0 y 1, y la suma de las fracciones molares de los constituyentes de una mezcla es la unidad, $\sum y_i = 1$. La masa m y el número de moles, N , de una sustancia están relacionados entre sí por $m = NM$ (o, para una unidad de volumen, $r = CM$), en donde M es la *masa molar* (también llamada peso molecular) de la sustancia. Esto es de esperarse, puesto que la masa de 1 kmol de la sustancia es M kg, por lo que la masa de N kmol es NM kg. Por lo tanto, las concentraciones de masa y molar están relacionadas entre sí por:

$$C_i = \frac{\rho_i}{M_i} \text{ (para la especie } i) \text{ y } C = \frac{\rho}{M} \text{ (para la mezcla)} \quad (2.13)$$

donde M es la masa molar de la mezcla, la cual puede determinarse a partir de

$$M = \frac{m}{N} = \frac{\sum N_i M_i}{N} = \sum \frac{N_i}{N} M_i = \sum y_i M_i \quad (2.14)$$

Las fracciones de masa y molar de la especie i de una mezcla están relacionadas entre sí por:

$$w_i = \frac{\rho_i}{\rho} = \frac{C_i M_i}{CM} = y_i \frac{M_i}{M} \quad (2.15)$$

En los párrafos anteriores, se presentan dos enfoques diferentes para la descripción de la concentración en un lugar y puede ser que el lector se esté preguntando cuál de ellos es mejor para ser aplicado. Bien, la respuesta depende de la situación en la que se encuentre. Los dos enfoques son equivalentes y el mejor de ellos para un problema dado es el que proporcione con más facilidad la solución deseada. (Stefan-boltzmann and Boltzmann 2007)

2.4.4 Mecanismos de transferencia de humedad

Los mecanismos de transferencia de humedad liquidan son:

Difusión líquida: se puede producir la difusión de la humedad líquida debido a los gradientes de concentración entre las profundidades del sólido, donde la concentración es alta y la superficie donde esta es baja.

Movimiento capilar: la humedad libre en sólidos granulares y poroso tales como arcillas, pigmentos de pinturas y otros semejantes, se traslada a través de capilares e intersticios de los sólidos mediante un mecanismo que utiliza las fuerzas de tensión superficial. Los capilares se extienden desde pequeños receptáculos de humedad dentro del sólido hasta la superficie de secado. A medida que se lleva a cabo el secado al principio de la humedad se traslada por capilaridad hacia la superficie con suficiente rapidez, siendo constante el régimen de secado.

Difusión de vapor: especialmente si se suministra calor a una superficie de un sólido mientras en otra el secado continúa, se puede evaporar la humedad debajo de la superficie, difundiéndola hacia afuera como vapor. También se puede evaporar debajo de la superficie, las partículas de humedad existentes en sólidos granulares en forma aislada de la porción mayor de humedad que fluyen a través de los capilares.

Presión: durante el secado debido a concentración de los mecanismos es el apropiado de los regímenes experimentales de secado.

2.4.5 Transferencia de humedad en el interior del sólido

La humedad se transfiere desde el interior del sólido por difusión, de la superficie al medio que la rodea por convección. Si se hace un balance de materia para el agua en una superficie de control localizada en la superficie del sólido, se llega a la conclusión que la tasa con la cual llega desde el interior necesariamente tiene que ser igual a la tasa con la cual se remueve desde la superficie, pues no se puede acumular. Pero, además, el proceso se complica por desarrollarse en estado transitorio, ya que la concentración del agua en el sólido está continuamente decreciendo. (Superior, Mecanica, and Tesis 2007)

2.4.6 Teoría de la difusión

El principal mecanismo en el secado es la difusión del agua. (Van Brakel J. 1980). La difusión se da en sólidos de estructura fina y en los capilares, poros y pequeños huecos llenos de vapor; el vapor se difunde hacia afuera hasta alcanzar la superficie por donde pasa corriente de aire seco, desgraciadamente esta teoría no tiene en cuenta el encogimiento o casos de endurecimiento. (Van Arsdell N. B. y Copley M. J. 1963).

La ley de Fick se puede expresar como:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} \quad (2.16)$$

Donde X es el contenido de humedad libre; t el tiempo, x es la dimensión espacial y D_{ef} es el coeficiente de difusión.

La solución de la Ley de Fick para diferentes geometrías es como sigue.

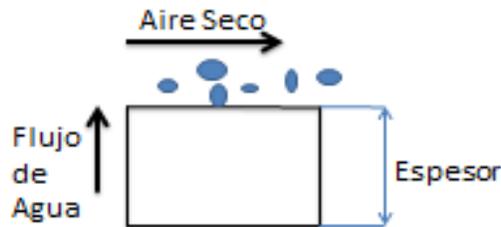


Figura 2.10 Mecanismo de función superficial en el transporte de vapor de agua.

$$\Gamma = \frac{X - X_s}{X_0 - X_s} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{h_n^2} e^{\left(\frac{-h_n^2 \pi^2 D_{ef} L}{4t^2} \right)} \quad (2.17)$$

$$h_n = 2n - 1$$

Cilindro.

$$\Gamma = \frac{X - X_s}{X_0 - X_s} = \frac{4}{r^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\beta_n^2} e^{(-\beta_n^2 D_{ef})} \quad (2.18)$$

Donde X_0 es el contenido de humedad inicial; X_s contenido de humedad en la superficie; L es el espesor de la lámina; r es el radio del cilindro; β_n son las raíces de la función Bessel de primera clase y de orden cero, D_{ef} es el coeficiente de difusión efectiva. (Okos M. R. et al.1992)

Se puede presentar dos posibles situaciones en el producto que se está secando:
 movimiento del líquido: es cuando la densidad de flujo de vapor de agua es función del gradiente de concentración de agua en el producto. El agua líquida alcanza la superficie y se evapora en este punto, como se muestra la figura 2.10

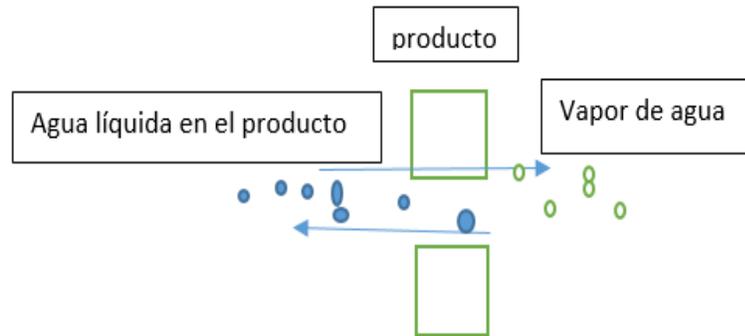


Figura 2.11 Mecanismo de difusión líquida del transporte de vapor de agua.

El movimiento del agua en el producto se puede explicar por medio de la teoría de la difusión de Knudsen (figura 2.11) donde este flujo de agua va a depender del tamaño y cantidad de poros, tortuosidad y geometría del sólido como se presenta en la siguiente ecuación:

$$\frac{dX}{dt} = -\varepsilon\tau\beta\rho D_x \quad (2.19)$$

$$D_k = \frac{2d}{3} = \left(\frac{2RT}{\pi M}\right)^{0.5} \quad (2.20)$$

Donde ε es la porosidad; τ es la tortuosidad; β es un factor geométrico; ρ densidad. D_k es la difusividad de Knudsen; R es la constante universal de los gases, T temperatura; M masa molecular del agua y d diámetro del poro.

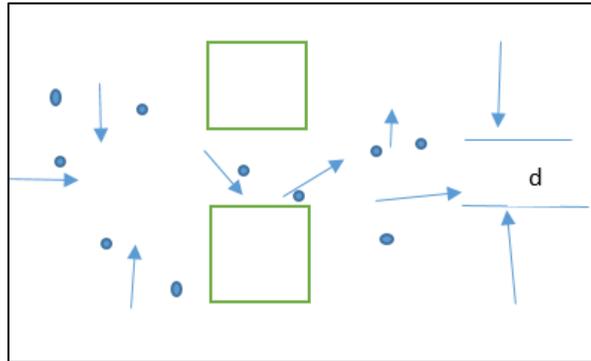


Figura 2.12 Mecanismo de difusión de Knudsen del transporte de vapor de agua.

2.5 Eficiencia de proceso de cesado.

Según criterios termodinámicos la eficiencia puede medirse con el Consumo Energetico Unitario (CEU) (Navarrete y Torres. 2004).

$$CEU = \frac{\text{Energía Consumida}}{\text{Agua Evaporada}} \quad (2.21)$$

Otro criterio es:

$$Efic = \frac{\text{Energía Utilizada}}{(\text{Energía Utilizada} + \text{Energía Perdida en el aire de salida})} \quad (2.22)$$

En el caso que el deshidratador no tenga recirculación podemos plantear en función de las temperaturas.

$$Efic = \frac{(T_1 - T_2)}{(T_1 - T_a)} 100\% \quad (2.23)$$

Donde T_1 es la temperatura del aire a la entrada ; T_2 es la temperatura a la salida y T_a la temperatura del aire ambiente.

En función de las humedades absolutas.

$$Efic = \frac{(w_2 - w_1)}{(w_{2a} - w_1)} 100\% \quad (2.24)$$

Donde w_2 y w_1 son las humedades absolutas a la entrada y salida del secador ($\text{Kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{aire}}$) y w_{2a} es la humedad absoluta del aire en condiciones de saturación adiabática ($\text{Kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{aire}}$).

2.6 Características del mango ataulfo

Una vez analizada nuestra sustancia de trabajo (aire húmedo) se estudian ahora los diferentes tipos de secadores solares para de acuerdo a las características de nuestro producto a secar poder hacer la mejor selección.

El mango ataulfo tiene un peso promedio de 350 grs, una composición de 69 % de pulpa, 19 % cascara y 8.5 % hueso o semilla, la pulpa es consistente firme con muy poco contenido de fibra, con sabor dulce y bajo de acidez, con cascara firme y de color amarillo. Los componentes bioquímicos más importantes de mango corresponden a los caracteres de sólidos solubles totales, azúcares reductores totales y acidez. (Jorge Casteñeda.2003)

En la siguiente tabla se muestra el porcentaje que contiene de humedad el mango fresco y ya estando seco y la temperatura máxima del producto para que no pierda alguna propiedad el alimento.

Tabla 2.4 Contenido de humedad de algunas frutas y temperatura máxima. (Fundación Celestina Pérez de Almada 2005).

Producto:	fresco(%)	seco(%)	°C
Frutas:			
durazno	85	18	n/d
manzana	84	14	50
banana	80	15	70
guayaba	80	7	n/d
uva	80	15 a 20	55
mango	85	12 a 15	65
mamón	85	2 a 15	65
pescado (sin salado)	80	15	40
pescado (con salado)	80	35 a 45	40

2.7 Secadores solares

Que es el secador solar es un dispositivo utilizado para poder deshidratar distintos alimentos para alargar la vida de esos productos y utilizando como fuente de energía la energía solar.

En figura 2.12 se representa el funcionamiento de un secador, tiene una entrada de aire frío que al entrar pasa por calentador solar, calentado el aire frío y al sufrir la diferencia de temperatura tiende a subir para luego pasar por la cámara de secado, subiendo el aire caliente entre las charolas donde se encuentra los alimentos posterior mente un una pequeña abertura libera el aire caliente, para así poder liberar la humedad extraída de los alimentos y no sobre saturarla en la cámara de secado.

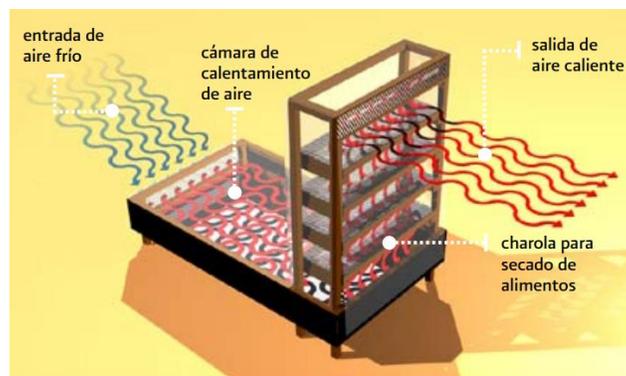


Figura 2.13 Mecanismo de difusión de Knudsen del transporte de vapor de agua.

Existen varias formas de secado con energía solar: (Ktinoja y Kader 1996; Torres y Navarrete 2004).

- Secado natural. Simplemente extendiendo el producto a secar directamente al sol. Es la forma más sencilla y económica de hacerlo, pero la que tiene menos control. Por lo tanto, la calidad del producto es inferior.
- Secado natural mejorado. Aquí se mejora en algo la técnica, utilizando esteras sobre el nivel del suelo para mejorar la transferencia de calor entre

aire y producto, bandejas y otros medios simples. Pero esencialmente el producto se seca por efecto de la radiación solar y el aire ambiente.

- Secado solar tecnificado o artificial. Aquí se utiliza un secador solar, que es una instalación en la cual se realiza el secado.

Desde el punto de vista general se puede distinguir secadores solares directos, indirectos de tiro natural o forzado y mixto. Esta nomenclatura distingue la forma en que se transfiere la energía entre el producto y el entorno que lo rodea.

- Secadores directos: (figura 2.14) el producto está en una cámara y recibe directamente la radiación solar. Al absorber la misma, su temperatura sube, aumentando la presión de vapor del agua del producto y el aire remueve la humedad. Al haber poca circulación de aire, las temperaturas tienden a subir mucho y es probable que se produzca el deterioro del producto.



Figura 2.14 Secador solar directo. Foto de internet.

- Secadores indirectos de tiro natural: (figura 2.15) el producto está en una cámara de secado opaca y no recibe directamente la radiación solar. El aire se precalienta en colectores solares y pasa a la cámara de secado por el efecto termosifónico, este le transfiere calor al producto secándolo. Tienen la ventaja de que el producto está protegido de la radiación y se puede controlar la temperatura y la calidad del producto final.



Figura 2.15 Secador indirecto con circulación natural.

Secadores indirectos de tiro forzado. (figura 2.16) el principio de funcionamiento es parecido al de tiro natural lo único que en este el movimiento del aire dentro del secador es gobernado por ventiladores y no por efecto termosifónico.



Figura 2.16 Secador indirecto con circulación forzada.

- Secadores mixtos: (figura 2.17) aquí se combinan los dos anteriores. Aquí el producto absorbe radiación, pero también hay una convección mucho más activa. Así que las temperaturas son bajas y la remoción de humedad muy efectiva.



Figura 2.17 Secador Solar Mixto.

Si se quisiera fabricar un secador para hierbas aromáticas como es el caso del Té Limón, el ideal sería un sistema indirecto con control estricto de temperatura y humedad de aire. La temperatura no debe superar los 60°C como ya se analizó y se debería usar recirculación de aire con esta misma finalidad.

Pero debe quedar claro que no existe una tecnología óptima, la solución tecnológica que uno adopte dependerá del tipo de producto a secar, condiciones ambientales y los volúmenes a procesar en la temporada de utilización.

2.8 Conclusión.

Con la fundamentación teórica descrita en este capítulo se alcanza a comprender los capítulos posteriores, se podrá hacer un análisis de resultados con una fundamentación teórica y científica y así comprender el comportamiento de variables en el diseño, construcción y modelación del secador solar para el deshidratado del mango.

Se hace un estudio extenso de la teoría del secado, se definen conceptos importantes como contenido de humedad, actividad del agua, difusividad, se estudian los tipos de secadores solares, sus características más importantes. Se le dedica un espacio importante a nuestra fuente de calor. Con esta información previa se puede pasar a la descripción de los métodos empleados para lograr los objetivos planteados.

3 METODOLOGÍA

3.1 Introducción

La metodología descrita en la presente tesis, va cumpliendo a los objetivos particulares que fueron propuestos para realizar con cada una de las actividades, para finalizar con el objetivo general.

Se describirá las áreas de estudio, para poder comprender las características de la zona donde se llevará a cabo la investigación.

Es importante conocer cómo se cumple cada una de las tareas seguida de cada uno de los resultados que se obtienen. Desde un diseño, construcción, evaluaciones en diferentes condiciones y la propuesta al ejidatario.

3.2 Área de investigación. Municipio Tonalá, Chiapas, México.

La palabra Tonalá significa en náhuatl "Lugar Caluroso". Tonalá es una ciudad al sudoeste de Chiapas y cabecera de la región IX Istmo-Costa; considerada la tercera ciudad en importancia económica del estado; se encuentra asentada en la transición de la Llanura Costera del Pacífico y la Sierra Madre de Chiapas. Posee un estilo muy propio, con construcciones estilo doméstico costeño, cuyo crecimiento demográfico avanza rápidamente y cuya vida social gira en torno al parque central, el cual está adornado por una estela "Tlaloc" de influencia teotihuacana. Como por proveer a la capital del estado de una abundante producción de pescados, moluscos y mariscos, además de ser centro de una de las principales regiones ganaderas de Chiapas y poseer una próspera industria turística en desarrollo.

Se encuentra ubicado en los límites de la sierra madre y de la llanura costera del pacífico, Latitud 16° 05' 22N y Longitud 093° 45' 05 W, se ubica a una altitud de 60 metros sobre el nivel del mar, capital del estado. Colinda al Norte con los municipios de Villaflores y Arriaga, al Este con Villa Corzo, al Sur Pijijiapan, al Oeste con el Océano Pacífico.

El clima es cálido subhúmedo en las partes bajas y semicálido húmedo en altitudes mayores de 2,000 metros. La vegetación original es de selva baja y bosque de encino-pino. Los principales ríos y arroyos son: Jesús, Pedregal, Quetzalapa, Pando Agua Dulce, Guadalupe, Zanatenco, Amatillo, Tiltepec, Cristalino, Los Limones y el Ríto. Estas corrientes no desembocan directamente en el mar sino en esteros como el San Francisco y Albuferas como Las Lagunas, La joya, Buenavista, La Polka, Cabeza de Toro, Capulín, Piñuelos y el Mar muerto.

En la figura 3.1 podemos observar la radiación incidente sobre el municipio de Tonalá Chiapas, con una incidencia de 4.693 kwh por día y aproximadamente 6 horas de radiación al día. Con esto podemos saber que el ejido San Miguel es un buen lugar para instalar un secador solar.

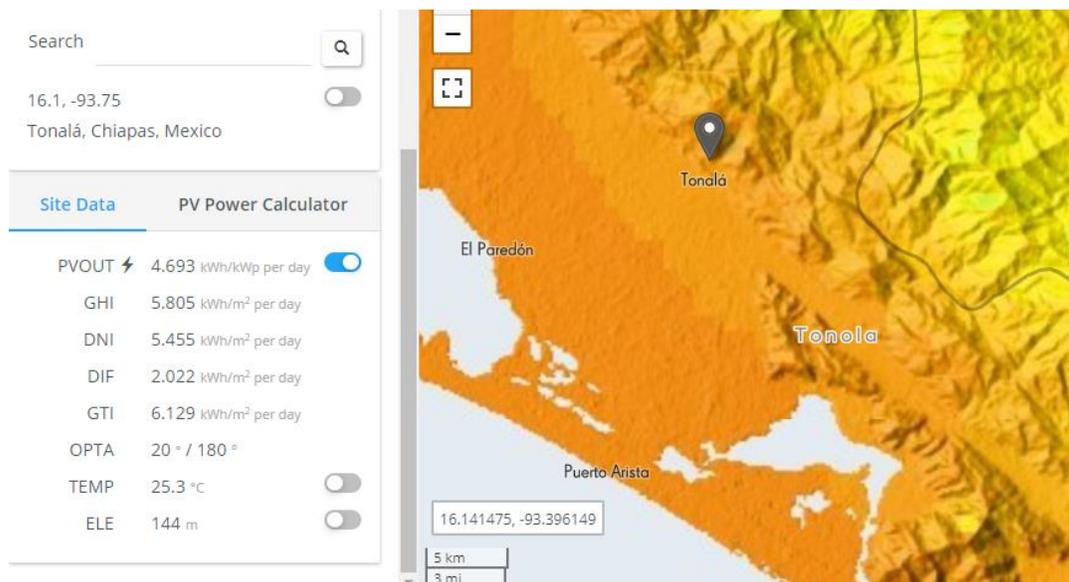


Figura 3.1 Radiación incidente en el municipio de Tonalá Chiapas, México.

Su extensión territorial es de 1,867.72 km², lo que corresponde al 38.04% de la superficie de la región Istmo-Costa y al 2.34% de la superficie total del estado.



Figura 3.2 Ubicación de Tonalá, Chiapas en el mapa (INEGI).

3.3 Proceso de investigación

Se formará el proceso de investigación con los objetivos específicos ya planteados de tal forma que ellos se cumplan.

3.3.1 Diseño de un secador solar

Para realizar el diseño del secador solar se realizará los siguientes puntos.

1. Determinación del recurso energético.

Existen dos maneras de poder determinar la radiación solar:

- 1) A través de mediciones puntuales meteorológicas que está instalada en el lugar de estudio. Siendo una medición directa.
- 2) Haciendo cálculos teóricos según modelos matemáticos de Hottel (1976) que se describe más adelante. Con este modelo matemático se puede predecir la radiación solar total que cae sobre cualquier lugar en la tierra y cualquier día.

La radiación total o global tiene dos componentes la radiación directa y la difusa, además existe una radiación que se refleja desde cualquier superficie de la tierra llamada de albedo, pero generalmente es tan pequeña que se puede despreciar incluso si el suelo es altamente reflejante.

La radiación directa (G_{dir}): se conoce como radiación directa, o rayo, a la radiación recibida del sol que no ha sido absorbida ni dispersada. La radiación solar se mide fuera de la atmosfera s en si totalidad radiación directa, ya que no hay presencia de cuerpo o fenómenos que modifiquen su trayectoria. Sin embargo, cuando los rayos del sol cruzan la atmosfera, una parte de ellos son absorbidos o dispersados y el resto tocar la superficie terrestre en forma directa.

$$G = G_{dir} + G_{dif} \quad (3.1)$$

Radiación directa (G_{dir}). Esta se determina por:

$$G_{dir} = \mu e^{(-\tau/\mu_0)} G_{sc} \quad (3.2)$$

Dónde G_{sc} es la constante solar (W/m^2); μ es un valor que depende del ángulo de incidencia de la radiación solar sobre la superficie.

$\mu = \cos \theta$ Donde θ es el ángulo de incidencia de la radiación solar.

$\mu_0 = \cos \theta_z$ Donde θ_z es el ángulo cenital.

τ es el factor de claridad de la atmósfera o trasmisividad que a su vez tiene dos componentes, la trasmisividad directa (τ_b) y difusa (τ_d), que se determinan por:

Trasmisividad directa (τ_b) en función del ángulo cenital (θ_z).

$$\tau_b = a_0 + a_1 e^{\left(\frac{-k}{\cos \theta_z}\right)} \quad (3.3)$$

Donde a_0 , a_1 y k son parámetros empíricos los cuales se calculan como sigue:

$$a_0 = r_0 [0.4237 - 0.00821(6 - A)^2] \quad (3.4)$$

$$a_1 = r_1 [0.5055 + 0.00595 (6.5 - A)^2] \quad (3.5)$$

$$k = r_k [0.2711 + 0.01858 (2.5 - A)^2] \quad (3.6)$$

El parámetro A es la altura sobre el nivel del mar de la localidad en Kilómetros.

Tabla 3.1 Valores de r_0 , r_1 y r_k en dependencia del tipo de clima.

Clima	r_0	r_1	r_k
Tropical	0.95	0.98	1.02
Verano, Latitud media	0.97	0.99	1.02
Verano, Subartico	0.99	0.99	1.01
Invierno, Latitud media	1.03	1.01	1.00

Trasmisividad difusa (τ_d) en función de la trasmisividad directa

$$\tau_d = 0.271 - 0.2939\tau_b \quad (3.7)$$

Radiación Difusa

$$G_{dif} = [(1+\cos\beta)/2] + \uparrow G_{dif} + [1-\cos\beta]/2 \downarrow G_{dif} \quad (3.8)$$

$\uparrow G_{dif}$ y $\downarrow G_{dif}$ son valores de radiación reflejadas por la atmósfera y por el piso respectivamente que se determinan como por un modelo matemático (Navarrete y Torres 2009).

Radiación reflejada por la atmosfera

$$\uparrow G_{dif} = G_{sc} \mu_0 \left[\frac{1}{1+\zeta} (\zeta e^{\partial^+ \tau} + e^{\partial^- \tau}) - e^{-\frac{\tau}{\mu_0}} \right] \quad (3.9)$$

Donde μ_0 es un factor que depende del ángulo de inclinación ya visto; ζ es un factor que depende de la absorbancia y reactancia de los alrededores

$$\zeta = \left[\frac{\partial^- + A - B\phi}{\partial^+ + A - B\phi} \right] e^{(\partial^- - \partial^+)t} \quad (3.10)$$

∂^\pm es un factor que está en función del coeficiente de reflexión del suelo

$$\partial^\pm = \frac{1}{2}(C - A) \pm \frac{1}{2}[(C + A)^2 - 4BD]^{\frac{1}{2}} \quad (3.11)$$

$$A = \frac{2-\omega_0}{2\mu_0} \quad (3.12)$$

$$B = \omega_0 \quad (3.13)$$

$$C = 2 - \omega_0 \quad (3.14)$$

$$D = \frac{\omega_0}{2\mu_0} \quad (3.15)$$

Donde ϕ es un coeficiente de reflexión del suelo; ω_0 es el factor de reflexión de la atmosfera, va desde $\omega_0 = 1$ para atmosferas completamente dispersantes y $\omega_0 = 0$ para atmosferas completamente absorbentes.

Radiación reflejada por el suelo

$$\downarrow G_{dif} = \phi G_{sc} \mu_0 \left[\frac{1}{1+\zeta} (\zeta e^{\partial^+ \tau} + e^{\partial^- \tau}) \right] \quad (3.16)$$

Con este modelo descrito se puede hacer el cálculo teórico del recurso energético en la zona de estudio.

2. Características del mango ataulfo.

El mango ataulfo tiene un peso promedio de 350 grs, una composición de 69 % de pulpa, 19 % cascara y 8.5 % hueso o semilla, la pulpa es consistente firme con muy poco contenido de fibra, con sabor dulce y bajo de acidez, con cascara firme y de color amarillo. Los componentes bioquímicos más importantes de mango corresponden a los caracteres de solidos solubles totales, azucares reductores totales y acidez. (Jorge Casteñeda.2003)

En la siguiente tabla se muestra el porcentaje que contiene de humedad el mango fresco y ya estando seco y la temperatura máxima del producto para que no pierda alguna propiedad el alimento.

Tabla 3.2 Contenido de humedad de algunas frutas y temperatura máxima tolerable (UNESCO,2005).

PRODUCTOS	FRESCOS(%)	SECO(%)	°C
Durazno	85	18	n/d
Manzana	84	14	50
Banana	80	15	70
Guayaba	80	7	n/d
Uva	80	15 a 20	55
Mango	85	12 a 15	65

3. Calculo de la demanda energética (W_a)

La cantidad de agua a eliminar en un tiempo t (h) durante el secado es.

$$W_a = W_0 \left[\frac{(M_{wb1} - M_{wb2})}{(1 - M_{wb2})} \right] t \quad (3.17)$$

Donde W_0 es el peso inicial del material a secar (Kg); M_{wb1} es la humedad base húmeda en el estado inicial y M_{wb2} es la humedad base húmeda en el estado final ambas en (Kg agua / Kg prod húmedo).

Esta ecuación también se puede poner en función de la humedad base seca.

$$W_a = W_d \left[\frac{(W_{db1} - W_{db2})}{(1 - W_{db2})} \right] t \quad (3.18)$$

Donde W_d es el peso de materia seca (Kg); W_{db1} y W_{db2} son las humedades base húmeda (Kg agua / Kg producto seco) en el estado inicial y final respectivamente.

El consumo de aire en (Kg/s)

$$m_a = \frac{W_a}{W_2 - W_1} \quad (3.19)$$

Donde W_2 , W_1 son las humedades absolutas del aire al pasar del estado 1 (entrada) al 2 (salida) en el proceso de secado.

La energía demandada

$$Q_a = m_a (h_2 - h_1) \quad (3.20)$$

Donde Q_a es la energía consumida en la evaporación de la humedad del producto; h_1 y h_2 son las entalpías del aire al pasar del estado 1 (entrada del aire a la cámara de secado) al 2 (salida del aire una vez atravesada la capa de producto) en (Kj / Kg aire seco).

4. Seleccionar el tipo de secador

Ya conociendo las propiedades del fruto podremos seleccionar el tipo de secador de acuerdo conforme a las características del mango primordialmente la temperatura máxima tolerable y el contenido de humedad que tiene en fresco y la humedad equilibrio. El secador que se propone constará de partes fundamentales que conforma de un colector solar y una cámara de secado para ello se tiene que realizar los cálculos de diseño, para obtener el equipo conforme a las características del mango.

5. Dimensionado de la superficie de captación y de la cámara de secado.

1.- Área de secado en el interior de la cámara.

El área efectiva para el secado (A) se obtiene por. (Forson F.K. et al. 2007).

$$A = \frac{W_w}{\rho * h_l * \xi (1 - \epsilon_v)} \quad (3.21)$$

Donde ρ es la densidad del producto en condiciones húmedas, W_w es la masa inicial (Kg). El mango tiene una densidad de 1057.8 Kg/m^3 (Victoria Benítez. 2006), h_l es el espesor óptimo de la capa de producto en la bandeja (m); ξ es la porosidad del producto ($\xi = 0.066$) (Misael cortés rodriguez.2007). ϵ_v es la fracción de la bandeja que queda vacía. Por los arreglos en que se situó el mango en las Bandejas ($\epsilon_v = 0$).

2.- Área de captación solar (lamina negra).

El área de captación de un colector solar está relacionada con su eficiencia térmica (η) que viene dada por la ecuación. (Forson F.Kc. et al. 2007).

$$\eta = \frac{M_w * L_t}{I_t * A_c * t} \quad (3.22)$$

Donde A_c es el área total de captación. I_t es la energía incidente sobre el secador (W/m^2). (M_w) corresponde la cantidad de humedad que se desea eliminar mostrada en la ecuación 3.22. Siendo necesaria extraer la humedad al producto para llevarlo a la humedad final (humedad de equilibrio) siendo precisa para el cálculo del flujo de la masa total de aire necesaria para el secado.

$$M_w = \frac{W_w(M_{iwb} - M_{fwb})}{(1 - M_{fwb})} \quad (3.23)$$

Donde M_{iwb} humedad inicial base húmeda (%) y M_{fwb} es la humedad final (%).

El valor del calor latente de evaporación se puede estimar mediante la siguiente expresión (Liley P.E y Gambill W.R 1973).

$$L_t = R_g T_c T_b \ln \left(\frac{P_c}{10^5} \right) \left[\frac{(T_c - T_{pt})^{0.38}}{(T_c - T_b)^{1.38}} \right] \quad (3.24)$$

Donde R_g es la constante de los gases para el vapor de agua ($R_g = 461 J/Kg K$); T_b el punto de ebullición del agua (K); P_c es la presión crítica del agua (Mpa); T_{pt} es la temperatura promedio del producto (K) y T_c es la temperatura crítica del agua (K).

Al valor calculado por la ecuación 3.4, se le debe incrementar entre un 10 y un 20 % recomendado en la literatura (Johnson H.K, Dale A.C 1974). Sugerido (15 %)

La temperatura promedio del producto durante el secado se puede estimar como la media ponderada de las temperaturas T_o y T_a .

$$T_{pt} = 0.25 (3T_o + T_a) \quad (3.25)$$

Donde T_a es la temperatura promedio del aire ambiente (K).

T_0 es la temperatura del aire que sale del colector(K).

Para poder obtener la temperatura que sale del colector tenemos que calcular el aumento de la temperatura del aire respecto al ambiente ((Macedo I.C, Altemani C.A.C. 1978) es:

$$\Delta T = 2\beta(T_b - T_c) \left(\frac{I_t}{I_0}\right) \quad (3.26)$$

$$\Delta T = T_0 - T_a \quad (3.27)$$

β es un parámetro adimensional que esta entre 0.14 – 0.25: Óptimo $\beta = 0.20$. (Macedo I.C, Altemani C.A. 1978); $(T_b - T_c)$ es la diferencia de temperatura entre el punto de ebullición y de congelación del agua presión atmosférica (100°C); I_t es la intensidad de la radiación incidente promedio sobre el plano del colector (500 W/m²); I_0 es la constante solar (1367 W/m²).

El caudal de aire se calcula a partir de la relación.

$$m_a = V_a/t \quad (3.28)$$

Donde t es el tiempo total necesario para el secado de una muestra dada de material húmedo hasta su humedad de equilibrio.

V_a es el volumen total de aire necesario, para la eliminación de la humedad se evalúa a partir de la ecuación. (Forson et al. 2007).

$$V_a = \frac{M_w L_t R_a T_a}{C_{pa} P_a (T_0 - T_f)} \quad (3.29)$$

Donde R_a es la constante de los gases ideales ($R_a = 283 \text{ Kj/Kg K}$); P_a es la presión parcial del aire seco en la atmósfera; C_{pa} es el calor específico del aire a presión constante ($C_{pa} = 1005 \text{ J/Kg K}$) y T_f es la temperatura promedio del aire que sale de la cámara de secado (K).

Otras consideraciones del diseño.

El dimensionado de la cámara de secado estará en dependencia en el área de secado que sea necesaria para llevar el producto a la humedad correspondiente del mango seco, se tomara en cuenta el espesor del producto, de igual manera correspondiente al tipo de corte que se desea elaborar se elegirá el tipo de bandeja de tal manera que el aire caliente que circule este en contacto directo con el producto.

El colector solar está colocado en la parte frontal de la cámara de secado, consta de una lámina negra y a una altura de 10 cm se encuentra como una segunda chapa negra y luego se encuentra a 10 cm sobre de ello una cubierta de vidrio que tiene como función con la lámina negra producir el efecto invernadero con el objetivo de captar la energía solar, el colector solar cuenta con abertura frontal para que el flujo de aire pueda pasar por la lámina negra y sea calentado para que posteriormente pase por la cámara de secado. Para realizar su diseño se tomó en cuenta la latitud terrestre.

6. Diseño tridimensional

Para nuestro diseño tridimensional utilizaremos un programa llamado sketchup ya que es un programa de fácil de manipular y es representativo en 3D asiendo visible las dimensiones del equipo diseñado.

SketchUp es un programa de diseño gráfico y modelado en tres dimensiones (3D) basado en caras. Para entornos de planificación urbana, arquitectura, ingeniería civil, diseño industrial, diseño escénico, GIS, videojuegos o películas. Es un programa desarrollado por Last Software, empresa adquirida por Google en 2006 y finalmente vendida a Trimble en 2012.

Para poder realizar el diseño en 3D realizamos una investigación previa de trazos cúbicos, y formar partes de huecas para la parte de la entrada del aire caliente y por donde va transcurriendo, de igual manea para, obtener un diseño de medidas de la distribución de las bandejas de acuerdo al área calculada, también trazar el colector calculado, tomando en cuenta la inclinación correspondiente a la zona de evaluación y la zona de extracción de humedad.

3.3.2 Selección de materiales de calidad

Para poder hacer la selección de materiales se toma en cuenta la norma 251 oficial mexicana, que sean materiales de fácil acceso y de menor costo.

Para el aislante se utiliza la espuma de poliuretano dado que tiene una elevada capacidad aislante debido a la baja conductividad térmica que posee el gas espumante de sus células cerradas, que puede situarse en $10\text{ }^{\circ}\text{C} = 0.022\text{ W/m K}$ según la norma UNE 92202 aunque este valor se eleva ligeramente con el paso del tiempo, hasta estabilizarse definitivamente. Se utiliza este producto por la durabilidad y la conducción térmica que se considera baja, por ser un producto parcialmente económico, fácil acceso y manipulación al realizar la construcción.

Para la cubierta exterior de la cámara de secado se utilizó la lámina galvanizada lisa. Esta lamina consta de un recubrimiento de Zinc así protegerla de la oxidación; al igual que cuentan con una Lámina protectora debidamente zunchada que protege el material de golpes y de agentes fuertes de corrosión. se elige este material por ser económico y fácil acceso.

Las bandejas se construyeron con mallas galvanizadas y el contorno con tubulares de acero inoxidable. Este diseño de bandejas se realizó por ser bastante económico a comparación de las bandejas utilizadas para cocina (panaderas), por ser de muy fácil acceso y manipulación de ellas.

3.3.3 Construcción de un secador solar

El diseño del prototipo de secadero solar tiene como elementos asociados el colector solar de aire de placa plana que constituye a su vez de la parte frontal de la cámara, la cámara de secado con las bandejas para el producto a secar y el sistema de circulación de aire. Se utilizaron tubulares de una pulgada de hierro para la estructura general. Para la construcción del colector (calentador de aire) se usaron láminas de acero pintadas de negro mate y la cubierta del colector es de vidrio comercial, la placa ondulada se pone intermedio de la placa inferior y la

cubierta, así la cámara de secado gana energía por el aire que circula entrando en el colector y por radiación desde el techo.

Todas las paredes del secador que constituyen la cámara de secado fueron fabricadas de muros laminados con inyección de poliuretano (multimuro), las paredes son soldadas entre sí, las puertas están sujetas por bisagras que abrirán hacia afuera garantizando la carga y descarga del secador. Para las juntas se usó hule y para hermetizar el colector silicona.

3.3.4 Evaluar e dispositivo de secado con y sin producto en las instalaciones de la UNICACH

3.3.4.1 1. Evaluación en vacío.

Esta evaluación demuestra el comportamiento termodinámico del secador y así valorar el comportamiento de las propiedades de la sustancia de trabajo (aire) a su paso por el secador como temperatura y humedad relativa.

Esta evaluación se llevó a cabo con dispositivos que midieran radiación, temperatura, humedad y peso. Se realiza las mediciones con termopares del dispositivo MEASUREMENT COMPUTING usb-temp para poder conocer la temperatura dentro del secador durante el proceso de monitoreo ubicando los termómetros en 3 niveles en la zona de captación de energía (colector) y 3 en la cámara de secado el primero es en la entrada de flujo de aire, segundo parte media de la cámara y el tercero parte superior siendo la zona de extracción de humedad de la chimenea. Al mismo tiempo se registró las variaciones de la humedad del aire dentro de la cámara y del colector midiendo con el mismo dispositivo. Además, se realiza registro de radiación con un pirómetro en tres puntos del área de captación por cada 5 minutos. Al mismo tiempo un registro de la estación meteorológica registrada los parámetros ambientales como la humedad relativa, temperatura ambiente, velocidad del viento exterior, así como la radiación solar incidente.

2. Evaluación con carga.

Esta prueba ofrece la variación de la humedad del producto con el tiempo (curva de secado) en dependencia del comportamiento de las variables que intervienen en el proceso, se determinará la humedad de equilibrio del mango y la temperatura que se logra en la cámara para realizar el secado.

En esta evaluación se realiza los siguientes pasos.

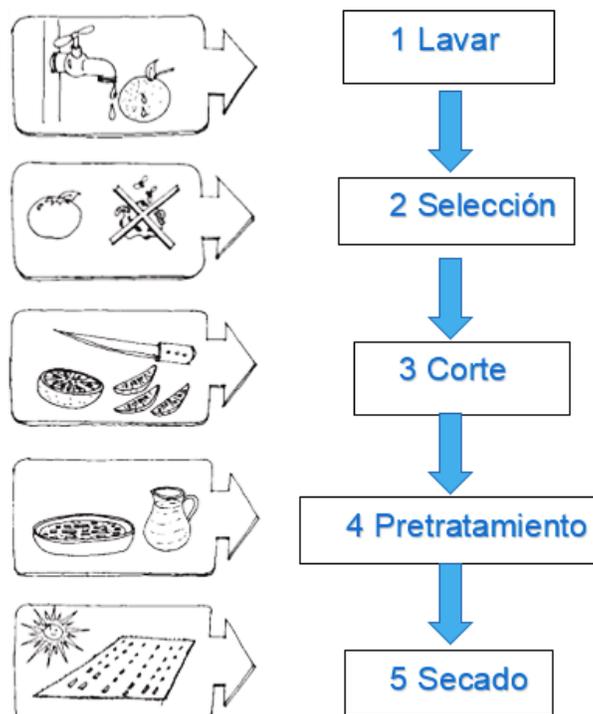


Figura 3.3 Proceso de secado.

1. Como primer paso se realiza el lavado de los productos utilizando guantes y así dándole más higiene al producto.
2. Se realiza una selección de los productos maduros o productos que ya no puedan ser utilizados, los productos golpeados (magullados) se realiza un corte así desechando solo la parte lastimada de la fruta y así poder usar el resto bueno del producto.

3. Se realiza los cortes en rodajas con un rallador de repollo tratando de utilizar la mayor pulpa posible con un espesor aproximadamente de un milímetro y para poder extraer el resto de la pulpa de la semilla se realizó cortes tipo juliana así aprovechando toda la pulpa.
4. El pretratamiento se realiza haciendo una mezcla de agua con 20% de cítrico en el recipiente de la mezcla se deja caer la pila y se deja reposar por 10 minutos.
5. Para realizar el secado se coloca la pila en las bandejas dejando un centímetro de separación entre las rodajas para que pueda circular el aire caliente.

Durante todo el proceso se utilizó guantes de lates, bata y cubre boca para cuidar la higiene del producto no contaminando el producto.

Para poder obtener la curva de secado se cortaron muestra que tuvieran el mismo peso y así poder saber el proceso de secado del producto, pesando el producto de un inicio, posteriormente sacar una muestra del secador, se toma el dato del peso del producto, mirando el aspecto visual de la muestra y se realiza así sucesivamente hasta que el producto se encuentre parcialmente seco.

Herramientas de medición a utilizar.

Termopares: para medir temperatura, se colocaron en la cámara de secado, placa adsorbadora, chimenea salida del aire húmedo de la cámara al ambiente y dentro del producto. Son termopares de tipo "K" que tienen un rango de medidas de -210°C a 1372°C del dispositivo Measurement computing usb-tem.

Sensor de exteriores: marca HT-163 barométrica presión temperatura humedad datos registrador USB termómetro higrómetro barómetro. Registra en los alrededores temperatura ambiente, humedad relativa del aire, (parámetros exteriores). Los rangos de medición de temperatura: -40 a 105 °C (-40 a 221°F), rango de medición de humedad: 0% RH a 100% RH.

Balanza Digital: Registra las variaciones de peso de la muestra en el tiempo. Teniendo una capacidad de 100g, resolución 0.001g, el tiempo de lectura menor de 1.2 segundos y con una alimentación de 220v/50hz.

Humedad: HD11, con un rango de 0 a 100% de humedad relativa con un margen de error $\pm 5\%$.

En las dos evaluaciones se realizó la captura de datos de forma manual en intervalos de 5 minutos.

3.3.5 Evaluación de prototipo en campo

Para realizar la evaluación en campo se transporta el prototipo al municipio de Tonalá, Chiapas, se acomoda el prototipo en una zona de los cultivos donde no obtenga sombra en el transcurso del día para poder tener el mejor funcionamiento.

Para la evaluación en vacío se le realiza una limpieza al prototipo y se realiza el montaje de los sensores de igual manera que las evaluaciones realizadas en el CIDTER y cada mañana se le realiza una limpieza al cristal del colector solar ya que la zona donde se encuentra el prototipo tiene una alta velocidad de aire.

Para la evaluación con carga se interactuó con las personas del ejido ensañándoles el proceso de preparación e higiene que se debe de tomar al trabajar con el producto. Y se coloca de la misma manera los sensores de medición tanto en la cámara de secado y en el colector solar.

3.3.6 Realizar propuesta final al ejido

De acuerdo a la investigación realizada y a las evaluaciones de campo hechas podemos culminar el trabajo con la propuesta de un secador solar caracterizado para el ejido, esto último es de suma importancia puesto que es posible que un solo secador sea suficiente pero inviable económicamente por su construcción, por lo que se a futuro podría implementarse una flotilla de secadores solares.

3.4 Conclusión

En este capítulo se describe el área de estudio. Luego se explica exhaustivamente el diseño investigativo, donde se expone la metodología de cómo se va resolver todas las tareas que conforman los objetivos específicos.

Se expone la metodología para el diseño y construcción así realizando los cálculos para el diseño del prototipo y tomando en cuenta otros factores del diseño tanto la selección del material, seleccionando el tipo de secador a utilizar, para que posteriormente se muestre en SketchUp y poder visualizar el diseño.

Se explica cómo se lleva a cabo la evaluación del prototipo de secador tanto en vacío como con carga y la evaluación que se realizó en el campo.

Finalmente se anuncia la propuesta de un secador de tamaño tal que satisfaga la demanda de deshidratado del mango que se produce en el ejido de San Miguel Tonalá, Chiapas.

4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Introducción

Una vez definida toda la metodología a usar en esta investigación queda expresar los resultados de cada una de las tareas que se propusieron.

En orden cronológico se presentan los resultados de cada una de las tareas que conforman a su vez los objetivos específicos comenzando con los resultados del diseño y construcción del prototipo de secado, definiéndose las dimensiones del prototipo y los materiales para su construcción. También se exponen los resultados de las evaluaciones del prototipo, donde se determinan el comportamiento termodinámico del secador.

Para terminar el capítulo se hace la propuesta de una instalación de secado de mango que dé respuesta a la solución al problema planteado en esta investigación.

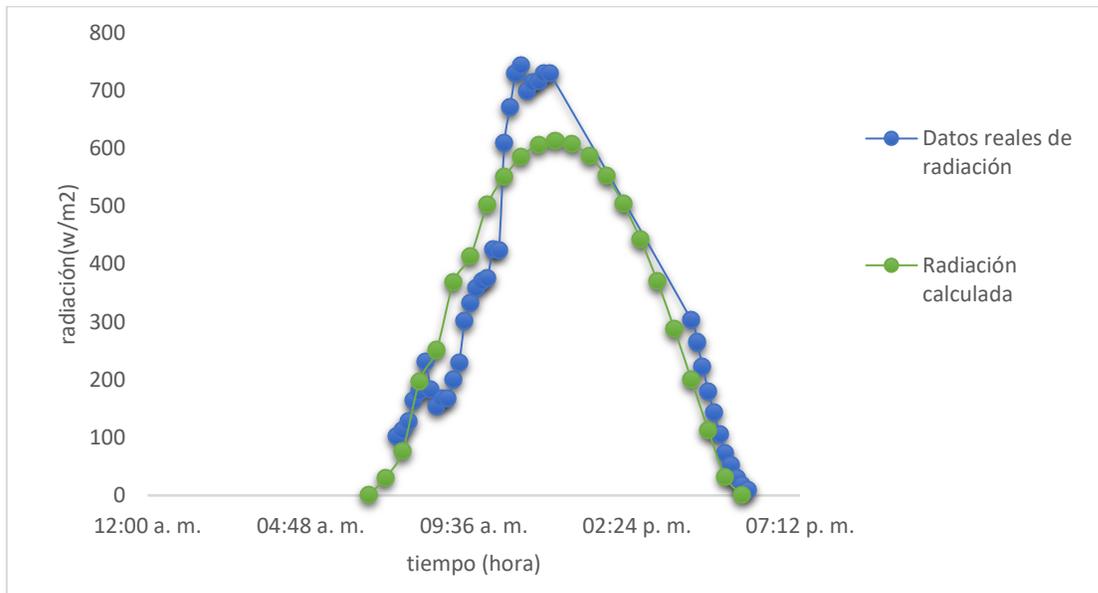
4.2 Diseño y construcción del prototipo

4.2.1 Determinación de recurso energético

Como es conocido la radiación total que llega a la superficie de la tierra es la suma de dos componentes la que llega de forma directa y las que incide después de haber sido reflejada, desviada y refractada por los diferentes componentes atmosféricos llamada difusa, en este estudio se despreció por su bajo valor la radiación de Albedo. El modelo Hottel fue descrito en el acápite 3.3.1 Para obtener la radiación diaria promedio de Tuxtla Gutiérrez se toman los datos que arrojó la estación meteorológica ubicada en el CIDTER-UNICACH.

En la Grafica 4.1 se aprecia la variación de la radiación solar durante un día de experimentación. La mayor radiación se alcanza entre las 11.00 horas y las 15.00 horas manteniéndose en este horario por encima de los 600 W/m^2 ; ese día (27 de mayo) el promedio fue de 520 W / m^2 , considerado un nivel alto de radiación en el día solar. Se elaboró un programa en Excel expuesto en el Anexo # 1 que simula la

radiación por el modelo Hottel. Donde los datos calculados corresponden a la curva verde y la azul a la estación meteorológica.



Grafica 4.1 Radiación incidente en Tuxtla Gutiérrez.

4.2.2 Dimensiona de la superficie de captación y la cámara de secado

En la revisión del diseño de secadores solares se puede encontrar diferentes trabajos publicados, presento una teoría básica para el diseño de Secadores indirectos de tiro natural, muchos secadores se comercializan han sido diseñados basados bajo una base empírica de experimentación, aunque estas teorías sean todas validas no es hasta que se hace un estudio experimental del diseño y así conozcan el desempeño termodinámico del prototipo de secador que se podrá decir que es efectiva o eficaz y que se ha cumplido con los principios básicos para lo cual se diseñan los secadores.

Para los cálculos del diseño fueron descritos en el capítulo 3, según dicha metodología los resultados principales fueron:

- Para el área de secado se utiliza la ecuación 3.21.

El resultado obtenido corresponderá el área de las bandejas que será el área necesaria para llevar al mango hasta su humedad de equilibrio siendo el resultado $A=1.43 \text{ m}^2$.

- Para la evaporación de agua en el mango se calcula con la ecuación 3.23, la cantidad de masa a evaporar en el mango es $M_w= 0.77 \text{ kg}$.
- El aumento estimado de temperatura del aire al pasar por el colector solar según la ecuación 3.26 es como promedio $10 \text{ }^\circ \text{C}$
- El área de captación solar dada la ecuación 3.22 es de $A_c = 1.2 \text{ m}^2$
- El secador tiene una eficiencia térmica del 45%.
- Según la experimentación el tiempo de secado fue alrededor de 6 horas.
- El volumen de aire para la evaporación de dicha humedad es de $V_a = 1.76 \text{ m}^3$ según la ecuación 3.29.

4.2.2.1 Otras consideraciones de diseño.

Teniendo en cuenta el dimensionado y habiendo definido el tipo de secado para el desarrollo del trabajo de investigación se hacen algunas consideraciones de diseño final.

- El área de captación solar es de 1.2 m^2 , por tanto, se diseña el colector con medidas de 1.5 m por 0.80 metros teniendo una inclinación de la superficie de captación de 17° . Las dimensiones de la placa absorbidora serán las mismas aproximadamente. Esta cubierta estará dividida por la lámina ondulada para que así existan dos entradas de flujo de aire.
- De igual forma se diseñaron las dimensiones de la cámara de secado sabiendo que el área de secado es de $A= 1.43 \text{ m}^2$, por tanto, se distribuye esta área en 4 bandejas de 0.32 m^2 , se colocaran en filas con separación entre ellas de 0.20 m, entonces la cámara será: ancho 0.8 m, largo 0.54 m y de altura 1.10 m, resultando un volumen de secado de 0.35 m^3 .
- el colector se realiza de una manera que este pueda ser separable de la cámara de secado y sea más fácil su transportación.

- Para garantizar la separación del piso del secador se dispuso de una base con patas de angulares de una altura de 0.55 m. Así alejamos al secador de la humedad del piso y del acceso de roedores e insectos.
- Para permitir el acceso al interior de la cámara de secado, se diseñó una puerta con dimensiones de 0.76 m por 0.96 m. con pestañas alrededor de la puerta para que sea más ajustable.
- Dentro de la cámara de construyo una estructura don se desplazará las bandejas y así garanticé su separación, el material con el que se elaboró son ángulos de 0.25 cm, para que así se pueda sujetar con tornillos a la estructura.
- Se construyó un acceso lateral para la evacuación del aire húmedo saturado desde el interior de la cámara cuando sea necesario, con dimensiones de 0.10 x 0.06 m.
- En la parte frontal del colector se le agrega una mallita mosquitera para evitar cualquier insecto.

4.2.3 Diseño tridimensional

Para poder tener un esquema del prototipo diseñado, se decidió realizar diseño en 3D para poder visualizarlo antes de la construcción y así poder realizarlo de una manera más sencilla.

1. Se realiza el esqueleto del prototipo en 3D (sketchup) con las dimensiones del tubular a usar.
2. se ejecuta el compuesto de las paredes de la cámara de secado, diferenciando en el programa los materiales de la lámina, poliuretano y lamina.
3. Se realiza lo mismo para las paredes del colector solar.
4. Se le realiza la separación de la lámina de una manera que quede intermedio del colector y posterior mente la simulación de un cristal.
5. Se realiza el corte del acceso a la cámara para agregar la puerta y para la evacuación de humedad.

6. En la figura 4.1 se observa el diseño realiza de manera tridimensional.

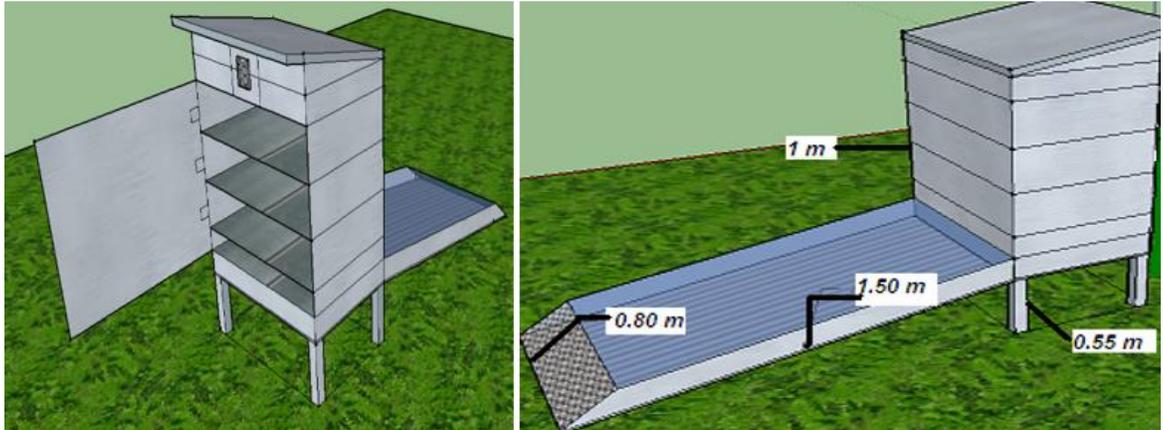


Figura 4.1 Vista trasera del diseño del secador.

4.2.4 Construcción del prototipo de secado solar

La construcción del secador se llevó acabo en la explanada del CIDTER UNICACH. una vez terminada quedo expuesto en la explanada.

Para la construcción del prototipo se usaron los materiales siguientes: perfiles angulares de una pulgada para las patas del secador, las paredes se construyeron haciendo un marco de tubular de una pulgada, forrando de un extremo de lámina, posteriormente relleno de poliuretano y se forra la otra cara del marco, así realizando todas las paredes de la cámara incluyendo el techo, las caras del colector y la parte inferior de la cámara de secado. con esto se garantiza un buen aislante, hermeticidad e higiene; el colector se le realiza un pintado al colector de negro mate y cristal comercial de 6 mm de espesor como cubierta.



Figura 4.2 Fotos del proceso de construcción.



Figura 4.3 Foto del secador terminado.

4.3 Resultados de la evaluación del prototipo

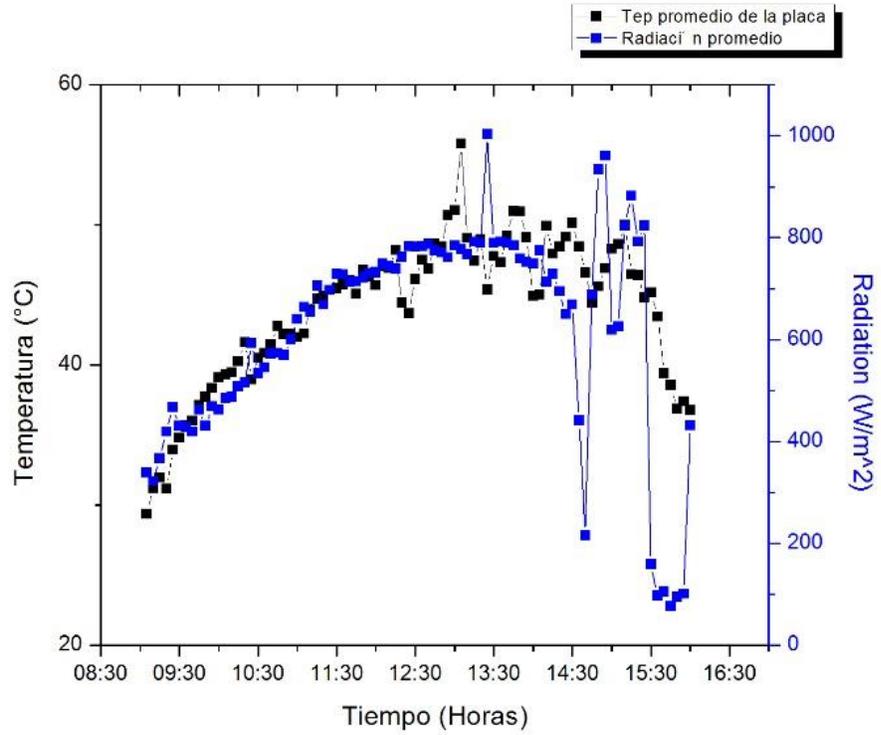
4.3.1 Evaluación en vacío

Para esta evaluación sin producto se colocaron termopares tipo “K” que tienen un rango de medidas de -210°C a 1372°C del dispositivo Measurement computing usb-tem. Se le colocó en diferentes partes de interés del secador tales como en la cámara de secado en tres niveles y en la placa adsorbedora de igualmente se coloca en diferentes partes de interés colocándolo en tres secciones. Además, se registra la variación de la humedad relativa del aire dentro de la cámara con el instrumento HD11 con un rango de 0 a 100% de humedad relativa con un margen de error $\pm 5\%$. Las mediciones se realizaron con 5 minutos de rango.

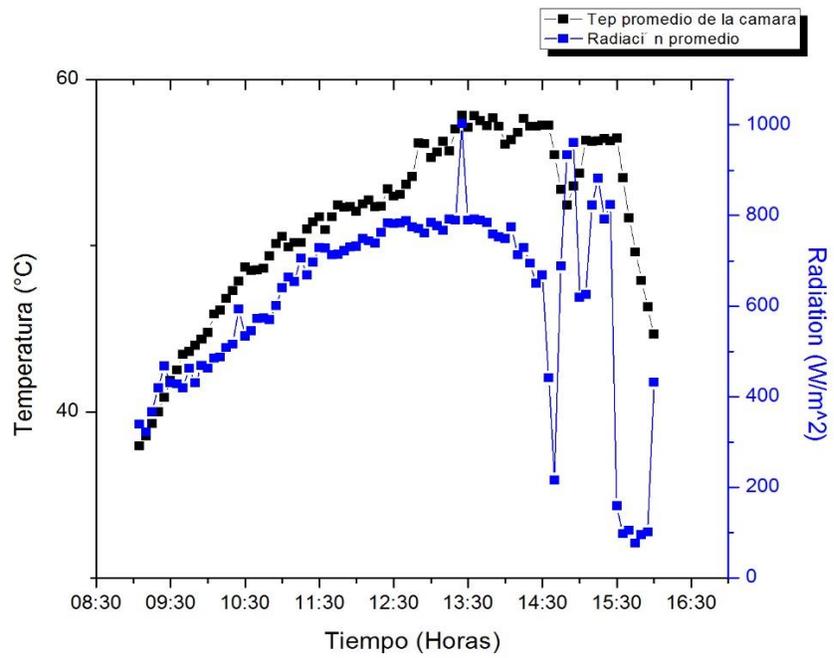
Al mismo tiempo la estación meteorológica emplazada en el lugar de experimentación, registra los parámetros ambientales tales como humedad relativa, temperatura ambiente, velocidad del viento y la radiación incidente, entre otras.

El día de la evaluación (27 de mayo) la radiación de Tuxtla promedió 520 W/m^2 por tal razón se obtuvieron niveles de temperatura significativos dentro del secador solar. La mayor temperatura se registra en la placa adsorbedora (superior) ayudada por el efecto invernadero que se forma entre ella y el vidrio. Las temperaturas en diferentes puntos del secador se comportaron en el tiempo como se muestra en la gráfica 4.2 y 4.3

En esta evaluación se puede observar que a las 13:00 horas se alcanza la temperatura más alta en la placa ennegrecida de 52°C Siendo en este momento donde la radiación alcanza su punto más alto (780 W/m^2) y a pesar que comienza a descender la radiación solar en la tarde, la temperatura de la cámara se mantiene parcialmente estable, al igual que en la placa ennegrecida.

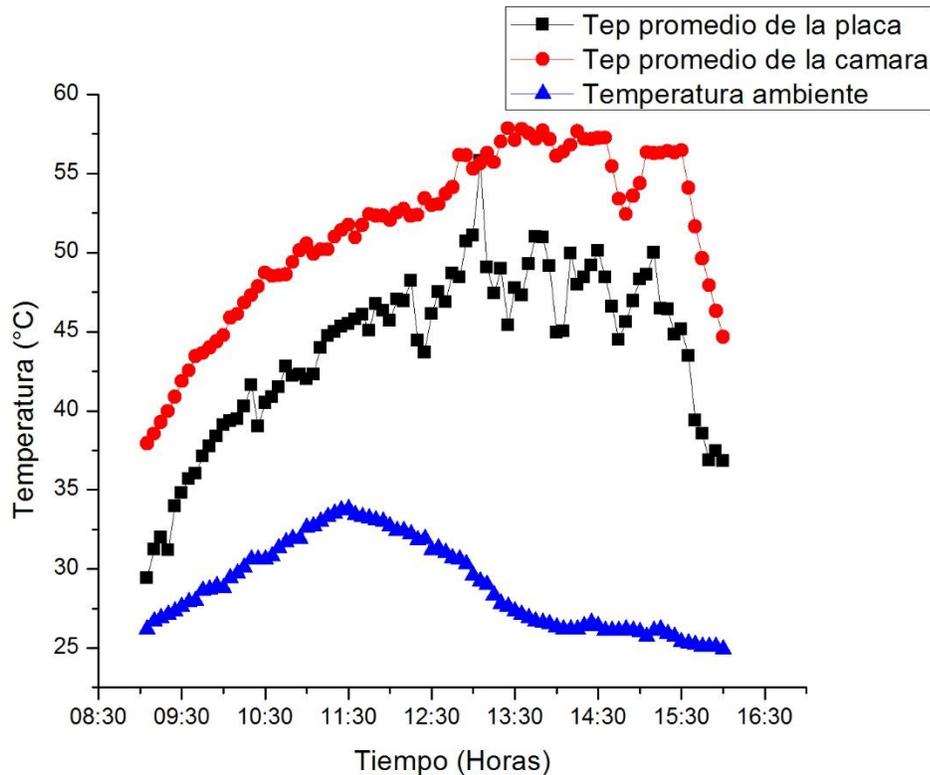


Grafica 4.2 Variación de la temperatura en el colector.



Grafica 4.3 Variación de la temperatura dentro de la cámara.

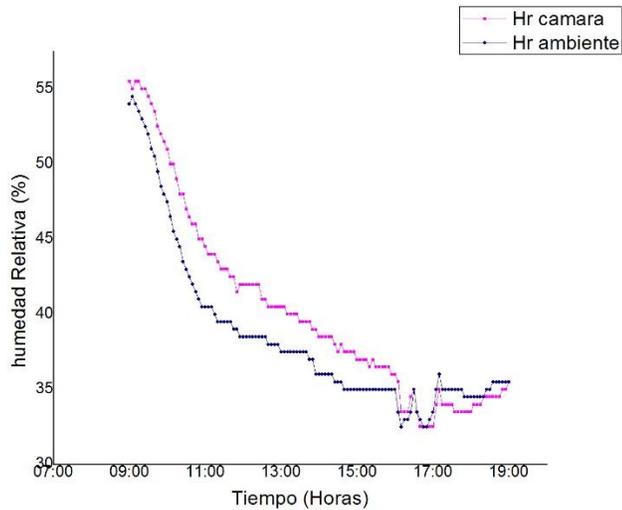
Un aspecto importante es la ganancia de calor que experimenta el aire desde la temperatura ambiente (promedio 30 °C) hasta la temperatura de adentro de la cámara (promedio 50 °C).



Gráfica 4.4 Variaciones de temperatura.

La humedad relativa del aire dentro de la cámara de secado, es un parámetro de vital importancia, ya que es el poder de absorción de humedad que tendrá el aire seco al entrar en contacto con el producto húmedo. Para esta prueba se usaron los datos de la estación meteorológica emplazada en la UNICAH y un hidrómetro tipo HD11, con un rango de 0 a 100% de humedad relativa con un margen de error $\pm 5\%$ que registró la humedad dentro de la cámara de secado.

En la gráfica 4.5 se muestra la variación de la humedad relativa del aire dentro de la cámara de secado cuando se va calentando y se hace una comparación con la humedad del ambiente en el día de experimentación.



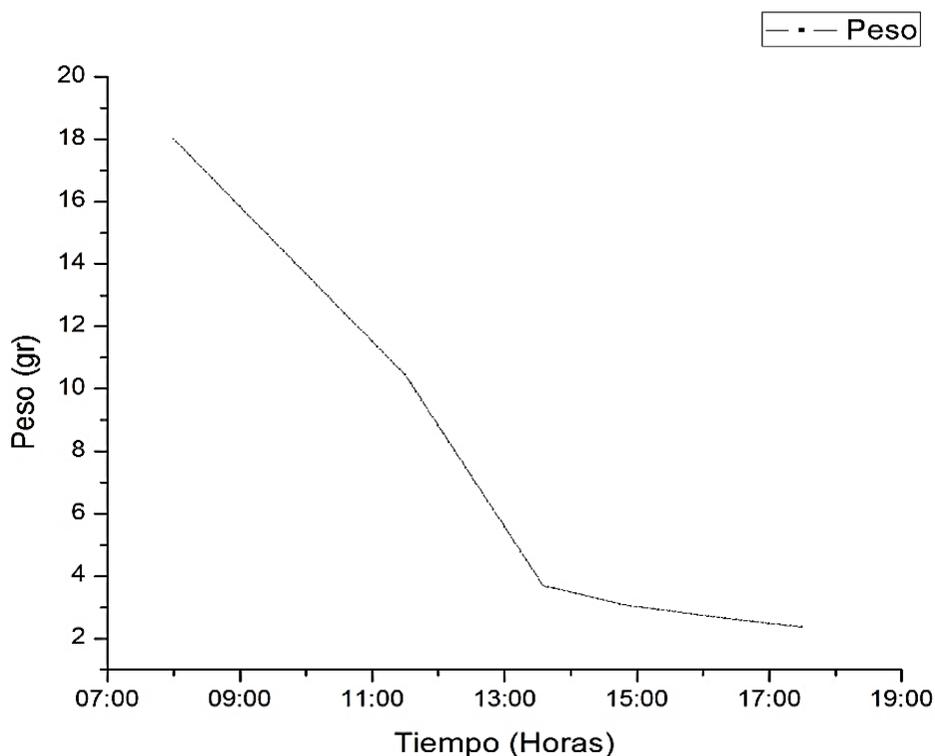
Grafica 4.5 Variación Relativa del aire.

Se aprecia en la gráfica 4.5 que la humedad del aire ambiente en el día de experimentación promedió un 46 %. En la cámara de secado la humedad relativa disminuye desde un máximo del 55%; a las 12 horas la humedad del ambiente se encuentra a 43%, lo importante es que la humedad dentro de la cámara se mantiene a niveles bajos de 38 %, esto es una medida de cuan bien esta el diseño del secador.

A medida que va variando la radiación incidente durante el día, la humedad relativa del aire en la cámara va disminuyendo al mismo tiempo que se va calentando el aire al pasar por el colector solar.

4.3.2 Evaluación con carga

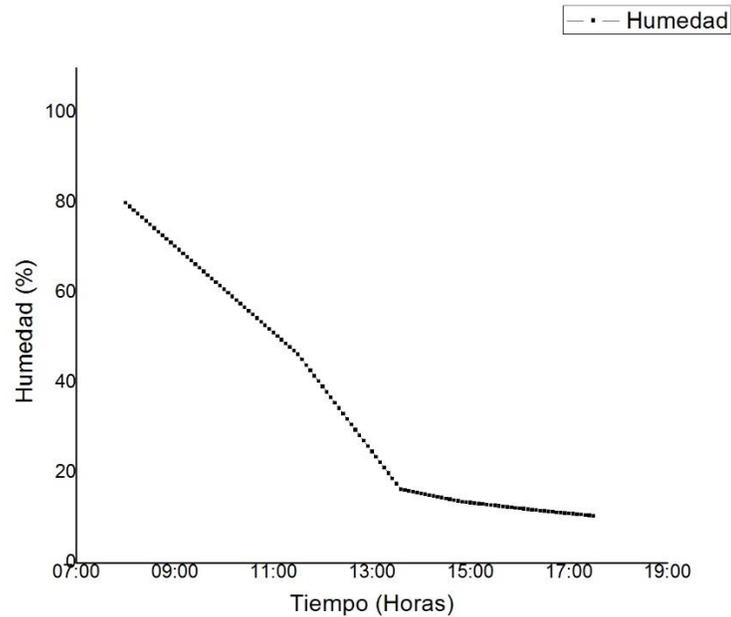
En la Grafica 4.6 se expone la variación horaria del peso de la muestra de producto húmedo durante el proceso de secado.



Grafica 4.6 Variación de humedad de la muestra de mango.

Se prepararon 4 muestra de mango cortado en rodajas, de forma tal que pesaran lo mismo. A las 7:00 horas, se colocaron las muestras en las bandejas, se fue midiendo la variación de peso con una balanza electrónica cada una hora, este proceso se continuó hasta que el peso del producto ya no variaba más, lo que indica que el producto había alcanzado su humedad de equilibrio.

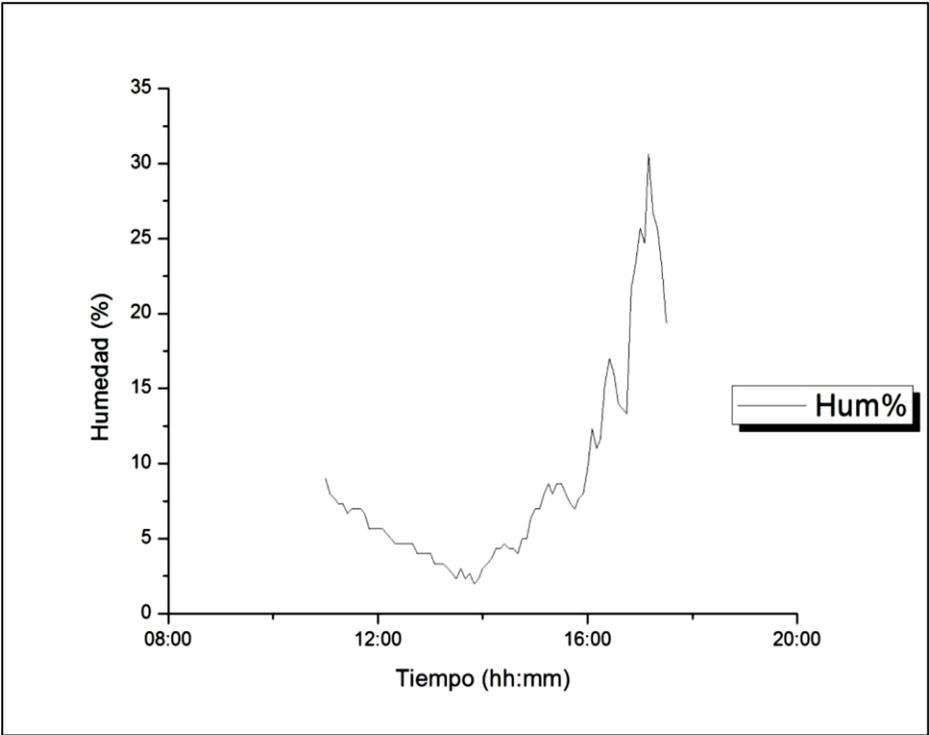
En la Grafica 4.7 se muestra la curva de secado del mango donde se observa la variación de la humedad del producto durante el proceso de secado.



Grafica 4.7 Curva de humedad del mango.

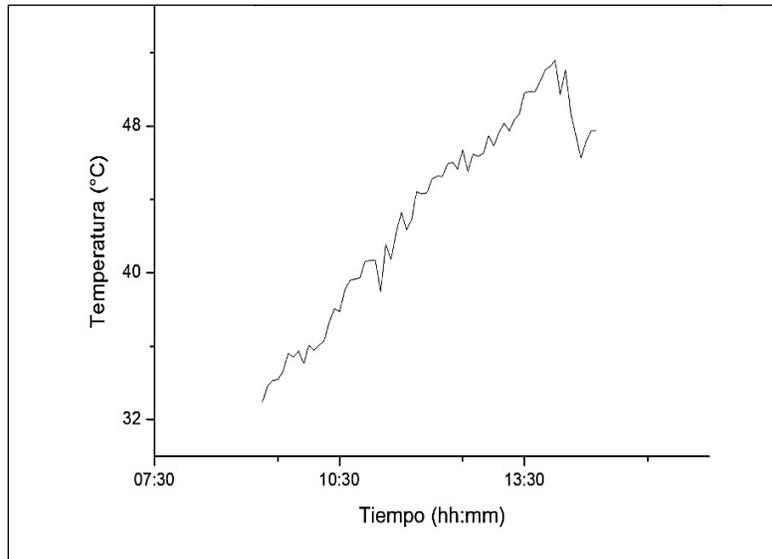
En la figura 4.7 se ve como en las primeras horas el cambio de humedad del producto es muy poco, porque la energía que le aporta el aire se usa solo para calentar el producto, aunque pierde algo de humedad. Luego de este proceso comienza la deshidratación del mango a mayor velocidad, que es un proceso gradual durante el transcurso del primer día solar. A partir de las 13:30 horas la humedad del producto deja de descender a este ritmo y solo decae de un 45 % hasta un 20 %, para mantenerse constante durante parte de la noche. Hasta este momento el mango ha perdido el 60 % de su humedad inicial.

En la Grafica 4.8 se muestra la humedad que hubo dentro la cámara durante la evaluación con carga se puede observar que alcanza un mínimo de 1 % de humedad y a partir de las 6:00 horas comienza aumentar dado que durante la evaluación comenzó a nublarse, pero a pesar de eso el producto pudo secarse ya que le falta muy poco para llegar a su límite de peso.



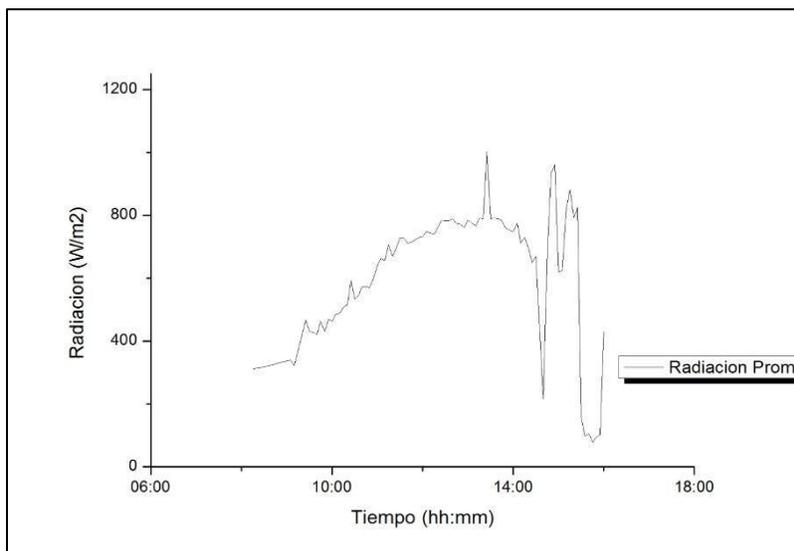
Grafica 4.8 Curva de humedad del aire dentro de la cámara durante el secado.

En la gráfica 4.9 se puede observar la temperatura que se mantiene dentro la durante la evaluación con carga. Se observa que a las 10:00 horas la temperatura comenzó a aumentar y a mantenerse durante la 13:00 horas, posteriormente desciende muy levemente, dado a que se nublo durante la prueba.



Grafica 4.9 Temperatura de la cámara durante el proceso de secado.

En la Grafica 4.10 se observa el comportamiento de la radiación que incide en el colector, durante la evaluación se presentó intermitentes nublados, es por ello que la radiación tiene una curva en forma de picos y a partir de las 16:00 horas comienza a disminuir la radiación quedándose estable (baja).



Grafica 4.10 Radiación incidente en el colector durante el proceso de secado.

En la Figura 4.4 se muestra el secador con y sin producto durante las evaluaciones realizadas en la UNICACH, de igual manera se muestra los puntos donde se censo dentro de la cámara.

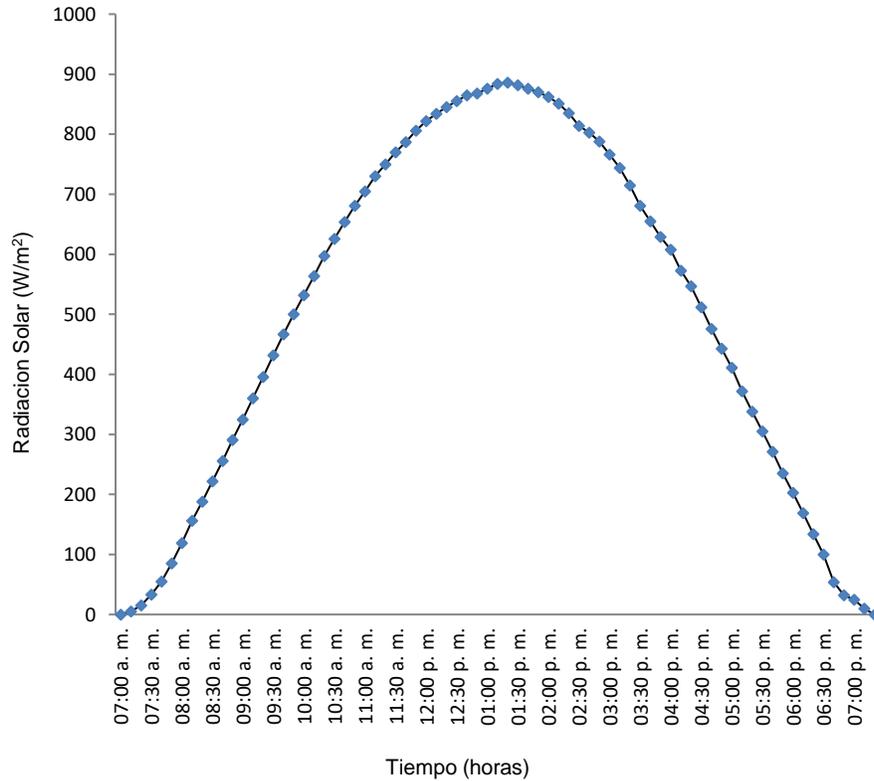


Figura 4.4 Secador durante las evaluaciones

4.4 Análisis de las variaciones climatológicas de Tonalá

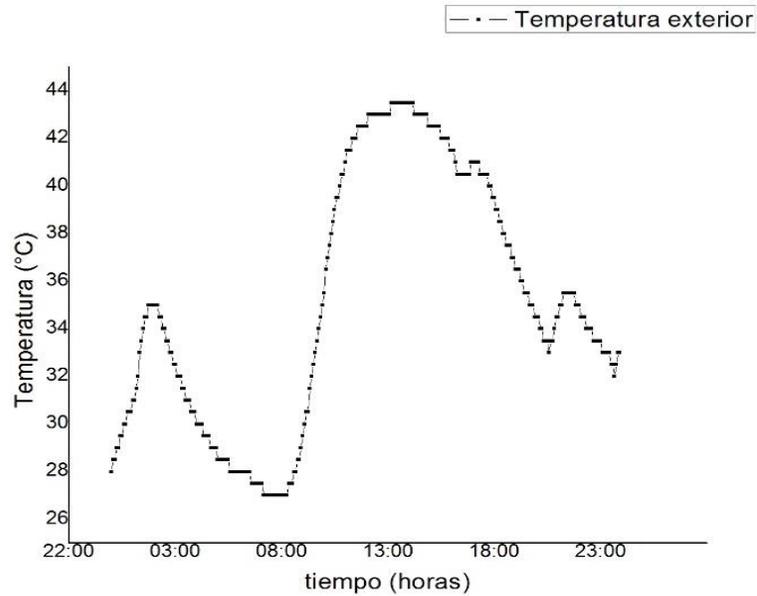
Las principales variables climatológicas que se estudiaron del municipio de Tonalá fueron: radiación solar, temperatura ambiente; humedad relativa ambiente.

Como se aprecia en la gráfica 4.11 la radiación en Tonalá el día de la evolución promedió $620 \text{ W} / \text{m}^2$ valor utilizado en los cálculos de modelación.



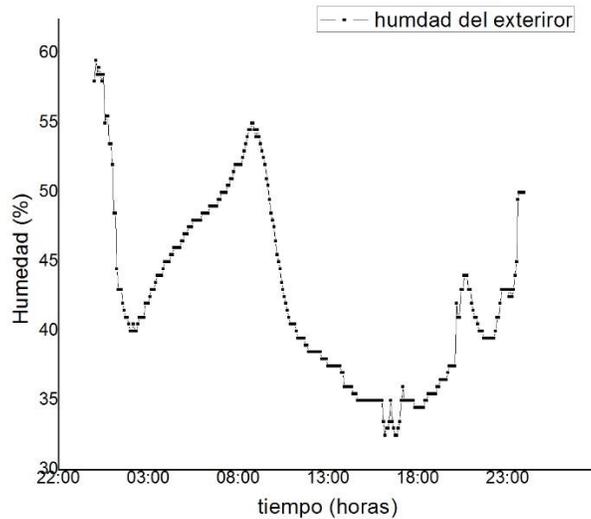
Grafica 4.11 Radiación solar del municipio de Tonalá.

En la gráfica 4.12 se expone cómo se comportó la temperatura ambiente promedio el día de la experimentación, en este Municipio siendo la máxima de 42 °C y por tanto muy buena para el funcionamiento del secado solar, la temperatura mínima fue de 20 °C valor alto en todo el año en comparación con otras zonas del Estado de Chipas, por lo que se puede asegurar que es abundante el recurso solar térmico en esta zona. La temperatura promedio anual en el municipio de Tonalá es de 30.54 °C.



Grafica 4.12 Temperatura ambiente del municipio de Tonalá.

En la figura 4.13 se expone cómo se comportó la humedad relativa ambiente en Tonalá, el día de la experimentación. Está promedio 48.6 %. Esta humedad, aunque no es alta, el aire ambiente no tiene suficiente avidéz por al agua o que al menos pudiera ser mucho mejor, por eso aumentándole la temperatura al aire en el colector bajaría aún más hasta niveles donde sus propiedades desecantes sean óptimas.



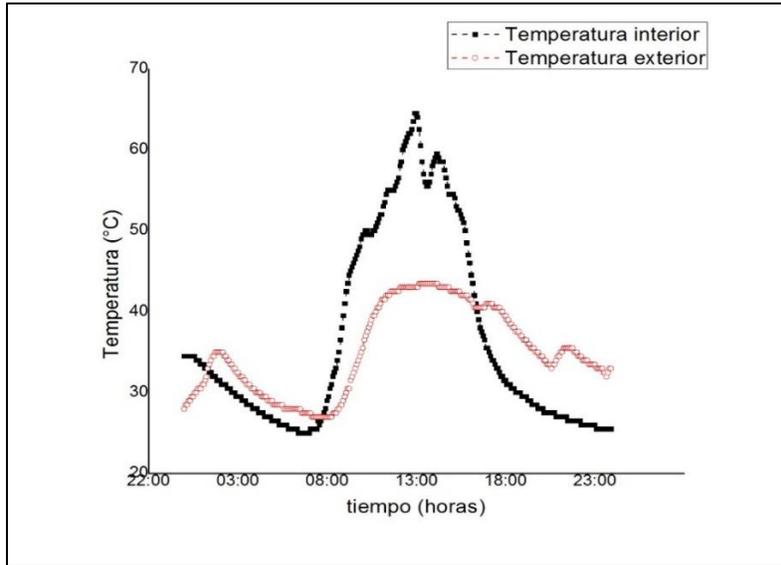
Grafica 4.13 Humedad relativa del municipio de Tonalá.

4.5 Evaluación del prototipo en campo

La evaluación en vacío se realizó de igual manera que la evaluación en vacío que se realizó en la UNIACACH.

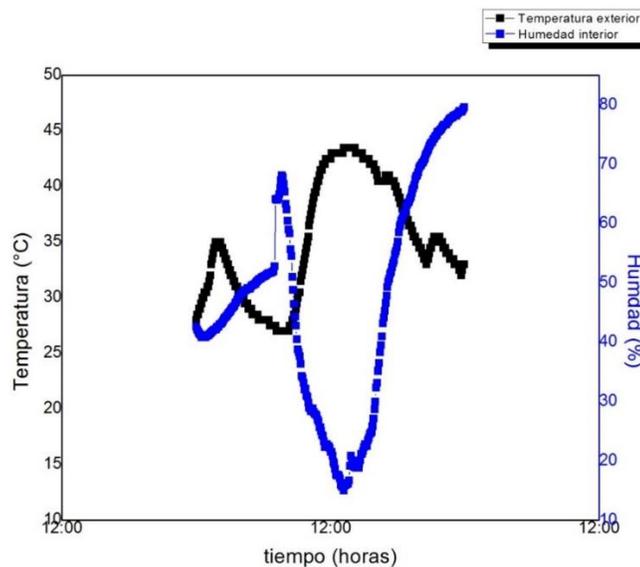
El día de la evaluación (11 de diciembre) la radiación de Tonalá promedió 620 W/m^2 por tal razón se obtuvieron niveles de temperatura significativos dentro del secador solar. La mayor temperatura (82°C) se registra en la placa adsorbadora (superior) ayudada por el efecto invernadero que se forma entre ella y el vidrio. Las temperaturas en la cámara de secado se comportaron en el tiempo como se muestra en la gráfica 4.14.

En esta evaluación se puede observar que a las 13:00 horas se alcanza la temperatura más alta, la temperatura de la cámara se iguala 62°C , siendo un punto donde se mantiene más estable la temperatura de ambas; Siendo ese momento donde la radiación alcanza su punto más alto y a pesar de que comienza a descender la temperatura de la cámara se mantiene parcialmente estable de igual la placa ennegrecida, cosa esta que demuestra el buen diseño del secador.



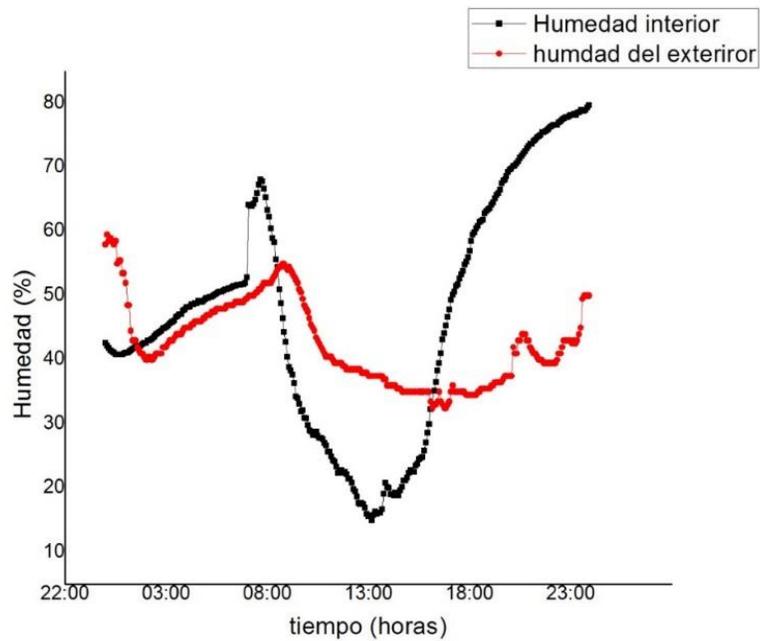
Grafica 4.14 Temperatura del aire en la cámara interior y en el ambiente exterior.

En la gráfica 4.15 se demuestra la temperatura en el ambiente y la humedad dentro de la cámara, se puede visualizar que al momento del aumento de temperatura la humedad se reduce dentro de la cámara, alcanzando un 12 %.



Grafica 4.15 Humedad del interior de la cámara y temperatura del aire ambiente.

En la gráfica 4.16 se demuestra la humedad del ambiente y del interior de la cámara, se observa que el aire disminuye su humedad relativa en un 30 %, al pasar por el colector del secador. Dado que en las últimas horas la humedad llega a aumentar mucho dado que en el momento de evaluación estuvo parcialmente nublado.



Grafica 4.16 Humedad del interior de la cámara y humedad del ambiente.

4.5.1 Evaluación con carga

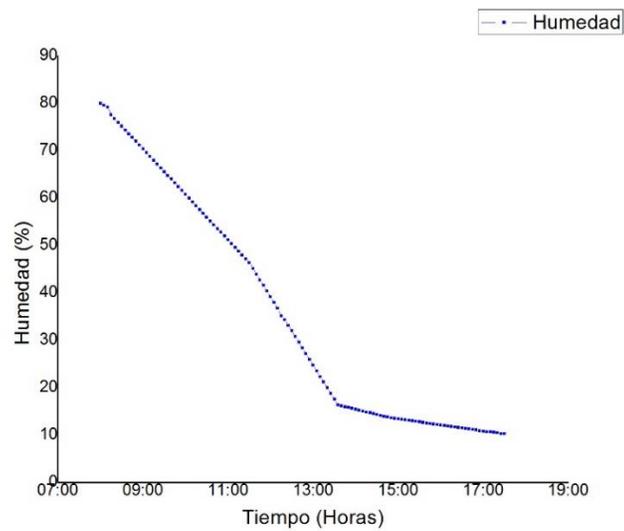
La evaluación con carga en el ejido de San Miguel Tonalá, Chiapas. Se procedió de igual manera que la evaluación con carga realizada en la UNICCH.

En la Figura 4.5 se muestra el secador con el producto preparado y la colocación de los sensores utilizados.



Figura 4.5 Evaluación con carga

En la Grafica 4.17 se muestra la curva de secado del mango, donde se observa la variación de la humedad del producto durante el proceso de secado.



Grafica 4.17 Curva de humedad del mango.

En la gráfica 4.17 se ve como en las primeras horas el cambio de humedad del producto es muy poco, porque la energía que le aporta el aire se usa solo para calentar el producto, aunque pierde algo de humedad. Luego de este proceso comienza la deshidratación del mango a una mayor velocidad, que es un proceso gradual durante el transcurso del primer día solar. A partir de las 13:00 horas la humedad del producto deja de descender a este ritmo y solo decae de un 20 % hasta un 15%

4.6 Propuesta final al ejido

De acuerdo a la investigación realizada y a las evaluaciones de campo hechas se hace una propuesta de un secador solar caracterizado en el ejido, demostrándose que un solo secador es insuficiente, por lo que se en un futuro podría implementarse una flotilla de hasta 10 de secadores solares.

En la figura 4.6 se muestra el diseño que se propone a escala del diseño ya presentado.

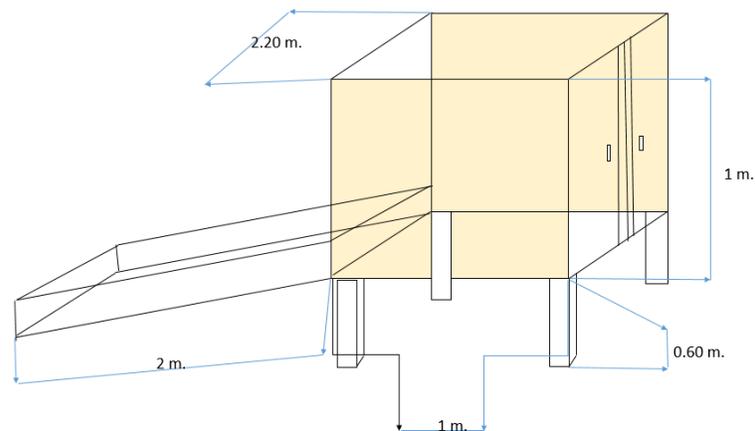


Figura 4.6 Diseño del secador

Este diseño contará con una capacidad aproximadamente de 35 kg de pulpa de mango, que representa 56.5 kg de mango fresco.

En la figura 4.7 se muestra la colocación de los 10 secadores propuestos para abastecer una parte de la sobre producción.

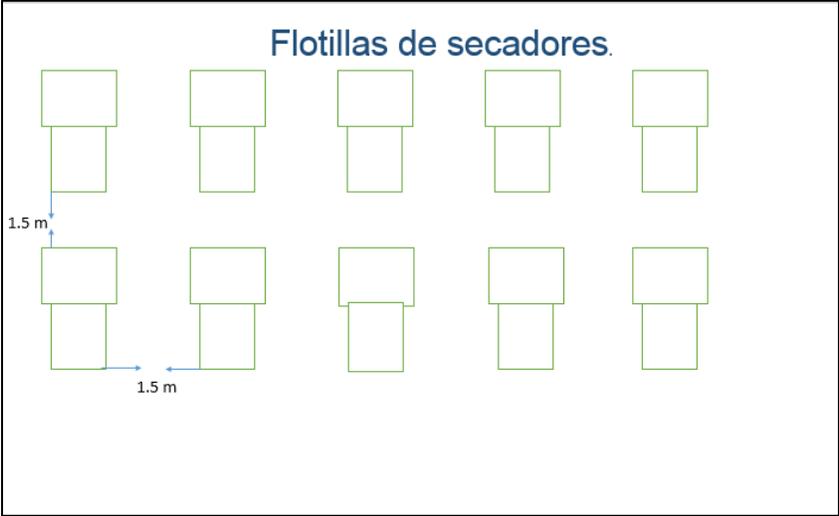


Figura 4.7 Flotilla de secadores

4.7 Conclusión

En este capítulo se ha hecho el análisis de cada uno de los resultados, se han expuesto en orden cronológico el cumplimiento de todas las tareas que se propusieron en cada objetivo particular.

Se comenzó por la determinación de los principales parámetros de la deshidratación del mango; se analizaron los resultados del diseño y construcción del prototipo propuesto.

Se analizaron las evaluaciones hechas al prototipo; la evaluación en vacío arrojando su comportamiento termodinámico y su evaluación con carga ofreciendo la curva de secado del mango, también se analizó la evaluación de la misma manera en el ejido de Tonalá, Chiapas.

Por último, se les muestra una propuesta a los ejidatarios de un nuevo diseño, siendo una escala mayor del secador, dando instrucciones que se debe realizar una flotilla de 10 secadores dado a que no se puede dar abastos el secador con la sobre producción.

5 CONCLUSIONES

La presente tesis tuvo como objetivo principal realizar un secador solar para poder deshidratar el mango ataulfo en el ejido de San miguel, Tonalá, Chiapas y así ofrecer una solución a las pérdidas que se producen de dicho producto por sobre producción.

Del cumplimiento de los objetivos propuestos se puede concluir lo siguiente:

El diseño el secador solar, cumpliendo con las expectativas propuestas, como resultado de este, se obtuvo un área de secado de 1.43 m² distribuida a lo largo de las 4 bandejas, de 0.35 m² cada una, (0.75 x 0.43 m) las cuales fueron colocadas de manera vertical dentro de la cámara de secado. También se determinó el área de captación de 1.2 m², contrayéndose un colector solar de 0.80 x 1.5 m

Los materiales utilizados en la construcción fueron adquiridos en negocios locales por lo que están disponibles para cualquier campesino, siempre teniendo en cuenta las propiedades físicas, químicas y termodinámicas idóneas para la construcción del secador.

El comportamiento térmico del prototipo y a su vez su funcionamiento arrojó que la temperatura promedio del aire en la cámara y la humedad relativa fueron de 52 °C y 5% respectivamente.

De la curva de secado se puede concluir que en la evaluación con carga se comprobó que el secador tuvo el funcionamiento esperado dado que el producto obtuvo su punto de equilibrio, teniendo un tiempo de secado de 6 horas con una temperatura promedio de 48 °C del aire dentro de la cámara y una humedad promedio del aire del 15%.

Finalmente se hace una propuesta al ejido de San Miguel presentándole un incremento a escala del prototipo, para llevarlo a una capacidad de 35 kg de lascas de mango cada uno, cada secador será capaz de procesar 56 Kg de mango fresco. Se propone construir 10 secadores con las mismas características, para poder secar un total de 350 kg de lacas de mango, para así aprovechar un 100 % de las pérdidas por sobreproducción de mango, en dos cargas de los secadores.

6 Referencias

- Bachiller Rafael. 2007. "El Sol Nuestra Estrella." : 371–82.
- Bulnes, Camilo Arancibia, Roberto Best, and Brown Lejos. 2010. "Energía Del Sol." *Revista Ciencia* 61(Abril-Junio): 10–17.
http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_2/PDF/EnergiaSol.pdf.
- Fundación Celestina Pérez de Almada. 2005. "Guía de Uso, Secaderos Solares Para Frutas, Legumbres, Hortalizas, Plantas Medicinales y Carnes." *Cosude* 1: 41.
<http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/ED-Guiasecaderosolar.pdf>.
- Infante, Francisco et al. 2011. "Mango Ataulfo: Orgullo Chiapaneco." *CONABIO. Biodiversitas* (May 2015): 1–5.
- INFOCOMM, ONU - Perfil de. 2016. "MANGO - Perfil de INFOCOMM." : 23.
- Martínez Pillet, Valentín. 2009. "El Sol, Nuestra Estrella." *Revista Digital Universitaria* 10: 17. <http://www.revista.unam.mx/vol.10/num10/art67/art67.pdf>.
- Ministerio de medio ambiente, y medio rural y marino. 2005. "No Title."
- Naturaleza, Parte I, and D E L A Energia. 1995. "Energía Solar."
- Omda, El- Amin, Mohamed Akoy, Mohamed Ayoub, and El-fadil Adam Ahmed. 2004. "Design and Construction of A Solar Dryer for Mango Slices." *Most*: 1–7.
- paredes jc, ortíz Fernando. 2013. "“ Diseño Y Construcción De Un Deshidratador Hibrido Con Energías Alternas .”" *lpn*.
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/15329/im21-13.pdf?sequence=1>.
- SAGARPA. 2006. *Volumen y Valor de La Producción Agrícola Por Tipo de Cultivo*.
- SEDESOL. 2010. "Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social Angel Albino Corzo , Chiapas Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social Angel Albino Corzo , Chiapas III . Indicadores Asociados Al Índice De."
- Stefan-boltzmann, Constante De, and Constante De Boltzmann. 2007. "Transferencia de Calor y Masa."
- Superior, Escuela, D E Ingenieria Mecanica, and D E Tesis. 2007. "“ COMPARACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA ENTRE SISTEMAS DE SECADO HORIZONTAL Y VERTICAL .”"

Universitat, Editorial, and Politècnica De València. 2016. "Introducción Al Secado de Alimentos Por Aire Caliente."

Valenzuela, ángel Villavicencio. 2003. "Enciclopedia de Los Municipios y Delegaciones de México."

