



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR SOLAR PARA SECADO DE
PARAÍSO BLANCO (*Moringa oleífera Lam*) EN LA ZONA ORIENTE DE GUATEMALA**

Janiel Coyoy Chicas

Asesorado por Ms. Sc. Inga. Hilda Palma de Martini

Guatemala, junio de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR SOLAR PARA SECADO DE
PARAÍSO BLANCO (*Moringa oleífera Lam*) EN LA ZONA ORIENTE DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JANIEL COYOY CHICAS

ASESORADO POR MS. SC. INGA. HILDA PALMA DE MARTINI

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, JUNIO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
EXAMINADOR	Ing. Gerardo Ordoñez
SECRETARIA	Ing. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR SOLAR PARA SECADO DE PARAÍSO BLANCO (*Moringa oleífera Lam*) EN LA ZONA ORIENTE DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 12 de junio de 2015.



Janiel Coyoy Chicas

Guatemala, 20 de Febrero de 2017

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
Director escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ing. Wong:

Por este medio me permito informarle que estoy asesorando el trabajo de graduación del estudiante **Janiel Coyoy Chicas**, quien se identifica con el número de carné 2011-14560 y CUI No. 2241-24420-0101, titulado: *"Diseño y construcción de un deshidratador solar para secado de Paraíso Blanco (Moringa oleífera Lam) en la zona oriente de Guatemala"*.

Luego de la revisión correspondiente al informe final de trabajo de graduación, extiendo la presente aprobando su contenido.

Atentamente,



Hilda Palma de Martini
Ingeniera Química
Colegiada No. 453

INGA. HILDA PALMA DE MARTINI
COLEGIADO No. 453



Guatemala, 07 de marzo de 2017.
Ref. EIQ.TG-IF.008.2017.

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **038-2015** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Janiel Coyoy Chicas**.
Identificado con número de carné: **2011-14560**.
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR SOLAR PARA SECADO DE PARAÍSO BLANCO (*Moringa oleifera Lam*) EN LA ZONA ORIENTE DE GUATEMALA

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Hilda Piedad Palma Ramos de Martini**.

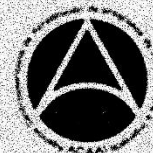
Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.028.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **JANIEL COYOY CHICAS** titulado: **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR SOLAR PARA SECADO DE PARAÍSO BLANCO (*Moringa oleífera Lam*) EN LA ZONA ORIENTE DE GUATEMALA"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, mayo 2017

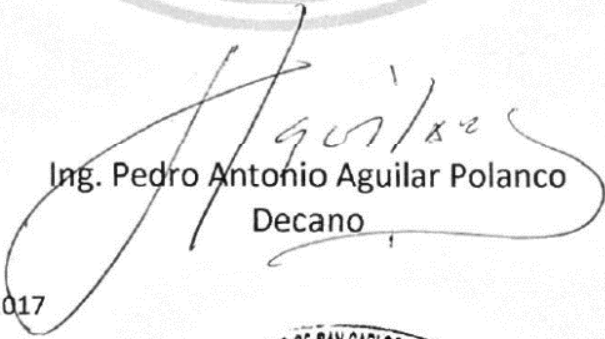
Cc: Archivo
CSWD/ale



DTG. 256.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR SOLAR PARA SECADO DE PARAÍSO BLANCO (Moringa oleífera Lam) EN LA ZONA ORIENTE DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Janiel Coyoy Chicas**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, junio de 2017

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser quien me ha guiado hacia el camino que me tiene preparado y demostrarme que todo lo que ocurra en mi vida es por un propósito.
- Mis padres** Jaime Coyoy y Edelmira Chicas, porque sin su enseñanza y ejemplo no sería la persona que soy ahora; me han apoyado y luchado a mi lado para poder lograr todos mis sueños.
- Mi hermana** Auda Coyoy, por ser mi apoyo incondicional durante toda mi vida, por ser un ejemplo de determinación y lucha, y demostrarme que a pesar de cualquier situación la familia siempre estará para uno.
- Mis abuelos** Pedro Coyoy y María Ángela Nufio, porque Dios me ha dado la bendición de tenerlos en vida y compartir con los dos grandes pilares de mi familia este gran logro.
- Anasheila Pérez** Por demostrarme que cualquiera puede ser capaz de hacer todo lo que uno quiera, y que a lo largo de la carrera su ejemplo de superación y sacrificio me ha servido para alcanzar mis propios éxitos.

**Familia Coyoy y familia
Chicas**

Porque cada persona ha aportado un pequeño grano de arena para ayudarme a convertirme en profesional y poder poner el alto el nombre de mi familia.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindar una educación de excelencia y permitirme llegar a ser un profesional con principios y valores.
Facultad de Ingeniería	Por brindar a cada egresado las herramientas necesarias para poder cumplir la labor de un profesional en el mundo real.
Cementos Progreso	Por su gran apoyo en la realización y financiamiento del presente trabajo de graduación.
Agrobosques	Por el apoyo en la construcción del deshidratador solar y el acceso a las plantaciones de Paraíso Blanco para realizar este proyecto.
Catedráticos de la Escuela de Ingeniería Química	En especial a la Ing. Hilda Palma, Ing. Otto Raúl de León, Ing. Víctor Manuel Monzón y Dr. Adolfo Gramajo, por brindarme su valioso conocimiento y apoyo en la realización del presente trabajo de graduación.

Helados Sarita

Por permitirme realizar la fase experimental del presente trabajo de graduación, brindándome el tiempo necesario para trabajarlo.

Acuamaya S.A.

Por brindarme su apoyo en otorgarme el tiempo necesario para poder finalizar el presente trabajo de graduación, confiando en que llegaría a ser profesional.

Amigos de la Facultad de Ingeniería

A Herbert Castro, Eliana Carranza, Pedro García, Cesia de León, Gabriel Solórzano, y a muchos más que ocupan un lugar en mi vida, por todas las alegrías compartidas con cada uno de ellos, a quienes no puedo mencionar por nombre por ser demasiados pero con cada uno tengo un recuerdo que estará siempre presente en mi vida.

Amigos de la infancia y adolescencia

A Ricardo de León, Enrique Sontay, Alejandro Quintana, Marvin Dávila, Alan Choi, Eduardo Castellanos, Alejandra Foronda, Jennifer Quiñonez, Silvia Durán, Astrid Orantes, Mónica Mendoza y cuantos más han estado conmigo en la cercanía o la lejanía pero que su presencia en algún momento de mi vida hasta la actualidad han marcado mi vida por momentos invaluable.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. MARCO CONCEPTUAL.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación	4
1.3. Determinación del problema.....	5
1.3.1. Definición.....	5
1.3.2. Delimitación	5
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Paraíso Blanco (<i>Moringa oleífera Lam</i>)	7
2.1.1. Características generales	8
2.1.2. Información de su hábitat	10
2.1.3. Usos	12
2.1.3.1. Área alimenticia	13
2.1.3.2. Área medicinal.....	13
2.1.3.3. Área sanitaria.....	13
2.1.3.4. Área agricultora	13
2.1.3.5. Usos en Guatemala.....	14

2.1.4.	Propiedades nutricionales de la hoja de Paraíso	
	Blanco	15
2.1.5.	Toxicidad	16
2.2.	Secado	17
2.2.1.	Secado con circulación superficial	18
2.2.2.	Curvas de secado	19
2.2.3.	Secado solar	23
	2.2.3.1. Secadores solares.....	23
3.	METODOLOGÍA	27
3.1.	Delimitación del campo de estudio.....	27
3.2.	Criterios de diseño	27
3.3.	Diseño del secador.....	28
3.4.	Selección de materiales para construcción del deshidratador	
	.....	35
3.5.	Dimensiones y especificaciones.	37
3.6.	Recursos humanos disponibles	38
3.7.	Recursos materiales disponibles.....	38
	3.7.1. Materia prima	38
	3.7.2. Materiales de construcción.....	38
	3.7.2.1. Base del deshidratador.....	38
	3.7.2.2. Estructura general del deshidratador ...	39
	3.7.2.3. Bandejas	39
3.8.	Construcción del deshidratador solar	40
3.9.	Obtención del Paraíso Blanco (<i>Moringa oleífera Lam</i>).....	46
3.10.	Pruebas de secado	49
3.11.	Determinación del análisis bromatológico y porcentaje de	
	humedad de las muestras	52

3.12.	Determinación de los valores nutricionales de la hoja de Paraíso Blanco.	54
3.13.	Elaboración de las curvas de secado	55
3.14.	Cálculo del balance de masa dentro del deshidratador	55
3.15.	Implementación del proyecto en el área rural.....	56
4.	RESULTADOS	57
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	63
	CONCLUSIONES	67
	RECOMENDACIONES	69
	BIBLIOGRAFÍA	71
	APÉNDICES	75
	ANEXOS.....	107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Árbol de Paraíso Blanco de tres años	7
2.	Raíz central de Paraíso Blanco	8
3.	Flores de Paraíso Blanco	9
4.	Fruto y semilla de Paraíso Blanco.....	10
5.	Sectores a nivel mundial donde se ha naturalizado el Paraíso Blanco ..	11
6.	Diagrama de los usos del Paraíso Blanco.....	12
7.	Modelo ideal de la curva de tiempo de secado.	20
8.	Modelo ideal de la curva de humedad relativa.	21
9.	Modelo ideal de la curva de velocidad de secado.	22
10.	Secador solar indirecto.....	25
11.	Secador solar directo	25
12.	Deshidratador solar tipo carpa	29
13.	Tamaño definido de la base del deshidratador.....	30
14.	Estructura base del deshidratador solar	31
15.	Área de secado del deshidratador solar	32
16.	Distribución final del área de secado.....	33
17.	Modelo 3D del deshidratador solar.....	34
18.	Diagrama de flujo para construcción del deshidratador.	41
19.	Deshidratador solar construido.....	42
20.	Base del deshidratador.....	43
21.	Estructura de madera y puertas del deshidratador.....	44
22.	Pasos de aire y diseño de bandeja con malla media sombra.....	45
23.	Plantaciones de Paraíso Blanco.....	47

24.	Colocación de las hojas de Paraíso Blanco.....	48
25.	Deshidratador solar con muestras de Paraíso Blanco	49
26.	Muestra control de Paraíso Blanco.....	50
27.	Modo de pesaje de la muestra de Paraíso Blanco.....	51
28.	Toma de muestras secas de Paraíso Blanco.....	53
29.	Diagrama del balance de masa dentro del deshidratador solar.....	56
30.	Curva de tiempo de secado de la muestra de Paraíso Blanco (06/11/2015).....	58
31.	Curva de tiempo de secado de la muestra de Paraíso Blanco (13/11/2015).....	58
32.	Curva de humedad relativa en base seca de la muestra de Paraíso Blanco (06/11/2015).....	59
33.	Curva de humedad relativa en base seca de la muestra de Paraíso Blanco (13/11/2015).....	59
34.	Curva de velocidad de secado de la muestra de Paraíso Blanco (06/11/2015).....	60
35.	Curva de velocidad de secado de la muestra de Paraíso Blanco (13/11/2015).....	60
36.	Balance de masa del deshidratador solar (06/11/2015).....	61
37.	Balance de masa del deshidratador solar (13/11/2015).....	61

TABLAS

I.	Usos comunes de Paraíso Blanco en Guatemala.....	14
II.	Comparación del contenido nutricional del Paraíso Blanco con otros alimentos.....	15
III.	Materiales a utilizar para la construcción del deshidratador solar.....	36
IV.	Materiales utilizados y costo final del deshidratador solar.	46
V.	Pruebas a realizar a las muestras de Paraíso Blanco.	54

VI.	Porcentajes de humedad de las muestras de Paraíso Blanco.	57
VII.	Eficiencia del deshidratador solar.....	57
VIII.	Análisis bromatológico de las muestras de Paraíso Blanco como alimento.	57
IX.	Comparación del valor nutricional en 100 g de hoja de Paraíso Blanco	61

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A_l	Área de lecho
cm	Centímetros
μ	Eficiencia del deshidratador solar
g	Gramos
m_h	Humedad extraída de la muestra
X_{bh}	Humedad relativa en base húmeda
X_{bs}	Humedad relativa en base seca
kg	Kilogramos
m	Masa
m_{ht}	Masa de agua extraída en el rango de tiempo para la medición de la muestra control
m_s	Masa de muestra de Paraíso Blanco seco
min	Minutos
$\%_f$	Porcentaje de humedad en muestra fresca de Paraíso Blanco
$\%_s$	Porcentaje de humedad en muestra seca de Paraíso Blanco
"	Pulgadas
t_s	Rango de tiempo para realizar la medición de la muestra control
x	Referencia utilizada para indicar cualquier valor numérico
s	Segundos

R

Velocidad de secado

GLOSARIO

Aglicona	Compuesto sin azúcares que queda tras reemplazar por un átomo de hidrógeno el grupo glicosilo de un glucósido.
Aislante térmico	Material utilizado en la construcción y en la industria, que se caracteriza por su alta resistencia térmica.
Balance de masa	Contabilidad de los pesos de los materiales que entran y salen de una unidad de procesamiento.
Bromatología	Estudio de los alimentos, de su composición, de sus propiedades, del proceso de fabricación y de almacenamiento y de sus ingredientes.
Deshidratador solar	Aparato que elimina la humedad de los alimentos para así contribuir a su preservación por más tiempo mediante radiación solar como fuente de calor y un flujo de aire.
Desnutrición	Pérdida de reservas o debilitación de un organismo por recibir poca o mala alimentación.
Desnutrición aguda	Manifestación por bajo peso en relación a la talla del individuo, el cual se origina por una situación reciente de falta de alimentos o una enfermedad que haya

producido una pérdida rápida de peso. Este tipo de desnutrición es recuperable, sin embargo, de no ser atendida oportunamente pone en alto riesgo la vida del individuo.

Desnutrición crónica Proceso por el cual las reservas orgánicas que el cuerpo ha ido acumulando mediante la ingesta alimentaria se agotan debido a una carencia calórico-proteica, retrasando el crecimiento de fetos, infantes, niños y adolescentes.

Efecto invernadero Proceso en el que la radiación térmica es absorbida por el cristal o el plástico y es re irradiada en todas las direcciones, devolviendo esta radiación hacia la superficie y la atmósfera inferior, provocando un incremento de la temperatura.

Eficiencia Capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado.

Extracto etéreo Conjunto de sustancias de un alimento que se extraen con éter etílico (ésteres de los ácidos grasos, fosfolípidos, lecitinas, esteroides, ceras, ácidos grasos libres).

Extracto libre de nitrógeno Se refiere a la cantidad de carbohidratos contenidos en el alimento.

Glucosinolato	metabolitos secundarios de las plantas de los que se derivan los aceites de mostaza, al ser hidrolizados por las enzimas myrosinasas.
Humedad	Cantidad de agua, vapor de agua o cualquier otro líquido que está presente en la superficie o el interior de un cuerpo o en el aire.
Impermeabilizante	sustancias o compuestos químicos que tienen como objetivo detener el agua, impidiendo su paso, y son muy utilizados en el revestimiento de piezas y objetos que deben ser mantenidos secos.
Isotiocianato	Grupo funcional $-N=C=S$, formado por la sustitución del azufre por el oxígeno en el grupo isocianato.
Lecho	Capa o porción de algunas cosas que están o se ponen extendidas horizontalmente sobre otras.
Malla media sombra	Se utiliza para cubrir hortalizas y su uso evita el efecto directo de los rayos solares en horas en que la exposición resultaría perjudicial.
Nutriente	Sustancia que asegura la conservación y crecimiento de un organismo.
Radiación	Propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material.

Radiación solar

Conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol.

Transversal

Aquello que cruza, corta o atraviesa.

RESUMEN

El presente trabajo fue realizado con el fin de poder realizar un instrumento que sea de utilidad para procesar la hoja de Paraíso Blanco que se cultiva en la zona oriente del país, sacando beneficio de las condiciones del lugar para que este producto sea secado y se use como un suplemento alimenticio en la dieta de la población donde se encuentra esta planta.

Se hizo la propuesta de construir un deshidratador solar diseñado con base en el modelo de deshidratador solar tipo carpa, utilizando materiales reciclables y de bajo costo, el cual fue construido por el personal del área de Agrobosques, de Cementos Progreso, ubicado en las instalaciones de la planta San Miguel, del municipio de Sanarate, El Progreso. El dispositivo fue construido en su mayoría con material que se tenía disponible dentro de la planta y que fuera fácil de conseguir en las comunidades, comprando únicamente el material que recubre el deshidratador y permite el paso de la radiación, asimismo otros materiales auxiliares para su construcción, con un costo final de Q 345,00. Las plantaciones de Paraíso Blanco utilizadas para este estudio fueron también cultivadas dentro de estas instalaciones, con una duración de aproximadamente 1 mes de crecimiento. Se recolectaron las plantas cuando habían alcanzado una altura entre 1 y 1,30 m.

Para la prueba de secado se colocaron las hojas de Paraíso Blanco en las bandejas y se mantuvieron dentro del secador por un lapso de tiempo de 4 horas, se dejó en una bandeja la muestra control que se utilizó para medir la pérdida de masa en agua de la hoja del Paraíso Blanco y realizar las curvas de secado. Se realizaron dos pruebas de secado; se tuvo inconvenientes en el segundo día

debido a la presencia de nubes lo que afectó el proceso porque no se tuvo un secado continuo por falta de radiación solar. Se tomó por cada día de secado una muestra de 200 g de hoja seca y otra de hoja fresca para ser enviadas al Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Veterinaria de Universidad de San Carlos de Guatemala y se realizó el análisis bromatológico, con el resultado de una concentración de proteínas, grasas y calorías en las hojas secas, lo que aumentó el valor nutricional de la hoja luego del proceso de secado.

Las curvas de secado del deshidratador solar y sus eficiencias se calcularon utilizando los porcentajes de humedad de la hoja en fresco y en seco obtenidos en el análisis bromatológico. Se tuvo una mayor eficiencia para el día uno, mostrando un valor de 89 %, mientras que para el segundo día se redujo al 83 %, confirmando así que la presencia de nubes interrumpió el proceso de secado, pero aun así mostrando un resultado satisfactorio en ambos días. De igual forma las curvas de secado del día uno demostraron que se tuvo un mejor secado que el segundo día, por lo que estas fueron las elegidas para representar el proceso de secado de la hoja de Paraíso Blanco utilizando el modelo de deshidratador solar propuesto.

Se llegó a la conclusión de que el modelo de deshidratador solar propuesto, construido con materiales reciclables y de bajo costo, funciona correctamente para lograr secar hojas de Paraíso Blanco, logrando así conservar por más tiempo este producto y aumentando su valor nutricional por la concentración de los nutrientes que contiene, teniendo así una herramienta que puede ser implementada en las comunidades donde se está cultivando.

OBJETIVOS

General

Diseñar y construir un deshidratador solar para el secado de la hoja de Paraíso Blanco (*Moringa oleífera Lam*).

Específicos

1. Determinar los mejores materiales de construcción que sean de bajo precio y accesibilidad.
2. Realizar pruebas de secado para determinar el porcentaje final de humedad de la hoja de Paraíso Blanco.
3. Obtener el balance de masa producido dentro del secador solar.
4. Elaborar las curvas de secado del dispositivo.
5. Comparar los valores nutricionales de la hoja seca de Paraíso Blanco en el deshidratador con la hoja fresca.

Hipótesis

Es factible construir un deshidratador solar con el uso de materiales de bajo costo y de fácil acceso, que permitan procesar la hoja de Paraíso Blanco (*Moringa oleífera Lam*) y que no pierda sus propiedades nutricionales para su consumo en las comunidades del oriente de Guatemala, aprovechando las condiciones climáticas del lugar.

INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país con un alto índice de desnutrición crónica, especialmente en la población infantil, a causa de una mala alimentación por falta de nutrientes en la dieta de las familias del área rural en oriente y occidente. Una posible solución para combatir este problema es encontrar un suplemento alimenticio que se agregue a la dieta de estas familias y les brinde todos los nutrientes necesarios para reducir este problema a futuro.

Dando seguimiento a las investigaciones relacionadas con este tema, se encontraron trabajos que involucran a una planta denominada Paraíso Blanco (*Moringa oleífera Lam*); esta planta posee una infinidad de propiedades nutricionales, bactericidas, medicinales y sanitarias, por lo que su utilización es muy amplia. En Guatemala fue introducida para ser usada como un cerco vivo en las fincas cafetaleras. A mediados del siglo pasado se comenzaron a hacer estudios con el fin de identificar todos sus beneficios.

Actualmente existen cultivos de Paraíso Blanco en el corredor seco de Guatemala, ya que puede crecer en ambientes cálidos y con un alto índice de sequía. La expansión del conocimiento y producción de esta planta en el país surge con la intención de su introducción en la dieta de la población donde se tiene un alto índice de desnutrición y de esta manera se pueda consumir y sea utilizada como un suplemento alimenticio.

Debido a que las personas de las comunidades donde se está dando su cultivo no tienen conocimientos de cómo procesarla, no la están consumiendo, por lo que se pierden las cosechas y no se están aprovechando sus nutrientes.

Observando las condiciones del sector, se planteó la idea de construir un deshidratador solar donde se realice el secado de las hojas de Paraíso Blanco para alargar la vida de anaquel del producto y la población pueda agregar la hoja seca como ingrediente en sus comidas.

El deshidratador solar debe ser elaborado con materiales reciclables y accesibles para las comunidades y de fácil construcción. Para poder evaluar el funcionamiento del dispositivo se deben realizar pruebas de secado para verificar un proceso adecuado. Por último, se realiza una comparación de la muestra seca con una muestra fresca de la materia prima a partir de sus valores bromatológicos para comprobar que las hojas de Paraíso Blanco no perdieron sus propiedades luego del proceso de deshidratación y asegurar que se mantengan los valores nutricionales en la hoja seca para enriquecer la dieta de los pobladores.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Antecedentes

En Guatemala se conoce poco sobre el Paraíso Blanco ya que no es una planta de la región, aunque se ha expandido su cultivo en varios departamentos, principalmente en las zonas más cálidas, Zacapa, Chiquimula, Escuintla, El Progreso, Chimaltenango, Suchitepéquez, Petén, Escuintla y Santa Rosa. Debido a que se tenían ciertos conocimientos acerca de sus beneficios, ya se han hecho algunos estudios en el país donde se han demostrado sus propiedades (medicinales y nutricionales en su mayoría). En la Universidad de San Carlos de Guatemala se han realizado varios trabajos de graduación donde los resultados obtenidos han aportado valiosa información acerca de esta planta.

- En el mes de enero del año 2008, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT), la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT), el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACYT) y el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP) presentaron el informe final del proyecto FODECYT Nro. 26 – 2006 con el título: *Rendimiento y uso potencial de Paraíso Blanco, Moringa oleífera Lam, en la Producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimentario-nutricional de Guatemala*, donde se obtuvieron resultados positivos para el uso potencial de las hojas, vainas y frutos de dicha planta para su utilización en la elaboración de alimentos nutricionalmente mejorados.

- En la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala se han hecho varios trabajos de graduación relacionados con Paraíso Blanco, tal es el caso del documento presentado por Karol Beatriz Sanchinelli Pezzarossi titulado: *Contenido de proteína y aminoácidos, y generación de descriptores sensoriales de los tallos, hojas y flores de Moringa oleífera Lam (Moringaceae) cultivada en Guatemala, en marzo de 2004*, donde se obtuvieron como resultado los contenidos de aminoácidos presentes en las partes de la planta y los descriptores sensoriales generados por los mismos.
- Otro trabajo de graduación elaborado en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia en el mes de octubre de 2004 titulado: *Formulación y aceptabilidad de preparaciones comestibles a base de Moringa oleífera Lam*, presentado por Verónica Esther Vásquez de Berganza, indica que al formular preparaciones de mayor frecuencia de consumo con polvo de hoja de Moringa oleífera Lam no interfiere con la aceptabilidad de dichas preparaciones alimenticias, teniendo así un mejor valor nutritivo.
- En la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala también se han realizado trabajos de graduación donde se utilizó el Paraíso Blanco como materia prima. En noviembre de 2011 se presentó un trabajo por Luis Ernesto Ruiz Funes titulado: *Diseño de un proceso para la obtención de una galleta a partir de harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (Moringa oleífera Lam) y su respectiva evaluación nutricional*, el cual dio un aporte a una manera de procesar el Paraíso Blanco a nivel industrial.
- En el mes de octubre de 2014, Diana Lucía Rivas García presentó en la Universidad Rafael Landívar su trabajo de graduación titulado:

Formulación de una harina de sorgo (Maicillo) con Moringa oleífera Lam y elaboración de diferentes preparaciones. Estudio dirigido a escolares de la Escuela Nacional de Cajón del Río, Camotán, Chiquimula, Guatemala. Mayo – Septiembre 2014, con el fin de elaborar un programa nutricional en el lugar especificado para mejorar la alimentación de los niños a través de alimentos hechos con harina de maicillo y enriquecidos con Paraíso Blanco.

- En el mes de julio del año 2010 se realizó un estudio donde se evaluó el secado de las hojas de *Moringa oleífera Lam* en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Para tal experimentación se utilizó un secador eléctrico de flujo transversal a una temperatura de 40 °C durante 4 días, secando 20 kg. El resultado obtenido fue una reducción de la humedad de las hojas desde un 76,10 % hasta un 7,14 %¹.

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala ya se han realizado experimentaciones acerca del diseño de deshidratadores solares:

- En enero del año 2000, Renato Giovanni Ponciano Sandoval presentó su trabajo de graduación titulado: *Diseño de un secador solar continuo con fuente de energía alterna para el secado de chile jalapeño*, donde propuso la utilización de gas propano como fuente de energía alterna para aportar calor en ausencia de radiación solar tener un secado continuo.

¹ GÓMEZ GÓMEZ, Kandy P. *Evaluación de rendimiento de extracción y caracterización fitoquímica de la fracción extraíble de semilla de Moringa (Moringa oleífera Lam), a nivel laboratorio.* p. 44.

- José Francisco Monzón Monroy presentó como trabajo de graduación en septiembre de 2008 el diseño y construcción de un deshidratador solar con el título: *Diseño y construcción de un secador solar portátil destinado para la producción de carne deshidratada de lombriz Roja Californiana (Eisenia Foetida) para su posible utilización en la fortificación de alimentos para consumo humano.*
- En otros países de Latinoamérica también se han diseñado secadores solares con el fin de deshidratar alimentos para ser consumidos, tal es el caso del deshidratador solar Aureliano Buendía, elaborado por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial, ubicado en Buenos Aires, Argentina, quienes también elaboraron un manual de construcción con base en su prototipo para ser utilizado por pequeños productores campesinos de frutas y hortalizas.

1.2. Justificación

En la región oriente de Guatemala existen poblaciones con un índice alto de desnutrición debido a la mala alimentación y falta de recursos.

Actualmente se ha expandido en la zona cálida del país el cultivo de Paraíso Blanco; esta planta tiene la particularidad de poder crecer en áreas donde normalmente otras plantas no sobreviven por las condiciones extremas de poca agua y suelos áridos, producto de la radiación solar.

Conociendo las necesidades de las personas aledañas a los sectores donde se están dando los cultivos de Paraíso Blanco, surgió la idea de implementar un sistema que ayude a la producción y aprovechamiento de esta planta.

Utilizando como base las condiciones del sector, se elaboró un deshidratador solar para el secado de las hojas de dicha planta, utilizando materiales que sean accesibles a las personas y a la vez pueda ser construido por ellos mismos, de tal forma que pueda consumir y contribuir a la lucha contra la desnutrición.

1.3. Determinación del problema

1.3.1. Definición

Las poblaciones que están cultivando *Moringa oleífera Lam* no saben cómo aprovechar el producto para su consumo.

1.3.2. Delimitación

Población de la región oriente de Guatemala donde se cultiva la *Moringa oleífera Lam*.

Para este estudio se construyó el dispositivo en las instalaciones de la planta San Miguel. Se espera que el deshidratador solar sea utilizado en las comunidades de Sansare, Sanarate y el Jícaro, el Progreso; San Pedro Pinula y San Carlos Alsatate, Jalapa; y Chiquimula, Chiquimula.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Paraíso Blanco (*Moringa oleífera Lam*)

Esta planta proviene de la familia *moringácea*, es la más conocida de las 13 especies que conforman su género. Es originaria de la India y se naturaliza en las áreas tropicales alrededor del planeta. Según Carolina Alfaro en el *Informe final del proyecto FODECYT Nro. 26 – 2006: rendimiento y uso potencial de Paraíso Blanco, Moringa oleífera Lam en la producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimentario-nutricional de Guatemala*, este árbol es conocido como arango, badumbo, caragua, marengo, paraíso blanco, tamarindo cimarrón, teberinto, entre otros.

Figura 1. **Árbol de Paraíso Blanco de tres años**



Fuente: ARIAS SABIN, Consuelo. *Estudio de las posibles zonas de introducción de la Moringa oleífera Lam en la península ibérica, islas baleares e islas canarias*. p. 14.

2.1.1. Características generales

Esta planta en un ambiente normal puede alcanzar una altura de 6 metros, llegando a más si crece en un ambiente favorable. Su período de vida llega a un promedio de 20 años y su crecimiento es rápido, alcanzando una altura de 60 cm o más luego de un mes de haber sido plantado.

La raíz del Paraíso Blanco tiene un aspecto parecido a la yuca, de gran volumen y consistencia carnosa, mide varios metros lo que le permite tener resistencia a la sequía.

Figura 2. **Raíz central de Paraíso Blanco**



Fuente: ARIAS SABIN, Consuelo. *Estudio de las posibles zonas de introducción de la Moringa oleífera Lam en la península ibérica, islas baleares e islas canarias.* p. 14.

Las flores poseen pétalos blancos y estambres de color amarillo, son bisexuales y pueden medir entre 1 y 1,5 cm de alto; normalmente florece una vez al año, pudiendo ser dos veces dependiendo de las condiciones climáticas del sector.

Figura 3. **Flores de Paraíso Blanco**



Fuente: ARIAS SABIN, Consuelo. *Estudio de las posibles zonas de introducción de la Moringa oleífera Lam en la península ibérica, islas baleares e islas canarias*. p. 15.

El fruto es una vaina de color verde que mide entre 20 cm y 45 cm de largo y posee un diámetro de 1 cm, dentro de este se encuentran entre 12 y 25 semillas dependiendo del largo.

Las semillas poseen una estructura carnosa y con una capa alada, de color café oscuro y las alas de color beige.

Figura 4. Fruto y semilla de Paraíso Blanco



Fuente: ARIAS SABIN, Consuelo. *Estudio de las posibles zonas de introducción de la Moringa oleífera Lam en la península ibérica, islas baleares e islas canarias*. p. 16.

2.1.2. Información de su hábitat

Según Carolina Alfaro en el *Informe final del proyecto FODECYT Nro. 26 – 2006*, indica que la planta se da originalmente en zonas de baja altitud donde el clima es cálido, se encuentra principalmente en las zonas áridas de Asia, África y Madagascar, aunque en Guatemala se puede encontrar en altitudes arriba de los 1000 metros sobre el nivel del mar.

Acorde al estudio realizado por Silvia Falasca en su trabajo titulado: *Potenciales usos y delimitación del área de cultivo de Moringa oleífera en Argentina*, en las ciudades antiguas, los romanos, griegos y egipcios extraían el aceite de las semillas y lo usaban como perfume y lociones. En América Central fue introducido inicialmente como una planta ornamental y para cercas naturales en fincas.

Consuelo Arias en su trabajo titulado: *Estudio de las posibles zonas de introducción de la Moringa oleífera Lam en la península ibérica, islas baleares e islas canarias*, menciona que esta planta es muy resistente a la sequía y se cultiva en regiones áridas y semiáridas como la India, Paquistán, Afganistán, Arabia Saudita y África. También indica que en climas tropicales, como el área de Centroamérica y el Caribe, ha sido naturalizada donde puede resistir hasta seis meses de estación seca. Los requisitos mínimos de precipitación se han estimado en 250 mm anuales y un máximo de 3 000 mm anuales.

Figura 5. **Sectores a nivel mundial donde se ha naturalizado el Paraíso Blanco**

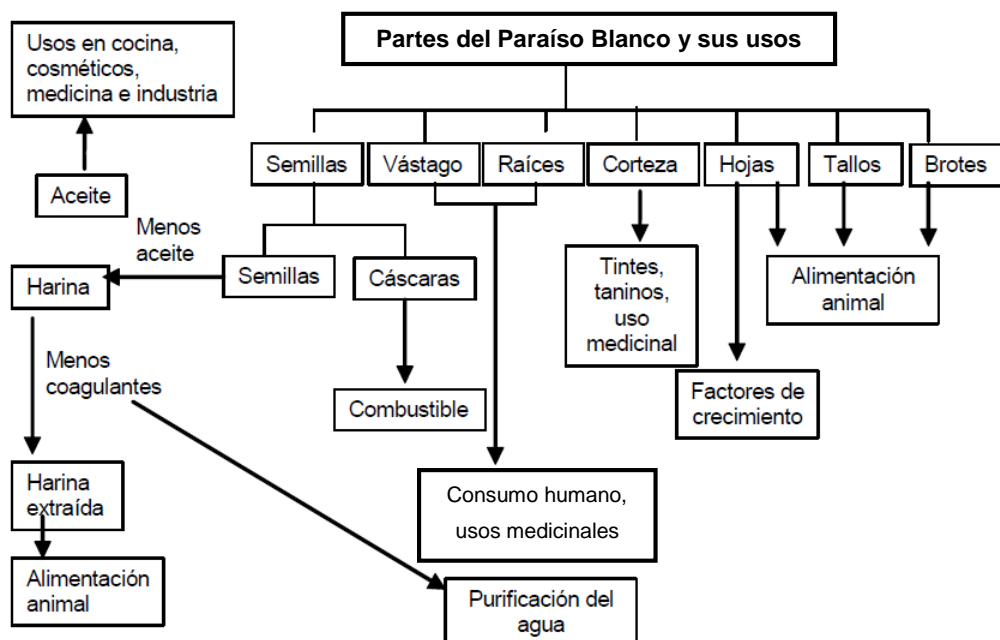


Fuente: Árboles para la vida. *Libro de la moringa*. p. 12. <http://www.treesforlife.org/our-work/our-initiatives/moringa/moringa-book>. Consulta: 3 de mayo de 2015.

2.1.3. Usos

Debido a que la planta posee una gran variedad de propiedades, se han utilizado las partes del Paraíso Blanco para infinidad de utilidades, las cuales fueron definidas por Carolina Alfaro en su *informe final del proyecto FODECYT Nro. 26 – 2006: Rendimiento y uso potencial de Paraíso Blanco, Moringa oleífera Lam en la producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimentario-nutricional de Guatemala.*

Figura 6. Diagrama de los usos del Paraíso Blanco



Fuente: ALFARO, Carolina. *Informe final del proyecto FODECYT Nro. 26 – 2006: Rendimiento y uso potencial de Paraíso Blanco, Moringa oleífera Lam en la producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimentario-nutricional de Guatemala.* p. 26.

2.1.3.1. Área alimenticia

De la semilla se puede extraer aceite que se utiliza para cocina, asimismo como complemento de ensaladas. Las hojas se están utilizando como un recurso para prevenir la desnutrición, aportando gran cantidad de nutrientes al agregarse en la canasta básica. Los frutos pueden ser consumidos cocidos, en sopa o se preparan a manera de espárrago. Las raíces tienen un sabor picante, parecido al rábano, mientras que las semillas se comen como nueces.

2.1.3.2. Área medicinal

Al Paraíso Blanco se le han atribuido gran cantidad de propiedades farmacológicas, utilizando esta planta como antiinflamatoria, antimicrobiana, purgante, estimulante, expectorante, entre otros. Medicinalmente se utilizan las hojas, corteza, raíces y semillas.

2.1.3.3. Área sanitaria

Las semillas contienen coagulantes naturales que se utiliza para remover la turbidez en el agua, asimismo funciona para la suspensión de bacterias indicadoras de contaminación fecal, haciendo de este un elemento de bajo costo para tratar condiciones sanitarias. El ingrediente activo de la semilla es el polielectrolito.

2.1.3.4. Área agricultora

Las hojas y semillas poseen propiedades bactericidas y fungicidas, también son útiles para la producción de biogas. A la corteza se le puede extraer una goma para varias aplicaciones, entre ellos para la industria de curtido de pieles.

2.1.3.5. Usos en Guatemala

Desde 1987 a 1989, se realizó en Guatemala, con el apoyo financiero de la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ), una evaluación integral de la aplicación de Paraíso Blanco en el país.

Tabla I. Usos comunes de Paraíso Blanco en Guatemala

Uso	Parte	Forma de uso
Alimento humano	Flor	Envuelta en huevo
Alimento animal	Hojas, vainas	Alimento de ganado
Cerco/poste vivo	Planta entera	Cercas en fincas
Jabón	Tronco	Ceniza del tronco cocida con cal
Adorno	Flores	Altares, floreros, cruces de difunto
Plaguicida	Hojas	Compuesto contra el gorgojo del maíz
Melífera	Flores	Atraer abejas para producir miel
Leña	Tronco	Combustible
Construcción	Madera	Material suave para construcciones
Sombra de café	Planta entera	Cuidado de plantaciones de café
Granos en la piel	Hojas/cogollos	Conocimiento para uso local
Manchas en la piel	Hojas	Machacadas para uso local
Jiote	Hojas	Machacadas para uso local
Cólicos digestivos	Hojas	Horchata para uso local

Fuente: ALFARO, Carolina. *Informe final del proyecto FODECYT Nro. 26 – 2006: Rendimiento y uso potencial de Paraíso Blanco, Moringa oleífera Lam en la producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimentario-nutricional de Guatemala.* p. 29.

2.1.4. Propiedades nutricionales de la hoja de Paraíso Blanco

Muchos han sido los estudios realizados para determinar el contenido nutricional de las hojas de Paraíso Blanco. Además de tener nutrientes esenciales, también contiene todo el aminoácido esencial, algo que es muy poco común en plantas, esto la hace una excelente fuente proteica. Cuando la hoja se seca, la mayoría de sus nutrientes son concentrados, ya que se elimina la mayoría del contenido de agua y en una pequeña cantidad de harina existen grandes cantidades de estos nutrientes, con excepción de la vitamina C, la cual es sensible a altas temperaturas.

Según el *Libro de la moringa*, se observa en la siguiente tabla que los nutrientes en la hoja fresca de Paraíso Blanco con otros alimentos, se tiene que hay 7 veces más vitamina C que las naranjas, 4 veces más vitamina A que en las zanahorias, 4 veces más calcio que la leche, 3 veces más potasio que en los bananos y 2 veces más proteínas que en el yogurt.

Tabla II. **Comparación del contenido nutricional del Paraíso Blanco con otros alimentos**

Nutriente	Alimento	Hojas frescas	Hojas secas
Vitamina A	Zanahoria	4 veces más	10 veces más
Vitamina C	Naranja	7 veces más	½ veces más
Calcio	Leche	4 veces más	17 veces más
Potasio	Banano	3 veces más	15 veces más
Hierro	Espinaca	¾ veces más	25 veces más
Proteína	Yogurt	2 veces más	9 veces más

Fuente: Fuente: *Árboles para la vida. Libro de la Moringa*. p. 25. <http://www.treesforlife.org/our-work/our-initiatives/moringa/moringa-book>. Consulta: 3 de mayo de 2015.

2.1.5. Toxicidad

No existe un amplio estudio acerca de los compuestos tóxicos del Paraíso Blanco y los que se han realizado no han llegado a conclusiones consistentes. Los trabajos relacionados a analizar la toxicidad de las partes de esta planta son escasos, por lo que existe incertidumbre acerca de los efectos secundarios que pueda causar su consumo².

La corteza del árbol produce úlceras peligrosas en zonas delicadas del cuerpo como los ojos, la piel y el rostro por su acción rubefaciente y vesicante; también, contiene una sustancia abortiva que causa contracciones uterinas capaces de inducir la muerte del feto.

La moringina y moringinina son sustancias que se encuentran en la corteza y raíz de la planta. Estos estimulan el corazón, relajan los bronquiolos y estimulan el sistema nervioso central de la misma forma que el LCD.

El interior de la raíz puede tener un potencial tóxico si se consume en grandes cantidades debido a la presencia de spirochin, un alcaloide que provoca taquicardia y puede paralizar el nervio vago, causando paro cardiorrespiratorio.

Las semillas tostadas contienen mutágenos potenciales como 4-(α -Iramnopiranosiloxi)-bencilglucosinolato; este compuesto aumenta la proporción de eritroblastos policromatófilicos micronucleados en los ratones, indicando posibilidad de genotoxicidad.

² *Revista de ciencias biológicas y de la salud. Aspectos tóxicos más relevantes de moringa oleífera y sus posibles daños.* p.39. <http://www.biocetecnia.uson.mx/revistas/articulos/26-ARTICULO%207.pdf>. Consulta: 2 de mayo de 2015.

Las hojas representan el menor riesgo para la salud al momento de consumirlo. Tienen un contenido de fitatos que puede resultar potencialmente perjudicial para la persona vegetariana puesto que su consumo reduce la biodisponibilidad de metales divalentes y trivalentes como zinc y magnesio.

En investigaciones relacionadas a determinar la toxicidad crónica, se administraron grandes cantidades de extracto de las hojas de Paraíso Blanco, causando cambios significativos en los glóbulos rojos, hematocrito y glóbulos blancos. Esto se atribuye a la presencia de glucosinolatos como 4-(α -l-ramnopiranosiloxi)-bencilglucosinolato y otros tres isómeros que producen isotiocianatos y toxina aglicona³.

2.2. Secado

El secado consiste en separar el agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de este. Esta operación se puede dar por una transferencia de calor por convección, conducción, radiación o una combinación de las tres, esto permite calentar el aire de entrada que posteriormente por difusión sólido-gas remueve el líquido adherido al sólido.

El secado es normalmente una de las etapas finales de un proceso y luego de esta operación el producto final pasa al empaçado. Una de las finalidades del secado es la eliminación del contenido de humedad para la preservación del producto.

³ *Revista de ciencias biológicas y de la salud. Aspectos tóxicos más relevantes de Moringa oleífera y sus posibles daños.* p.41. <http://www.biotechia.uson.mx/revistas/articulos/26-ARTICULO%207.pdf>. Consulta: 25 de abril de 2015.

2.2.1. Secado con circulación superficial

Cuando hay una interacción entre un sólido y un gas para realizar una transferencia de materia, el mecanismo de secado depende de la naturaleza de los sólidos y la forma de contacto entre estos. Un aspecto importante es la estructura superficial del sólido, ya sean cristalinos o porosos, haciendo más difícil la transferencia de masa si se trata de un sólido cristalino⁴.

El secado con circulación superficial es lento y generalmente se realiza en un sistema por lotes (batch). Al momento de darse la difusión, la humedad presente en el sólido es removida dependiendo de la localización del agua:

- Humedad superficial: es el agua que se encuentra en la capa externa del sólido a causa de la tensión superficial. La remoción de este tipo de humedad es el más rápido y no requiere una gran cantidad de energía.
- Humedad libre o capilar: dentro de los poros del sólido se encuentra humedad en equilibrio a causa del equilibrio del vapor saturado. Al momento de darse la difusión, por acción de la capilaridad, el agua dentro del sólido va subiendo por dichos poros buscando el equilibrio del sistema. Este período de secado se le llama constante ya que la velocidad de secado permanece uniforme.
- Humedad higroscópica o disuelta: esta humedad es la que se encuentra unida por enlaces físicos o químicos en el interior del sólido, por lo que es más difícil de remover. En este punto del secado, la velocidad de remoción de humedad va disminuyendo hasta llegar a un punto donde ya no se

⁴ MCCABE, Warren. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. p. 830.

puede remover más. Esta etapa requiere una cantidad de energía muy grande.

Las ventajas que tiene este método son:

- Existe un contacto eficiente entre el gas y el sólido
- Los costos de capital son relativamente bajos
- La carencia de partes móviles reduce los costos de mantenimiento
- La carga y descarga de la materia prima es muy práctico

2.2.2. Curvas de secado

Las curvas de secado son una herramienta que permite ver el proceso de secado del sólido en función de la cantidad de humedad que se va removiendo del sólido. Para poder realizar las curvas de secado primero se deben conocer las distintas formas de representar el contenido de humedad:

- Humedad relativa en base seca (X_{bs}): es la relación que existe entre la masa de agua removida y la masa del sólido seco.
- Humedad relativa en base húmeda (X_{bh}): es la relación que existe entre la masa de agua removida y la masa del sólido húmedo.
- Velocidad de secado (R): es el valor que indica la cantidad de agua que es removida del sólido por unidades de tiempo y área de lecho.

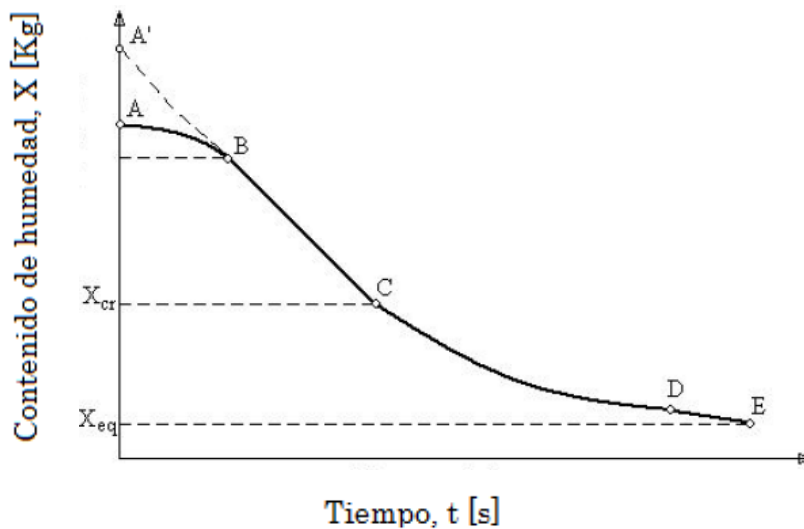
Se pueden trabajar tres curvas de secado donde se puede analizar el comportamiento del equipo de secado:

- Curva de tiempo (equilibrio termodinámico entre dos variables donde se grafica el peso del sólido en función del tiempo de secado)

Si se trabaja con una muestra pequeña y se seca, la diferencia de peso va a ser directamente proporcional a cualquier muestra de medida (si el peso inicial son 2 lb y el peso del sólido seco es 1 lb, de igual forma si el peso inicial del sólido son 8 lb, se puede asumir que se pierde la misma proporción: 4 lb).

Al inicio del secado, el cambio de humedad en el material se observa en la curva A-B. Al terminar el primer período, el secado toma una forma lineal con pendiente negativa (B-C); en esta parte la velocidad de secado es constante. Luego de un período de tiempo se llega a un punto crítico donde la recta tiene a curvarse y forma una asíntota (C-D) donde el punto D es el valor mínimo de humedad en el proceso de secado, por lo que jamás se llega al punto E.

Figura 7. **Modelo ideal de la curva de tiempo de secado**

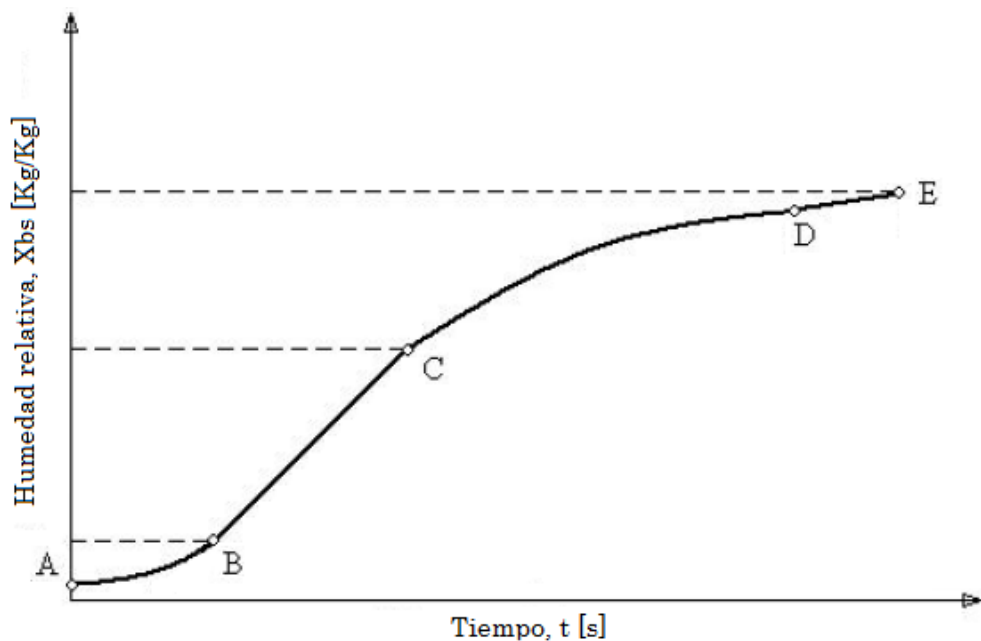


Fuente: DÁVILA NAVA, Juan Rodrigo. *Estudio experimental del efecto de la porosidad de partículas sobre el proceso de secado en un lecho fluidizado a vacío empleando aire*. p. 68.

- Curva de humedad relativa en base seca (equilibrio termodinámico entre dos variables donde se grafica X_{bs} en función del tiempo)

Hay una sección en esta curva de secado donde se genera una recta constante (velocidad de secado constante); se da la salida de la humedad del sólido mediante capilaridad, por lo que la superficie del sólido siempre va a permanecer húmedo. Cuando se comienza a secar el agua por encima de la superficie, se tiene una etapa de decrecimiento de la velocidad de secado, hasta llegar a un valor de humedad relativa constante. Esta curva tiene el comportamiento inverso a la curva de tiempo.

Figura 8. **Modelo ideal de la curva de humedad relativa**

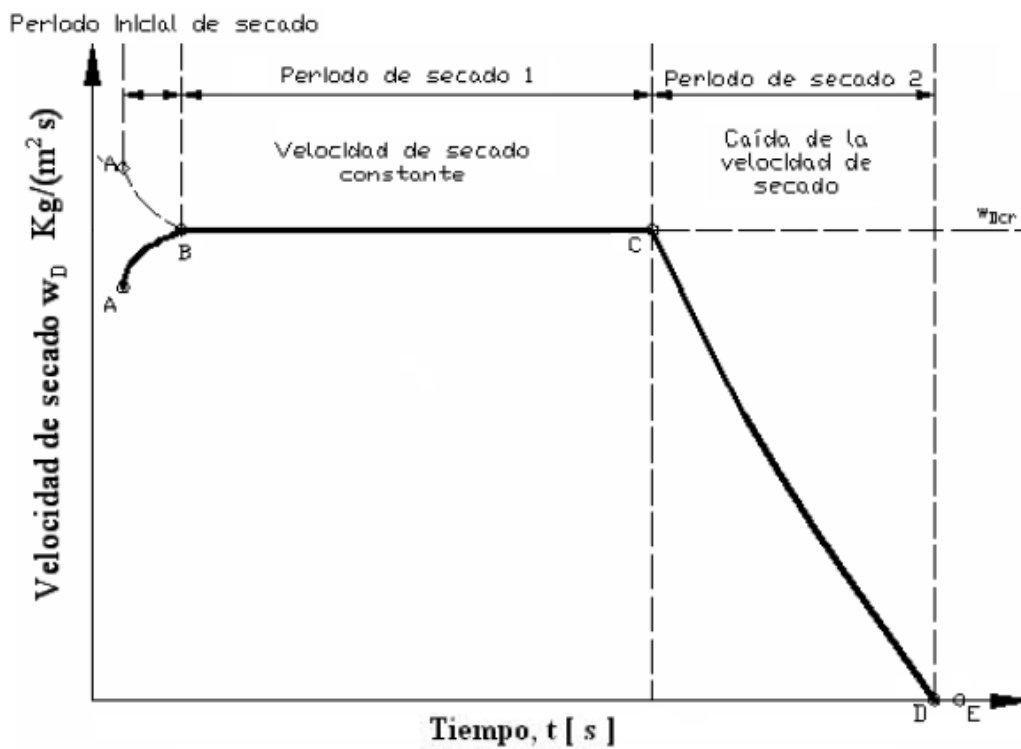


Fuente: DÁVILA NAVA, Juan Rodrigo. *Estudio experimental del efecto de la porosidad de partículas sobre el proceso de secado en un lecho fluidizado a vacío empleando aire*. p. 68.

- Curva de velocidad (equilibrio termodinámico entre dos variables donde se grafica la velocidad de secado en función del tiempo)

Esta curva tiene una sección donde se aprecia una línea recta en sentido horizontal, en el período de tiempo que se encuentra dicha línea, la velocidad de secado permanece constante.

Figura 9. **Modelo ideal de la curva de velocidad de secado**



Fuente: DÁVILA NAVA, Juan Rodrigo. *Estudio experimental del efecto de la porosidad de partículas sobre el proceso de secado en un lecho fluidizado a vacío empleando aire*. p. 68.

2.2.3. Secado solar

El secado utilizando como fuente de energía la radiación solar es uno de los procesos más antiguos. Normalmente se le conoce como deshidratación y se usa como una técnica natural para la preservación de materiales. Antes de definir el tipo de secador solar se deben tener en cuenta ciertos aspectos para determinar las condiciones de secado⁵:

- Características del producto: se debe conocer el contenido inicial de agua en el material y la humedad final que se desea obtener, así como el tamaño de la partícula, la superficie de secado, entre otros.
- Características del secador: el tipo de secador con el que se va a trabajar y el volumen a secar.
- Características meteorológicas del lugar: conocer la humedad relativa, la temperatura, la radiación solar, la velocidad del viento, entre otros.
- Uso posterior: en algunos productos, la influencia de la radiación solar puede desnaturalizar algún compuesto que compone al producto y puede afectar en el uso que se le dará.

2.2.3.1. Secadores solares

Los secadores solares son aquellos que utilizan la radiación solar para deshidratar el producto, mediante el uso de cámaras que constan dos elementos

⁵ Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y Alimentación (CTC). *Secado solar*. p. 1. <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/SECADO-SOLAR.pdf>. Consulta: 30 de abril de 2015.

básicos: el colector, donde la radiación calienta el aire y la cámara de secado, donde el producto es deshidratado por el aire que pasa.

Según Gamaliel Moreno en su trabajo titulado: *Manual de construcción y operación de una secadora solar*, indica que el aire circula dentro del secador con el fin de eliminar la humedad que va siendo evaporada del producto. Para que el aire circule dentro del dispositivo se pueden emplear dos métodos:

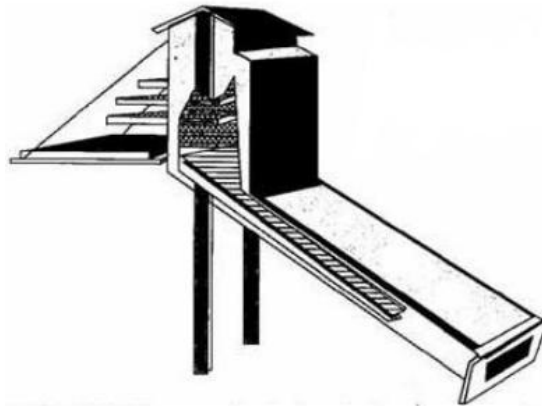
- Circulación forzada: es cuando el aire es movido dentro del secador utilizando un ventilador que es movido por energía mecánica o eléctrica.
- Circulación natural: es cuando el aire es movido por el diferencial de temperatura entre el interior del equipo y el exterior, haciendo que por diferencia de densidades el aire caliente salga por la parte superior y el aire frío por la parte inferior del secador.

Basado en la distribución de los elementos del secador, existen dos tipos:

- Secador solar indirecto: en este el colector y la cámara de secado se encuentran separadas. El aire al entrar a la cámara es calentado por la radiación solar, pero ésta no incide sobre el producto a secar, ya que la cámara de secado no permite el ingreso de dicha radiación, solamente el aire caliente actúa en el proceso de secado.
- Secador solar directo: para este tipo de secador se ponen juntos el colector y la cámara de secado, donde la cámara que contiene el producto también cumple la función de colector al recibir de manera directa la radiación solar. Para estos casos la radiación es absorbida por el producto, resultando más

efectivo el aprovechamiento de la energía solar para evaporar el agua contenida en el producto.

Figura 10. **Secador solar indirecto**



Fuente: MORENO M, Gamaliel. *Manual de construcción y operación de una secadora solar*. p. 1. http://cbi.izt.uam.mx/iph/archivos_profesores/50/archivos/4f197.pdf, Fecha de consulta: 24 de agosto de 2016.

Figura 11. **Secador solar directo**



Fuente: MORENO M, Gamaliel. *Manual de construcción y operación de una secadora solar*. p. 2. http://cbi.izt.uam.mx/iph/archivos_profesores/50/archivos/4f197.pdf, Fecha de consulta: 24 de agosto de 2016.

3. METODOLOGÍA

3.1. Delimitación del campo de estudio

El diseño del deshidratador solar se basó en las condiciones climáticas que se dan en las comunidades donde se ha analizado el problema (El Progreso, Jalapa y Chiquimula).

La construcción del deshidratador se hizo en las instalaciones de la planta San Miguel, ubicada en Sanarate, El Progreso, donde también se tomaron las muestras de la hoja de Paraíso Blanco para su secado.

Este proyecto se enfocó en los resultados obtenidos con el prototipo construido y estos datos pueden ser tomados como base para la implementación del deshidratador en las comunidades mencionadas.

3.2. Criterios de diseño

Se buscaba que el deshidratador solar cumpliera con la finalidad de procesar las hojas de Paraíso Blanco para su consumo en distintas comunidades del área rural; según lo anterior, el diseño del dispositivo debía cumplir con el proceso de secado y que su construcción fuera económicamente viable para la población objetivo.

- Características de los materiales: los materiales a elegir tenían que ser resistentes a las condiciones climáticas de la región, asimismo que

pudieran captar y almacenar el calor producido por la radiación solar, que fueran económicos y fáciles de conseguir.

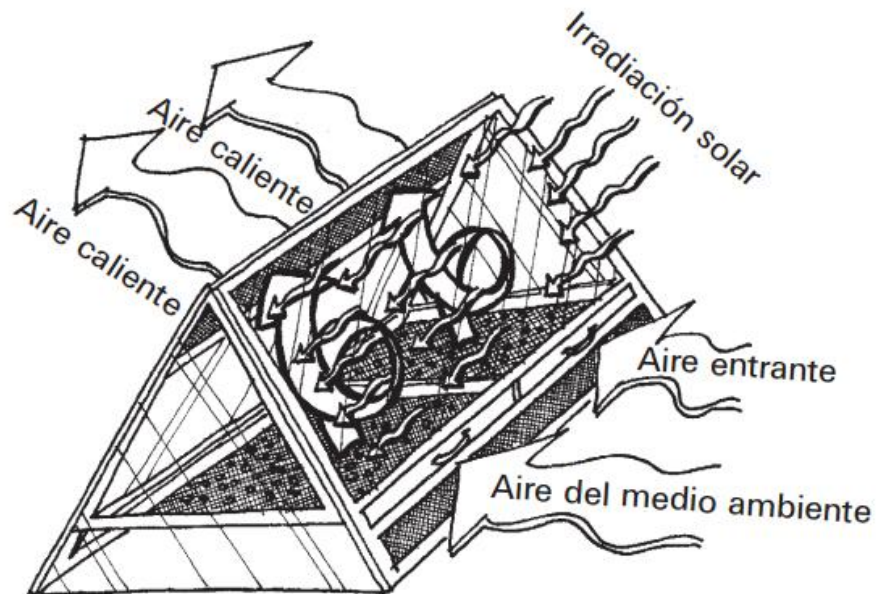
- Modo de construcción y operación: el diseño de la estructura debía ser lo más sencillo posible para que la gente pueda construirlo y permita su manejo de una manera práctica.
- Pérdidas de energía: debido a que la humedad del suelo puede afectar en el proceso de secado, la base del deshidratador no tenía que estar en contacto directo con el mismo, así como tener un aislante térmico para evitar pérdidas de calor; también, el diseño del secador debía poder captar la mayor cantidad de energía solar posible para aumentar su eficiencia.
- Cantidad a procesar: se debe de determinar el área de secado para poder deshidratar una cantidad considerable de Paraíso Blanco para su consumo.

3.3. Diseño del secador

Con los criterios a utilizar, se buscaron modelos de deshidratador que fueran acorde a lo que se deseaba trabajar y las condiciones del sector, encontrando muy útil el diseño del deshidratador de tipo carpa.

Este deshidratador está conformado de una estructura triangular, cubierta en su totalidad por una capa transparente de plástico. Las aberturas de ventilación se colocan en la parte inferior y superior del dispositivo para permitir el flujo de aire. Dentro del deshidratador se colocan bandejas cubiertas por una malla, y sobre esta se coloca el producto a secar.

Figura 12. **Deshidratador solar tipo carpa**



Fuente: UNESCO. *Guía de uso de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes*. p. 11.

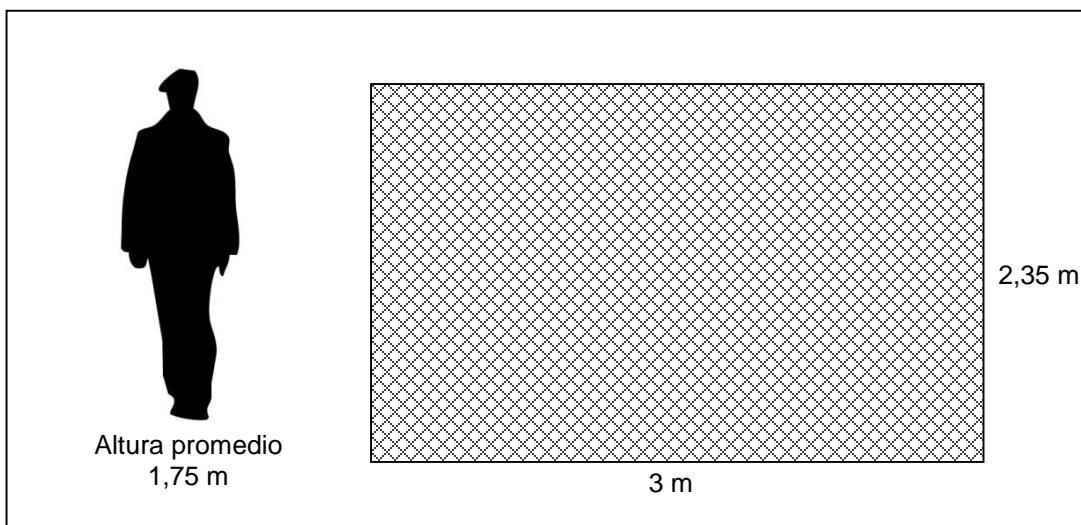
<http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/ED-Guiasecaderosolar.pdf>. Consulta: 4 de agosto de 2016.

Al tratarse de un deshidratador solar directo, se puede aprovechar al máximo la radiación del sector cálido, siendo más eficiente el proceso de secado; asimismo, este diseño es fácil de construir y permite captar dicha radiación en cualquier dirección, sin importar la posición del sol.

Ya que se deseaba que el deshidratador pueda ser trasladado hacia varios lugares, no puede ser de gran tamaño para permitir su transporte, asimismo no debía ser muy pequeño, para asegurar que se puede secar una cantidad significativa de Paraíso Blanco en cada lote.

Para determinar las dimensiones del deshidratador solar, primero se definió el tamaño de la base. Se decidió que fuera de 3 m x 2,35 m, teniendo un área disponible de 7,05 m² para calentar el aire que ingresa al dispositivo por la parte inferior.

Figura 13. **Tamaño definido de la base del deshidratador**



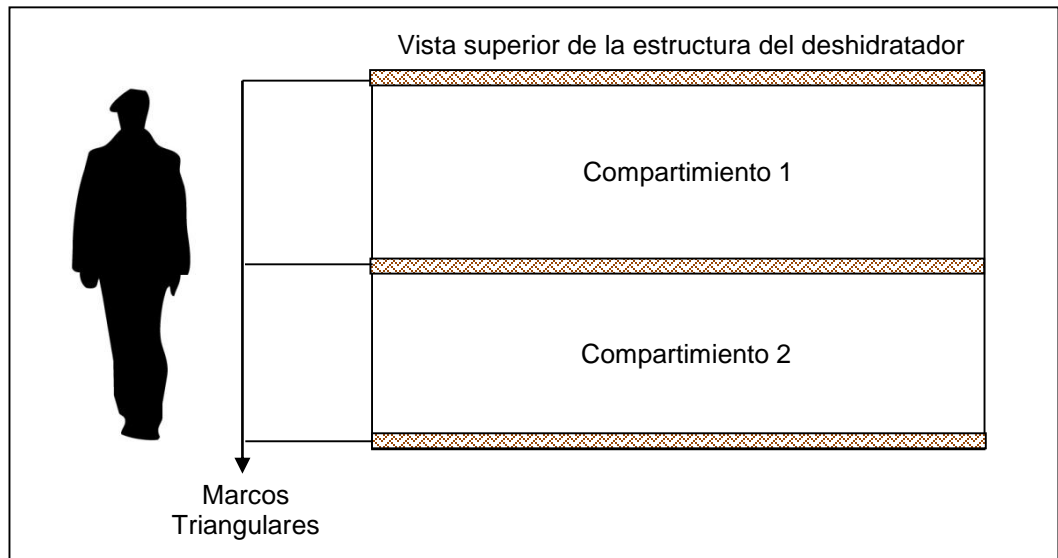
Fuente: elaboración propia.

La altura de la posición de las bandejas dentro del deshidratador fue de 50 cm, esto para que el producto no tuviera contacto directo con el fondo del dispositivo; asimismo para dejar espacio a que el aire pueda calentar por debajo de las bandejas y exista un flujo de este hacia arriba.

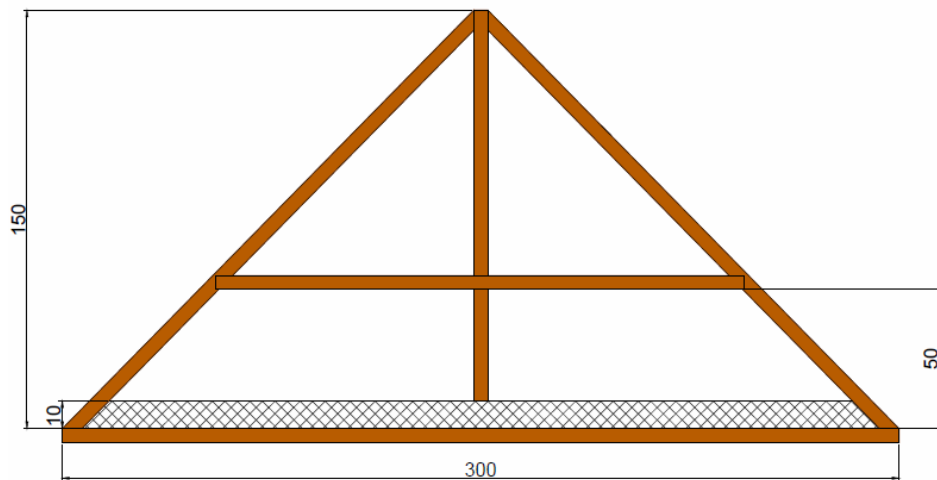
Para que la estructura fuera firme, se determinó que esta fuera constituida por 3 marcos en forma de triángulo isósceles de 3 metros de base por 1,50 metro de altura, colocando dos en los extremos y uno al centro, permitiendo que tenga dos compartimientos para poder colocar las bandejas de secado. Todas las

dimensiones (base, altura de bandejas y marco triangular) fueron establecidas por criterio propio.

Figura 14. Estructura base del deshidratador solar



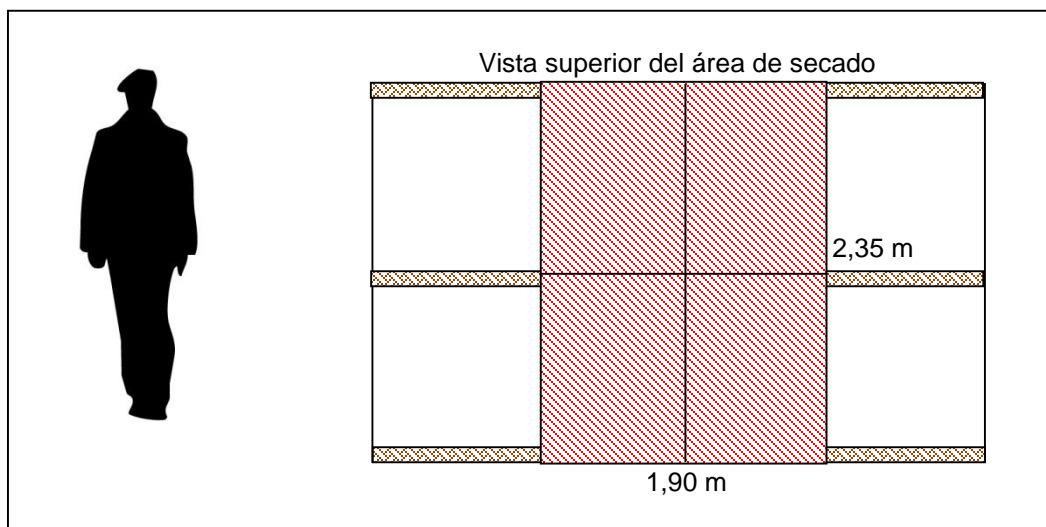
Vista frontal del marco triangular (medidas de la figura en centímetros)



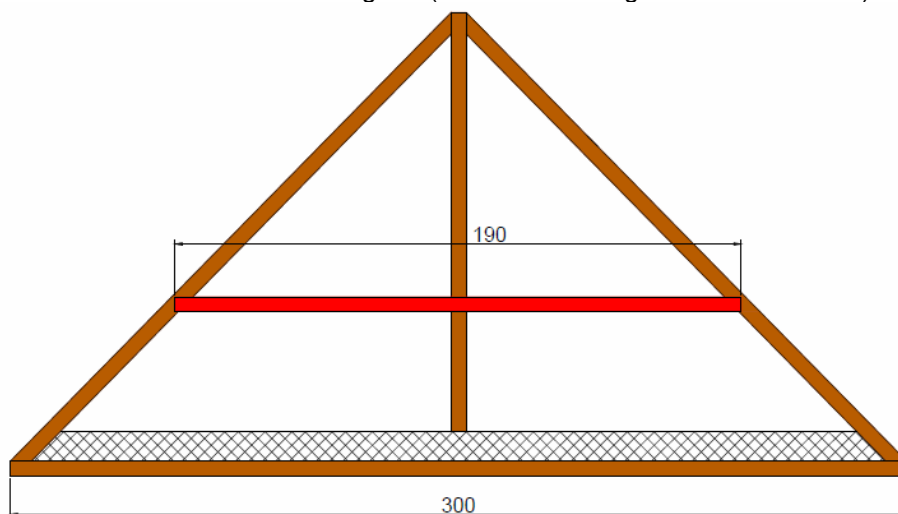
Fuente: elaboración propia.

Con la estructura y la posición de las bandejas establecido, se obtuvo un área de secado de $4,5 \text{ m}^2$ aproximadamente ($2,35 \text{ m}$ por $1,90 \text{ m}$) sobre los 50 cm de altura designados para la colocación de bandejas y delimitado por la estructura triangular, siendo suficiente para la operación de secado.

Figura 15. **Área de secado del deshidratador solar**



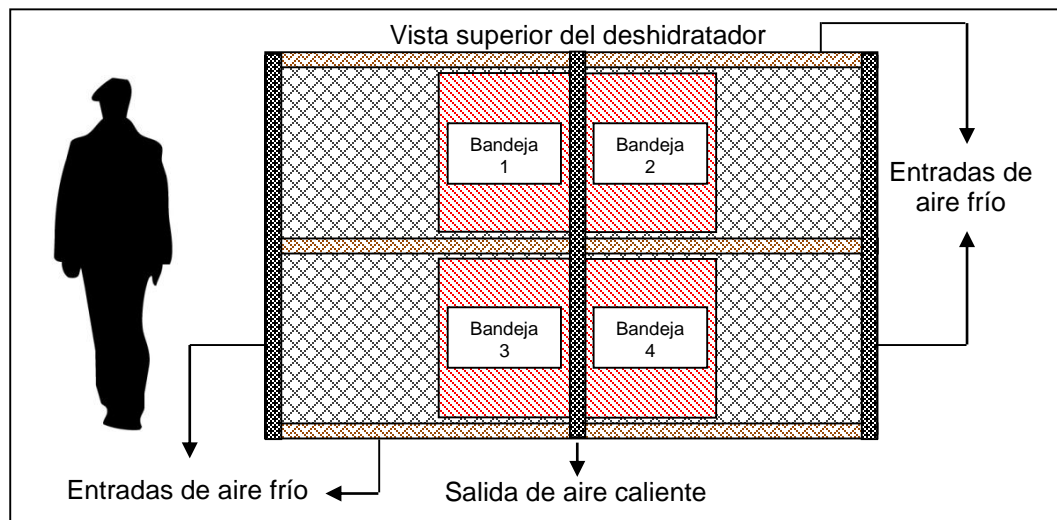
Vista frontal del marco triangular (medidas de la figura en centímetros)



Fuente: elaboración propia.

Asumiendo que la estructura del deshidratador iba a ser hecha de madera con vigas de 5 cm de grosor, se redujo el ancho del área efectiva de secado, quitando el espacio ocupado por los marcos triangulares, a 2,20 m de largo y 1,70 m de ancho. En cada compartimiento del interior del deshidratador se propuso colocar dos bandejas, por lo que el área efectiva de secado se dividió en 4 partes iguales; quitando 1 cm en las medidas de cada bandeja para evitar que rose con la estructura se obtuvo 4 bandejas con medidas de 108 cm de largo por 84 cm de ancho.

Figura 16. **Distribución final del área de secado**



Fuente: elaboración propia.

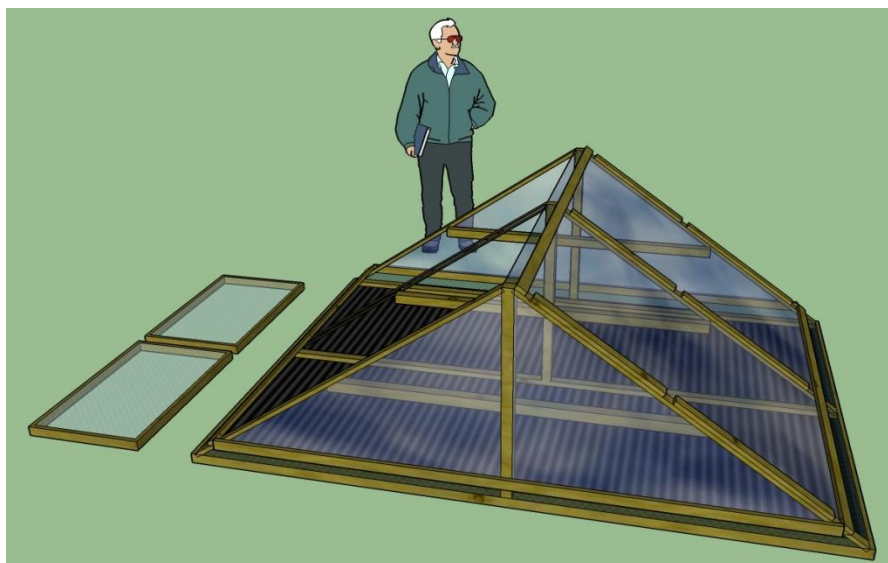
Las entradas y la salida de aire tienen un ancho de 10 cm, ubicando la entrada en toda la orilla inferior de la base (permitiendo el ingreso de aire en cualquier dirección) y la salida en la parte superior, abarcando el largo del dispositivo. Las puertas que permiten el ingreso al interior del deshidratador fueron colocadas a un costado del dispositivo, una por cada

compartimiento, permitiendo que se puedan remover y colocar las bandejas dentro del deshidratador.

Con la estructura del deshidratador, se decidió cubrir la superficie del dispositivo y las puertas utilizando un protector transparente que se ajuste sobre los marcos triangulares, sellando el interior del dispositivo y dejando únicamente libres los pasos de aire, los cuales se cubren con una malla.

Al tener todas las especificaciones del deshidratador solar tipo carpa, se procedió a presentar el modelo propuesto del dispositivo, el cual fue revisado y aprobado por el encargado de Agrobosques. Con esto se procedió a determinar los materiales con los cuales se iba a construir el deshidratador.

Figura 17. **Modelo 3D del deshidratador solar**



Fuente: elaboración propia.

3.4. Selección de materiales para construcción del deshidratador

Se hizo una búsqueda de materiales que podían ser reutilizados para la construcción del deshidratador solar, los cuales debían cumplir las características definidas en los criterios de diseño.

Para la estructura principal del deshidratador se buscaba un material resistente a las condiciones del sector, por lo que se evaluaron dos opciones: madera y tubos de metal reciclados.

La desventaja que tiene al utilizar tubos de metal es que se necesita de herramientas específicas para trabajarlos, mientras que la madera es menos complicada de cortar y adecuar las medidas, además que se puede conseguir fácilmente en las comunidades.

Para la base del deshidratador se necesitaba utilizar materiales que eviten el paso de humedad y transferencia de calor hacia el suelo. Lo más fácil de conseguir para este fin son bolsas plásticas negras que se utilizan para basura, las cuales se consiguieron a un costo muy reducido. Para captar la radiación solar se consiguieron láminas metálicas, las cuales son muy utilizadas en el área rural para las viviendas; por ser de metal tienen una alta conductividad térmica, captando el calor proveniente de los rayos solares. Para evitar el paso de calor al suelo se buscaron materiales provenientes de los árboles, ya que la celulosa es un excelente aislante térmico natural. Lo más fácil de conseguir fue paja seca, la cual es cubierta con plástico para evitar la posible contaminación del alimento a secar por causa de este.

Para el recubrimiento del deshidratador se consiguió polietileno transparente que se utiliza normalmente para colocar sobre mesas, el cual se

puede obtener en mercados locales; la ventaja de este es que puede resistir el calor y no se rompe con facilidad, siendo apto para utilizar en el exterior.

Lo más complicado fue conseguir un material para las entradas y salidas del aire, así como para las bandejas, ya que este material debe ser resistente a las condiciones de calor, que no contamine el producto a secar y evite el paso de insectos por las entradas y salidas de aire, pero que permita el flujo de este a través del lecho de las hojas que se están secando. Se decidió utilizar malla media sombra, ya que es especial para su uso en invernaderos y Agrobosques lo utiliza en sus proyectos, por lo que disponían de éste para ser reutilizado.

Tabla III. **Materiales a utilizar para la construcción del deshidratador solar**

Material	Uso
Madera	Estructura del deshidratador
Bolsas plásticas	Aislante de humedad
Paja seca	Aislante térmico
Lámina metálica	Captador de radiación
Polietileno transparente	Recubrimiento del deshidratador
Malla media sombra	Protección de entradas/salidas de aire, bandejas

Fuente: elaboración propia.

3.5. Dimensiones y especificaciones.

- Base del deshidratador: esta sección se conformó de un marco de madera con una dimensión de 3 m x 2,35 m. En la parte inferior del dispositivo se colocaron 3 elementos: un material impermeable (puede ser plástico o una lámina) de color negro para evitar la humedad desde el suelo; una capa de paja seca (colocada entre una capa de plástico para evitar la posible contaminación de la hoja de Paraíso Blanco por este) de un amplio espesor que hace la función de aislante térmico; y una lámina metálica con un recubrimiento de pintura negra que se encarga de captar la radiación.
- Estructura del deshidratador: el cuerpo del dispositivo se construyó con 3 marcos de madera en forma de triángulo isósceles, con una base de 3 metros y una altura de 1,50 metros. En el medio del marco se colocó una viga vertical de 1,5 m y otra horizontal de 1,90 m para sostener las bandejas, asimismo dos vigas de 2,35 m que unían los 3 marcos a una distancia de 1,10 m entre sí, formando un marco en la parte inferior que ajustó los triángulos a la base. En el marco triangular del medio se colocaron dos vigas horizontales de 1,90 m para las bandejas. Las vigas para la construcción de la estructura eran de madera rústica, sin importar su tipo. Al final se colocaron las dos puertas a un costado del deshidratador con medidas de 1,12 m por 1,86 m, cubriendo así el área lateral del mismo.
- Cubrimiento del deshidratador: el dispositivo se cubrió en casi su totalidad de polietileno transparente que permite la recepción de radiación solar y el paso de este dentro del deshidratador; asimismo, actúa como barrera para mantener la radiación en el interior, provoca efecto invernadero y aprovecha de mejor manera la energía.

- Pasos de aire: para tener un flujo de aire dentro del dispositivo, se colocaron respiraderos en el borde inferior del deshidratador y se ubicó la salida de aire en la parte superior. Los respiraderos son de aproximadamente 10 cm de grosor. Para este fin se utilizó malla media sombra (es el único material que fue de costo elevado).
- Bandejas: para el secado se hicieron 4 bandejas elaboradas con las mismas vigas de madera que la estructura y fueron cubiertas con malla media sombra. Las dimensiones de cada una fueron de 108 cm x 04 cm.

3.6. Recursos humanos disponibles

- Investigador: Janiel Coyoy Chicas
- Asesor: Inga. Hilda Palma
- Colaboradores: Trabajadores del vivero en la planta San Miguel

3.7. Recursos materiales disponibles

3.7.1. Materia prima

- Muestras de hojas de Paraíso Blanco cultivadas en el vivero de la planta San Miguel.

3.7.2. Materiales de construcción

3.7.2.1. Base del deshidratador

- 2 vigas de madera de 3 m.
- 2 vigas de madera de 2,25 m.

- 2 planchas de lámina de 2,35 m x 3 m.
- Paja seca.
- Plástico negro (para cubrir la paja).
- Pintura negra (para pintar la lámina superior).

3.7.2.2. Estructura general del deshidratador

- 6 vigas de madera de 2,15 m.
- 3 vigas de madera de 1,50 m.
- 4 vigas de madera de 1,90 m.
- 3 vigas de madera 2,90 m.
- 4 vigas de 2,35 m (para colocar dos a la salida de aire en la parte superior y 4 a los costados en la parte inferior).
- 1 viga de 2,35 m (para unir los 3 marcos triangulares en la parte superior).
- 2 vigas de 2,35 m (para unir los 3 marcos triangulares en la parte inferior).
- 2 marcos de madera de 1,12 m por 1,86 m (para las puertas laterales del dispositivo).
- 6 bisagras grandes (para sostener y abrir las puertas).
- 2 tiras de malla media sombra 3 m por 0,10 m (para respiraderos inferiores).
- 3 tiras de malla media sombra 2,35 por 0,10 m (para respiraderos laterales y superior).
- 10 m de Polietileno transparente (para el recubrimiento del deshidratador).
- Clavos de 1 ½" de largo.

3.7.2.3. Bandejas

- 4 marcos de madera de 108 cm por 84 cm.

- 4 piezas de malla media sombra de 108 cm por 84 cm.
- Clavos de 1 ½" de largo.

3.8. Construcción del deshidratador solar

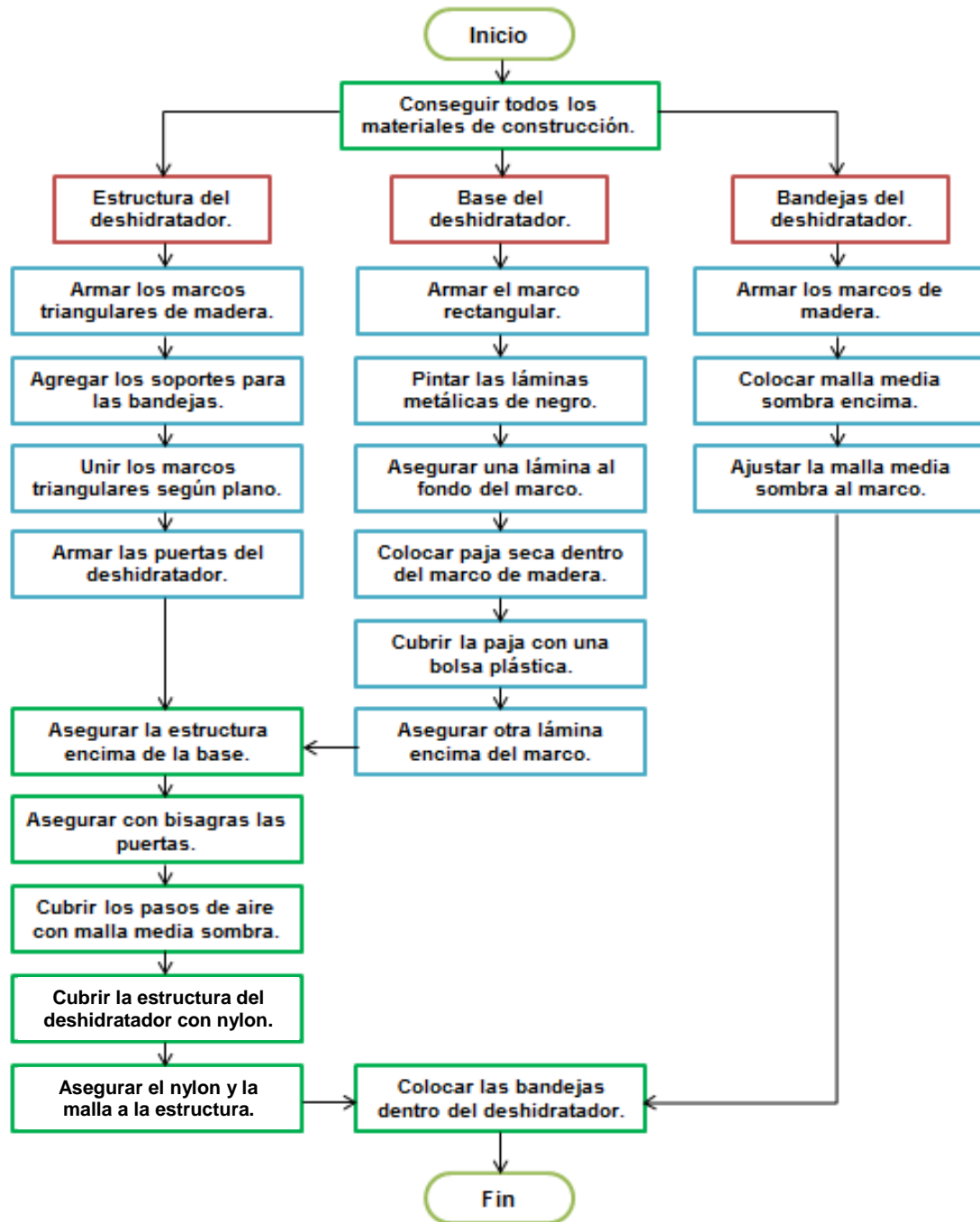
Para comenzar con la construcción del dispositivo, se trabajaron los planos con las dimensiones utilizando AutoCAD y se siguió el modelo 3D del mismo elaborado con el programa SketchUp Make para dar una idea a los trabajadores del área de la planta San Miguel sobre el diseño del deshidratador.

Los materiales para su construcción en su mayoría fueron reutilizados de otros proyectos trabajados (como la malla media sombra y la madera), así como algunos que se tenían almacenados sin ningún uso en particular (como las láminas y la paja) y los comprados (polietileno transparente).

Para comenzar la construcción del deshidratador, primero se hicieron los marcos triangulares y se agregaron los soportes para las bandejas; luego se armó la estructura principal uniendo los marcos por la parte superior e inferior con madera. La base fue hecha con dos láminas metálicas pintadas de negro las cuales cubrían un marco rectangular de madera y contenía dentro la paja seca cubierta con plástico. Utilizando clavos fue ajustada la estructura del deshidratador con la base y luego se colocaron las puertas con bisagras ubicadas en la parte superior para que pudieran ser abiertas hacia arriba.

Al tener listo el cuerpo del deshidratador se procedió a cubrir las entradas y salidas de aire con trozos de malla media sombra, luego se cubrió el resto del dispositivo con polietileno transparente y al final se construyeron las 4 bandejas con marcos de madera cubiertos en la parte superior por malla media sombra.

Figura 18. Diagrama de flujo para construcción del deshidratador



Fuente: elaboración propia.

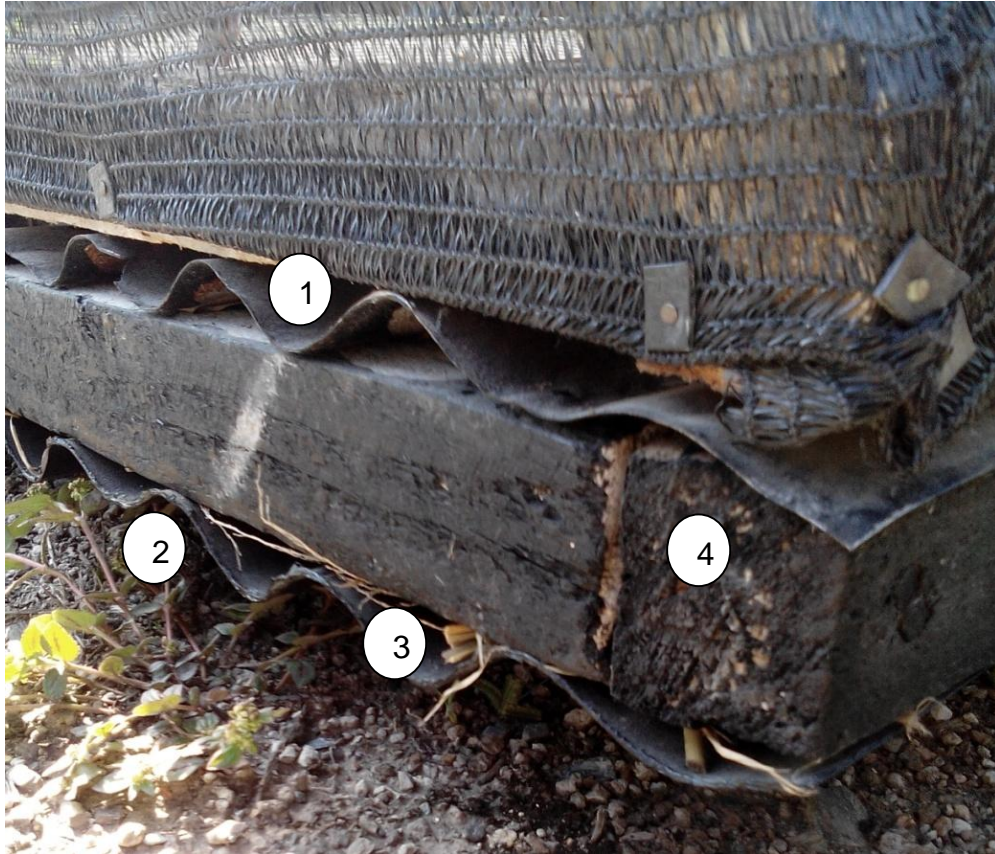
Figura 19. **Deshidratador solar construido**



Fuente: elaboración propia.

Para la base del deshidratador se utilizaron dos planchas construidas con láminas pintadas con pintura negra (1 y 2); en el medio de la base se colocó la capa de paja seca (3) cubierta de plástico y para unir todo se colocó un marco de madera (4), formando una especie de caja cerrada para mantener la paja en su lugar.

Figura 20. **Base del deshidratador**



Fuente: elaboración propia.

La ventaja de trabajar la base del deshidratador de esta forma, es que lo vuelve portátil, permitiendo ser colocado en el lugar más adecuado para su funcionamiento dependiendo de las condiciones geográficas y climáticas del sector.

La estructura general del deshidratador fue elaborada con madera rústica que se tenía disponible en el lugar, adaptando cada viga a las dimensiones del dispositivo, formando los marcos triangulares y las puertas.

Figura 21. Estructura de madera y puertas del deshidratador



Fuente: elaboración propia.

La malla media sombra fue utilizada para colocar los respiraderos superior e inferiores y el cubrimiento de las bandejas donde se coloca el Paraíso Blanco para su secado.

Figura 22. Pasos de aire y diseño de bandeja con malla media sombra



Fuente: elaboración propia.

El deshidratador fue cubierto casi en su totalidad por polietileno grueso, dejando el paso de la radiación solar, resistiendo las condiciones climáticas y protegiendo el producto en su interior.

El tiempo que se tomó para la construcción del deshidratador fue de aproximadamente 3 días, teniendo ya listos todos los materiales para su fabricación.

Debido a que la mayoría de materiales utilizados fueron reciclados, el costo final del deshidratador solar fue bastante reducido.

Tabla IV. **Materiales utilizados y costo final del deshidratador solar**

Material.	Uso	Obtención	Precio (Q.)
Madera rústica	Estructura del deshidratador/bandejas	Reciclado	Q0,00
Lámina metálica	Receptores de calor/base	Reciclado	Q0,00
Paja seca	Aislante térmico	Reciclado	Q0,00
Polietileno transparente	Cubierta del deshidratador	Comprado	Q170,00 (17 yardas)
Malla media sombra	Base de bandejas/ranuras de paso de aire	Reciclado	Q0,00
Pintura anticorrosiva	Pintado de láminas oxidadas	Comprado	Q45,00 (1/2 galón)
Brocha	Aplicación de la pintura	Comprado	Q15,00
Clavos de 5 cm	Unión de la estructura del deshidratador	Comprado	Q60,00 (caja de 1 kg)
Clavos de 2 cm	Unión del Polietileno y la malla media sombra	Comprado	Q25,00 (caja de 1 kg)
Bisagras 3 cm de largo	Puertas del deshidratador	Comprado	Q30,00 (6 unidades)
Total			Q345,00

Fuente: elaboración propia.

3.9. Obtención del Paraíso Blanco (*Moringa oleífera Lam*)

La planta de Paraíso Blanco utilizada para esta investigación fue sembrada dentro del área de Agrobosques, ubicada dentro de las instalaciones de la planta San Miguel. El tiempo de crecimiento de dicha planta fue de aproximadamente 1 mes y 15 días, alcanzado una altura entre 1 y 1,30 metros.

El Paraíso Blanco fue sembrado entre junio y julio de 2015, por lo que se obtuvo el tamaño deseado a finales del mes de octubre de ese mismo año, trabajando el secado de la planta a principios del mes de noviembre del año en mención.

Figura 23. Plantaciones de Paraíso Blanco



Fuente: elaboración propia.

Debido a que no todos los árboles se encontraban en las mismas condiciones y aprovechando el rápido crecimiento del Paraíso Blanco, se elegían los más grandes y los de tamaño medio a la siguiente semana ya presentaban el tamaño adecuado para ser utilizados. El estudio se realizó los días 6 y 13 de noviembre de 2015.

Para el primer día de evaluación se tomó una muestra de 24 árboles (6 árboles por bandeja) mientras que en el segundo se tomaron 28 árboles (7 árboles por bandeja) para determinar cuántos de estos se pueden secar en un lote.

Sobre las bandejas se colocaron las hojas de Paraíso Blanco de tal forma que quedaran distribuidas de manera uniforme y sin dejar secciones muy llenas para que todas tuvieran contacto directo con el aire caliente dentro del deshidratador.

Se determinó dada la cantidad de árboles utilizados y la masa de hojas cortadas, que se lograba obtener aproximadamente entre 40 y 50 gramos de hoja fresca por cada unidad.

Figura 24. **Colocación de las hojas de Paraíso Blanco**



Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Deshidratador solar con muestras de Paraíso Blanco**



Fuente: elaboración propia.

3.10. Pruebas de secado

Para realizar las pruebas de secado se tomaron 4 muestras de hoja fresca que abarquen el área transversal de cada bandeja. Las muestras se colocaron dentro del deshidratador y se pesaron 100 gramos de hoja tomadas de una de las bandejas, colocándolas luego en un punto estratégico en dicha bandeja para indicar la muestra control. Cada 10 minutos se pesó la muestra control y se volvía a colocar en la bandeja.

Figura 26. **Muestra control de Paraíso Blanco**



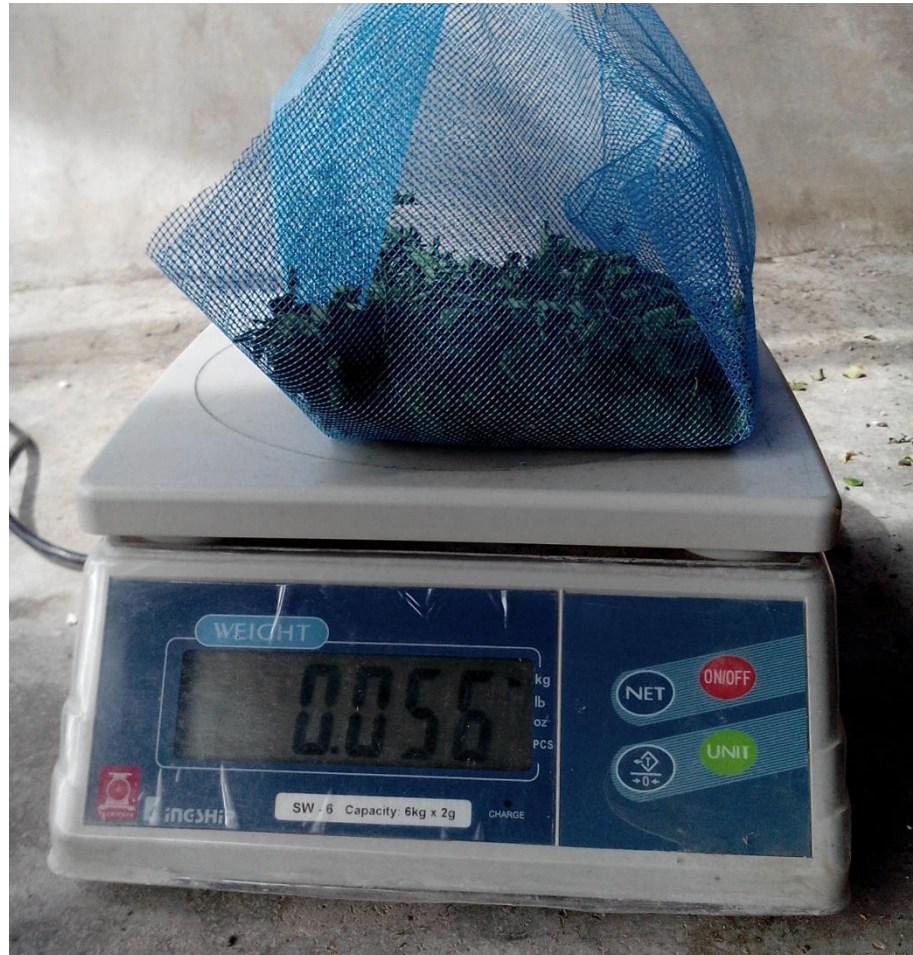
Fuente: elaboración propia.

La muestra fue colocada encima de una malla plástica con alambres de cobre a las orillas, de esta forma se podía retirar del deshidratador sin necesidad de mover la bandeja y asegurando tener siempre la misma cantidad al momento del pesaje.

Para que el secado de las muestras fuera más parejo, cada hora se movían las hojas en las bandejas de abajo hacia arriba para que se obtuviera un secado más parejo y no quedaran partes con un contenido alto de humedad.

El dispositivo fue colocado de tal forma que las hojas de Paraíso Blanco siempre estuvieran expuestas a la luz solar en su recorrido de este a oeste.

Figura 27. **Modo de pesaje de la muestra de Paraíso Blanco**



Fuente: elaboración propia.

Se fue tomando el peso de la muestra control desde el momento que se colocó dentro del deshidratador solar hasta llegar al momento que no cambiaba de masa, indicando que se había extraído su máxima cantidad de humedad.

Para la medición de la masa de la muestra control se utilizó una balanza marca Tecnipesa modelo SW-6 con capacidad hasta de 6 kg. Se taró la malla con los alambres de cobre para determinar la masa de la muestra.

Se trabajaron dos pruebas de secado, con una semana de por medio entre cada prueba. En el primer día se realizó el secado desde las 9:35 am hasta la 1:00 pm, teniendo un tiempo efectivo de 3:25 horas de exposición al sol; llegó a su punto máximo entre las 11:00 am y la 1:00 pm.

Para la segunda prueba, se inició el secado a las 10:30 am y finalizando a la 1:30 pm; se tuvo un tiempo efectivo de 3:00 horas. Para este día se tuvo un poco más de dificultad debido a que se encontraba nublado, por lo que no se tuvo una buena exposición al sol hasta pasadas las 12:30 pm cuando se despejó el cielo.

Los tiempos y pesajes obtenidos para cada corrida se pueden apreciar en el apéndice 4.

3.11. Determinación del análisis bromatológico y porcentaje de humedad de las muestras

Para cada corrida trabajada, se tomó una muestra de 200 g de hoja seca de Paraíso Blanco y también una misma cantidad de muestra de hojas frescas de la misma cosecha. Para la recolección de las hojas secas se colocó un plástico debajo de las bandejas y utilizando las manos se molieron las hojas contra la malla de las bandejas, cayendo las partículas secas y quedando los residuos sin secar en la parte superior.

Figura 28. Toma de muestras secas de Paraíso Blanco



Fuente: elaboración propia.

Las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala donde fue proporcionado un reporte con los valores bromatológicos de cada muestra.

Los análisis realizados a las muestras de hoja fresca y seca de Paraíso Blanco se muestran en la tabla siguiente.

Tabla V. **Pruebas realizadas a las muestras de Paraíso Blanco**

Análisis	Método de referencia	Aplicable	Unidades	Rango
Materia seca	AOAC: 930,15	4,8,9	%	85 a 100
Materia seca	Bateman 6.111	1,2,5,6	%	1 a 85
Materia seca	AOAC: 925,04	3	%	10 a 85
Proteína cruda	AOAC: 976,05 Tecator: Manual del kjeltec Auto 1030 Analyzer	1,2,3,4,5,6,9	%	1 a 300
Fibra cruda	Tecator: Manual del 1010/1021 Fibertec System I AOAC: 962,09 Bateman	1,2,3,4,5,6,7,8	%	1 a 60
Extracto etéreo	Bateman 9,110	1,2,3,4,5,6,8	%	0 a 100
Cenizas	AOAC: 942,05	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	%	0 a 100
Extracto libre de nitrógeno	Bateman: 10,200	1,2,3,4,5,6	%	0 a 100

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de estos análisis se pueden encontrar en los anexos 1 y 2.

3.12. Determinación de los valores nutricionales de la hoja de Paraíso Blanco

Con los resultados del análisis bromatológico, se calculó el aporte de calorías, carbohidratos, proteínas y grasa en una muestra de 100 g de la hoja de Paraíso Blanco en fresco y secas.

3.13. Elaboración de las curvas de secado

Con los valores resultantes de los procesos de secado y según el contenido de humedad de cada muestra, se calculó la humedad relativa en base seca y la velocidad de secado en cada período de pesaje.

Después de la tabulación y elaboración, se procedió al análisis de los datos. Utilizando el programa Microsoft Excel, finalmente se elaboraron las curvas de secado (curva de tiempo, curva de humedad relativa en base seca y la curva de la velocidad de secado) de cada prueba de secado.

Los datos tabulados y los valores para realizar las curvas de secado se encuentran en el apéndice 5.

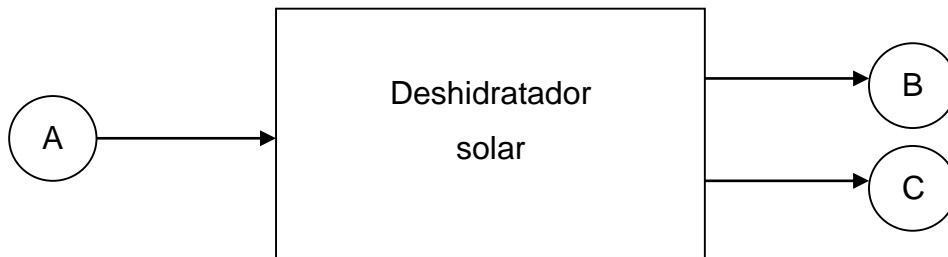
3.14. Cálculo del balance de masa dentro del deshidratador

Se realizó un balance de masa en función de los porcentajes de agua removida y los pesos obtenidos al inicio y al final de cada prueba; esto se puede hacer porque se asume que el secado es uniforme en todo el dispositivo, por lo que los porcentajes de humedad de toda la materia seca serán iguales que los porcentajes resultantes en las muestras utilizadas para el análisis bromatológico.

La ecuación básica del balance de masa se expresa de la siguiente forma:

$$\text{Entradas} = \text{Salidas}$$

Figura 29. **Diagrama del balance de masa dentro del deshidratador solar**



Fuente: elaboración propia.

Según el diagrama, A hace referencia a la masa inicial de Paraíso Blanco, mientras que B hace referencia a la masa final de la muestra y C a la cantidad total de agua removida; entonces la ecuación quedaría de la siguiente forma:

$$A = B + C$$

El resultado de los balances de masa se puede ver en el apéndice 6.

3.15. Implementación del proyecto en el área rural

Se elaboró un pequeño instructivo que puede ser utilizado para capacitar a las personas que viven en el área rural, donde se explica la ventaja de utilizar el deshidratador solar para el secado de la hoja de Paraíso Blanco, los materiales que pueden utilizar para su construcción y la forma correcta de armarlo.

Este instructivo se puede observar en el apéndice 9.

4. RESULTADOS

Tabla VI. **Porcentajes de humedad de las muestras de Paraíso Blanco**

Fecha	Muestra	% humedad
06/11/2015	Hoja Paraíso Blanco fresca	79,18
	Hoja Paraíso Blanco seca	8,46
13/11/2015	Hoja Paraíso Blanco fresca	79,87
	Hoja Paraíso Blanco seca	12,96

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Eficiencia del deshidratador solar**

Fecha	Eficiencia (% de humedad extraída)
06/11/2015	89,31
13/11/2015	83,77

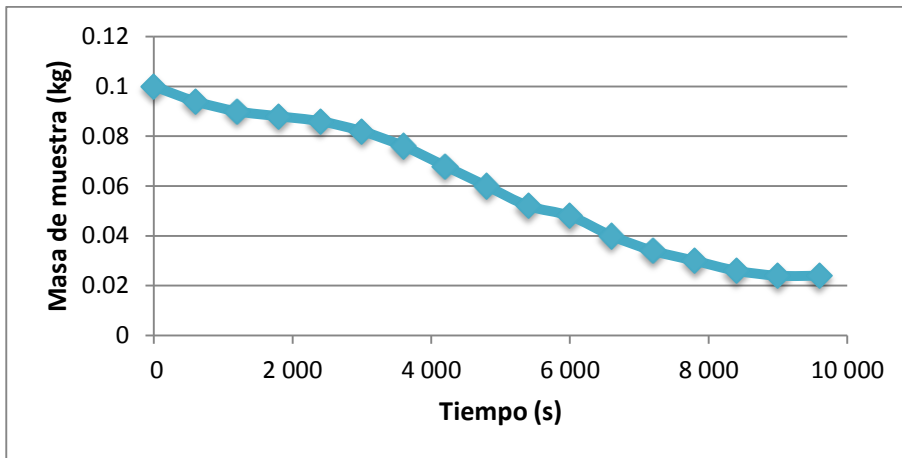
Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Análisis bromatológico de las muestras de Paraíso Blanco como alimento**

Análisis	Día 1 (06/11/2015)		Día 2 (13/11/2015)	
	Hoja fresca	Hoja seca	Hoja fresca	Hoja seca
% agua	79,18	8,46	79,87	12,96
% masa seca total	20,82	91,54	20,13	87,04
% grasas	0,76	2,12	0,81	2,16
% fibra cruda	3,56	20,08	2,87	15,44
% proteína cruda	7,65	31,52	6,47	31,40
% cenizas	2,39	11,11	2,19	8,05
% carbohidratos	31,05	29,19	38,71	34,45

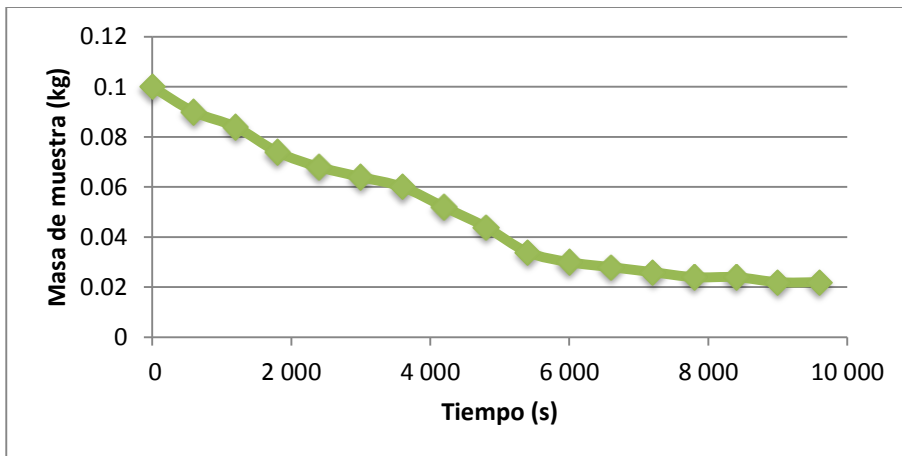
Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Curva de tiempo de secado de la muestra de Paraíso Blanco (06/11/2015)**



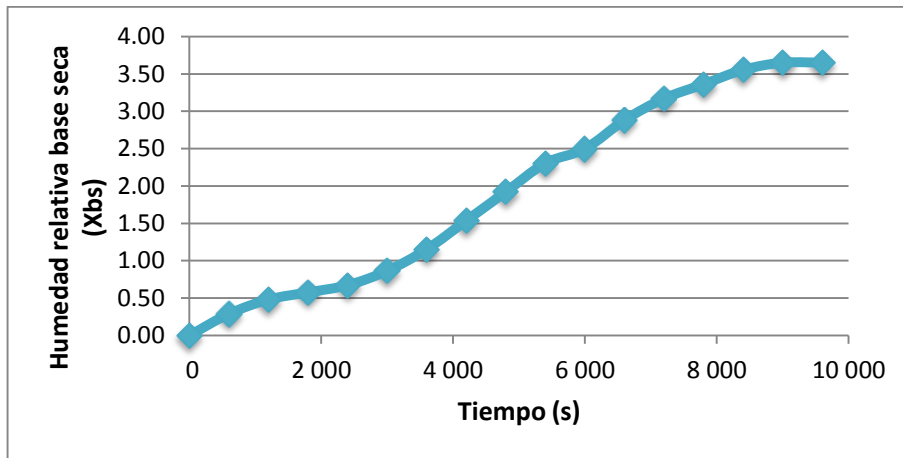
Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Curva de tiempo de secado de la muestra de Paraíso Blanco (13/11/2015)**



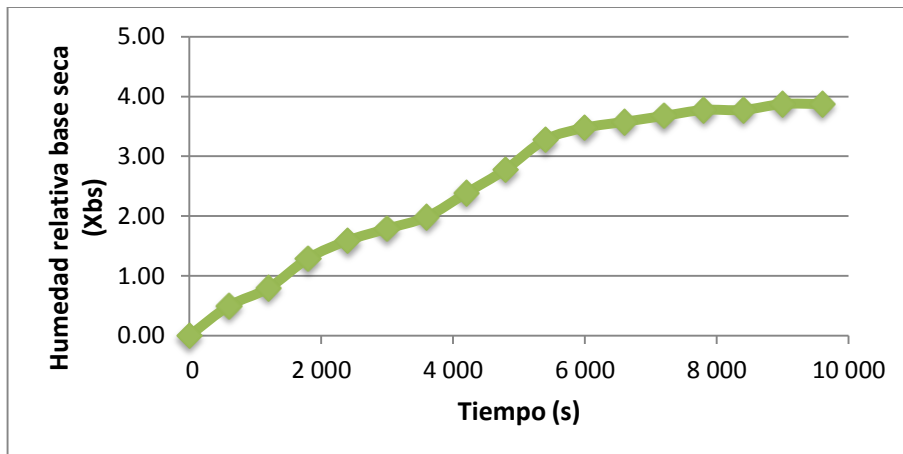
Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Curva de humedad relativa en base seca de la muestra de Paraíso Blanco (06/11/2015)**



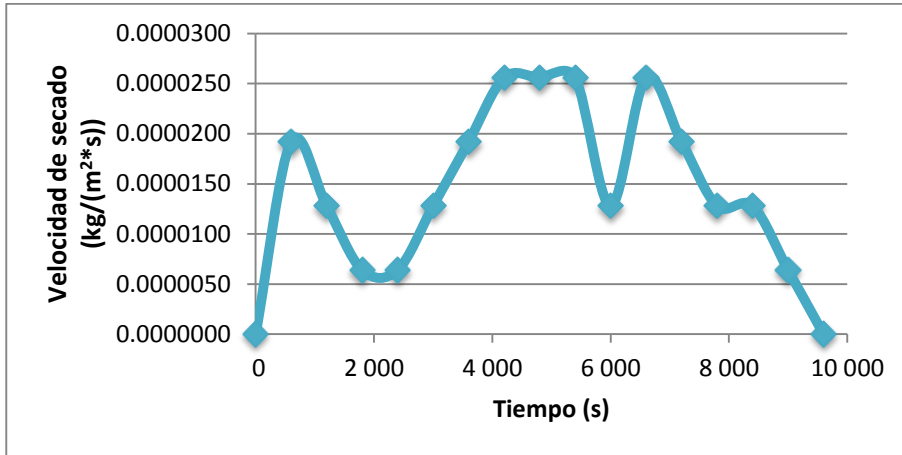
Fuente: elaboración propia.

Figura 33. **Curva de humedad relativa en base seca de la muestra de Paraíso Blanco (13/11/2015)**



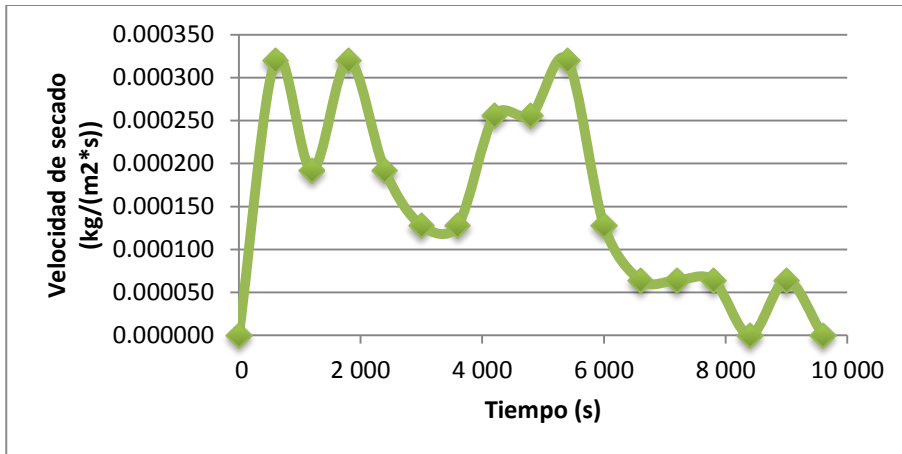
Fuente: elaboración propia.

Figura 34. **Curva de velocidad de secado de la muestra de Paraíso Blanco (06/11/2015)**



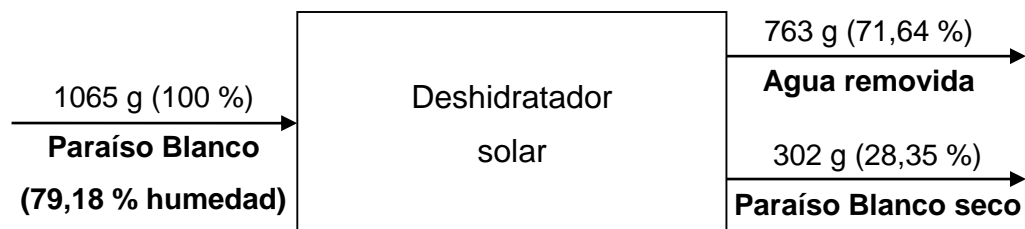
Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Curva de velocidad de secado de la muestra de Paraíso Blanco (13/11/2015)**



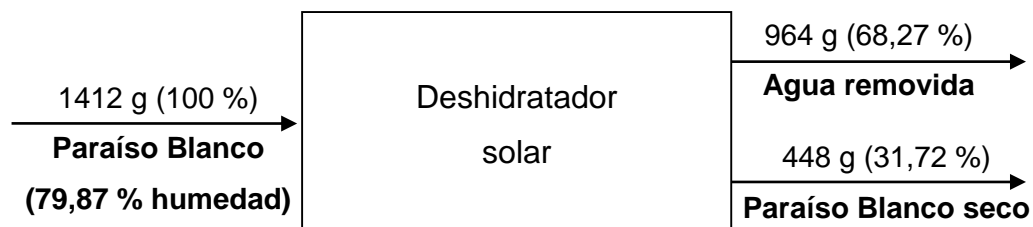
Fuente: elaboración propia.

Figura 36. **Balance de masa del deshidratador solar (06/11/2015)**



Fuente: elaboración propia.

Figura 37. **Balance de masa del deshidratador solar (13/11/2015)**



Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Comparación del valor nutricional en 100 g de hoja de Paraíso Blanco**

Componente	Hoja fresca	Hoja seca
Calorías (kcal)	174,87	272,54
Carbohidratos (g)	34,88	31,86
Proteínas (g)	7,06	31,46
Grasas (g)	0,79	2,14

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Según los comentarios obtenidos de las personas encargadas de la construcción del deshidratador solar, considerando que la mayoría provienen del sector rural, se pudo apreciar que fue fácil para ellos comprender su diseño. Utilizando las medidas de la base y la altura del dispositivo, la posición de las bandejas y siguiendo el modelo en tercera dimensión del deshidratador tipo carpa no tuvieron ningún problema para construirlo, lo que permitió realizar el instructivo de construcción con los pasos que ellos siguieron para su fin.

El costo final que se obtuvo en materiales fue bastante bajo por el uso de material reciclable. Un punto por el cual este costo se redujo fue que en la planta San Miguel contaban con trozos de malla media sombra en desuso, el material más caro; pero por las pequeñas cantidades usadas de este material, el costo real del deshidratador solo hubiera tenido un aumento de Q100,00 más (Q445,00).

Evaluando las curvas de secado, se pudo observar que en el día uno (06/11/2015) se tuvo un mejor proceso de secado que el día dos (13/11/2015), que se refleja en las curvas de secado, ya que se obtuvo un comportamiento muy parecido al modelo estándar de cada curva (ver sección 2.2.2), con un proceso de secado normal y continuo en comparación al segundo a causa de la presencia de nubes. Este resultado concuerda con el cálculo de la eficiencia del dispositivo, dividiendo el porcentaje de agua removida (resta del porcentaje inicial y final de agua de la muestra) entre el porcentaje inicial de agua presente en la muestra; mayor el primer día (89,31 %) que el segundo (83,77 %).

Al comparar las curvas de tiempo para ambos días (figura 30 y 31), se obtuvo en ambos que al llegar a las 3 horas de secado se mantuvo constante la masa de las hojas, indicando que ya se extrajo la máxima cantidad de agua posible. En el primer día se tuvo una reducción de masa constante (la gráfica forma una recta) entre los 2 000 segundos y los 8 000 (entre la primera media hora y las dos horas y media de secado), mientras que en el segundo día no se obtuvo una reducción constante ya que no hay una recta definida sino hasta llegar hasta casi las dos horas de secado (7 000 segundos).

Al observar las curvas de humedad relativa (figura 32 y 33) se ve que tiene el mismo comportamiento que las curvas de tiempo pero en sentido inverso, observando un aumento continuo de la humedad relativa para el día uno y para el segundo día no se logró definir una continuidad de dicho aumento. También se aprecia que en el día dos se logró un valor mayor de humedad relativa al final del proceso de secado (3,87) que el día uno (3,65); indicando se extrajo más agua de la muestra de 100 g de hoja de Paraíso Blanco el segundo día, mas no es una diferencia considerable.

Al comparar las curvas de velocidad de secado (figura 34 y 35), a primera vista se sabe que no se tuvo una velocidad de secado constante el segundo día (no hay ninguna recta horizontal en la gráfica). Los picos presentes tanto en la segunda gráfica como en la primera indican los puntos donde se obtuvo la máxima velocidad de secado (mayor exposición a los rayos solares), mientras que los puntos bajos indican donde hubo presencia de nubes que impidió que el secado fuera continuo. A pesar que se tuvo una velocidad de secado mayor el segundo día (arriba de $0,0003 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}$) que el primero (debajo de $0,0003 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}$), se observa que se logró un secado constante (existe una recta horizontal en la gráfica entre los 4 000 y 7 000 segundos), por lo que la mayor presencia de nubes evitó una mayor extracción de humedad el segundo día.

En los balances de masa se pudo comparar que el porcentaje de agua retirado va de la mano con el porcentaje de eficiencia del dispositivo para cada día. En los análisis realizados a las muestras de Paraíso Blanco en fresco se determinó que en promedio tiene un porcentaje de humedad de 79,52 % y realizando el cálculo se determinó que en el día uno se extrajo el 71,6 % de humedad, mientras que en el día dos se extrajo el 68,3 %, confirmando que se tuvo un mejor proceso de secado en el primer día debido a que para el segundo día hubo presencia de nubes.

Evaluando los valores nutricionales obtenidos por cada 100 g de hoja de Paraíso Blanco, se puede observar que hubo una concentración de proteínas (de 7,06 g a 31,46 g) y grasas (de 0,79 g a 2,14 g) al momento de secar la hoja, mientras que los carbohidratos se redujeron (de 34,88 a 31,86) pudiendo ser a causa de la destrucción de éstos en el proceso de secado, aunque no fue una diferencia significativa. Debido a la concentración de las proteínas y grasas, también se concentró la cantidad de calorías (de 174,87 kcal a 272,54 kcal). Estos resultados indican que se tiene un mayor aporte de nutrientes si se consume la hoja de Paraíso Blanco luego del proceso de secado en lugar de estar en fresco.

CONCLUSIONES

1. El modelo de deshidratador solar tipo carpa propuesto mostró ser de fácil construcción.
2. Los materiales reciclables y de bajo costo elegidos para la construcción del deshidratador solar fueron efectivos y se mantuvo un bajo presupuesto para su elaboración.
3. El deshidratador solar funcionó para el secado de Paraíso Blanco, reduciendo el porcentaje de humedad de las hojas en un 89,31 % para la primera prueba y un 83,77 % para la segunda prueba.
4. Las curvas de secado resultantes del primer día de evaluación fueron más aceptables que las del segundo día debido a mejores condiciones climáticas, eligiendo estas para representar el proceso de secado de hojas de Paraíso Blanco utilizando el deshidratador solar.
5. Los balances de masa determinaron que se removió el 71,64 % de agua el primer día de secado y el 68,27 % el segundo día, teniendo en promedio un 70 % de agua extraída de las hojas de Paraíso Blanco.
6. Se logró reducir el porcentaje de humedad de las hojas de Paraíso Blanco a un 8,46 % el primer día de secado y un 12,96 % el segundo, teniendo en promedio un porcentaje final del 10,71 %.

7. Las hojas secas de Paraíso Blanco mostraron un cambio de concentración de calorías de 174,87 kcal a 272,54 kcal, las proteínas de 7,06 g a 31,46 g y las grasas de 0,79 g a 2,14 g, presentes en 100 g de hoja de Paraíso Blanco, teniendo un mejor valor nutricional en comparación con la hoja fresca.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar el instructivo ubicado en el apéndice 9 para enseñar a construir el deshidratador solar a distintas comunidades del oriente de Guatemala donde se cultiva el Paraíso Blanco.
2. Secar diferentes alimentos utilizando el deshidratador diseñado y evaluar si este dispositivo es efectivo para realizar el proceso de secado sin importar el producto a deshidratar.
3. Realizar el proceso de secado de la hoja de Paraíso Blanco en distintas zonas de Guatemala y comparar los resultados para evaluar si el diseño propuesto funciona en distintos sectores.
4. Evaluar el uso de la hoja seca de Paraíso Blanco obtenida con el deshidratador solar para su consumo, realizando distintas recetas y determinar el valor nutricional de las nuevas recetas.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALFARO, Norma C. *Informe final, proyecto FODECYT Nro. 26 – 2006: Rendimiento y uso potencial de Paraíso Blanco, Moringa oleífera Lam En la producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimentario-nutricional de Guatemala*. Guatemala: Instituto de nutrición de Centroamérica y Panamá, 2008. 135 p.
2. ÁRBOLES PARA LA VIDA. *Libro de la Moringa*. 36 p. [En línea]. <https://www.treesforlife.org/sites/default/files/documents/Moringa_Book_Sp%28screen%29.pdf>. [Consulta: 25 de abril de 2015].
3. ARIAS SABÍN, Consuelo. *Estudio de las posibles zonas de introducción de la Moringa oleífera Lam en la península ibérica, islas baleares e islas canarias*. España: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal, Universidad Politécnica de Madrid, 2014. 163 p.
4. CANETT-ROMERO, Rafael. *Aspectos tóxicos más relevantes de Moringa oleífera Lam y sus posibles daños*. 43 p. [En línea]. <<http://www.biocetecnia.uson.mx/revistas/articulos/26-ARTICULO%207.pdf>>. [Consulta: 27 de abril de 2015].
5. CENTRO TECNOLÓGICO NACIONAL DE LA CONSERVA Y ALIMENTACIÓN. *Secador solar*. 5 p. [En línea]. <<http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/SECADO-SOLAR.pdf>>. [Consulta: 3 de mayo de 2015].

6. DÁVILA NAVA, Juan Rodrigo. *Estudio experimental del efecto de la porosidad de partículas sobre el proceso de secado en un lecho fluidizado a vacío empleando aire*. Trabajo de graduación de Ingeniería Mecánica. Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla, Cholula, Puebla, México, 2004. 220 p.
7. FALASCA, Silvia. *Potenciales usos y delimitación del área de cultivo de Moringa oleífera en Argentina*. 16 p. [En línea]. <<http://revistavirtual.redesma.org/vol3/pdf/investigacion/Moringa.pdf>>. [Consulta: 3 de mayo de 2015].
8. GÓMEZ GÓMEZ, Kandy P. *Evaluación de rendimiento de extracción y caracterización fitoquímica de la fracción extraíble de semilla de Moringa (Moringa oleífera Lam), a nivel laboratorio*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2013. 180 p.
9. INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIA (INTI) *Manual de construcción del deshidratador solar Aureliano Buendía*. 50 p. [En línea]. <<http://www.inti.gov.ar/pdf/deshidratador.pdf>>. [Consulta: 9 de marzo de 2015].
10. MCCABE, Warren L. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 4a ed. España: McGraw Hill/Interamericana, 1991. 1 111 p.
11. MONZÓN MONROY, José Francisco. *Diseño y construcción de un secador solar portátil destinado para la producción de carne deshidratada de lombriz roja californiana (Eisenia Foetida) para su posible utilización en la fortificación de alimentos para consumo*

humano. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 118 p.

12. MORENO M., Gamaliel. *Manual de construcción y operación de una secadora solar*. 13 p. [En línea]. <http://cbi.izt.uam.mx/iph/archivos_profesores/50/archivos/4f197.pdf>. [Consulta: 12 de agosto de 2016].
13. OLSON, Mark E. *Moringa oleífera: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas*. 12 p. [En línea]. http://www.ibiologia.unam.mx/barra/publicaciones/revista%2082_4/1-773.pdf>. [Consulta: 28 de abril de 2015].
14. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA (UNESCO). *Guía de uso de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes*. 42 p. [En línea]. <<http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Monte-video/pdf/ED-Guiasecaderosolar.pdf>>. [Consulta: 12 de agosto de 2016].
15. PONCIANO SANDOVAL, Renato Giovanni. *Diseño de un secador solar continuo con fuente de energía alterna para el secado de chile jalapeño*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2000. 71 p.
16. RIVAS GARCÍA, Diana L. *Formulación de una harina de sorgo (maicillo) con moringa oleífera y elaboración de diferentes preparaciones. Estudio dirigido a escolares de la Escuela Nacional de Cajón del*

Río, Camotán, Chiquimula, Guatemala. Trabajo de graduación de Nutrición. Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias de la Salud, 2014. 107 p.

17. RUIZ FUNES, Luis E. *Diseño de un proceso para la obtención de una galleta a partir de harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (Moringa oleífera) y su respectiva evaluación nutricional.* Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011. 310 p.
18. SANCHINELLI PEZZAROSI, Karol B. *Contenido de proteína y aminoácidos, y generación de descriptores sensoriales de los tallos, hojas y flores de Moringa oleífera Lamark (Moringaceae) cultivada en Guatemala.* Trabajo de graduación de Nutrición. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2004. 75 p.
19. VÁSQUEZ DE BERGANZA, Verónica E. *Formulación y aceptabilidad de preparaciones comestibles a base de Moringa oleífera Lam.* Trabajo de graduación de Nutrición. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2004. 51 p.

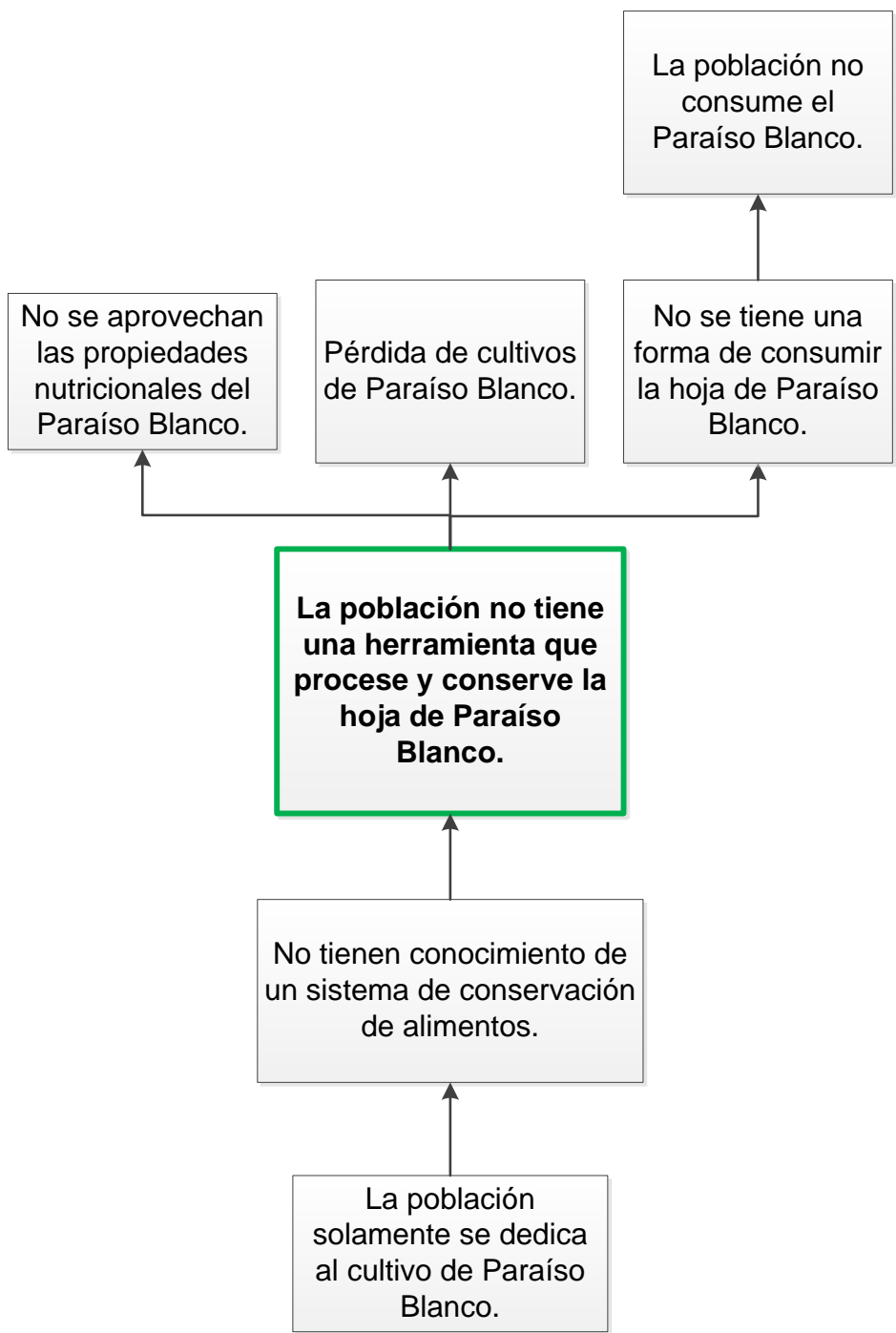
APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**

Carrera	Campos de conocimiento	Disciplinas	Sub disciplinas	Tema genérico	Tema específico	Título
Ingeniería química	Ingeniería y tecnología	- Área básica	- Matemática - Física - Programación	- Diseño de deshidratador solar.	Secado de Paraíso Blanco aprovechando las condiciones climáticas del oriente de Guatemala para su consumo como suplemento alimenticio	Diseño y construcción de un deshidratador solar para secado de paraíso blanco (<i>Moringa oleifera Lam</i>) en la zona oriente de Guatemala
		- Química	- Química orgánica - Bioquímica	- Determinación de la humedad final del Paraíso Blanco.		
		- Operaciones unitarias	- Balance de masa y energía - Transferencia de calor - Transferencia de masa en sistemas continuos	- Balance de masa dentro del secador solar. - Elaboración de las curvas de secado.		
		- Ingeniería aplicada y diseño	- Diseño de equipo - Tecnología de los alimentos	- Evaluación del contenido bromatológico del producto.		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Árbol de problemas**

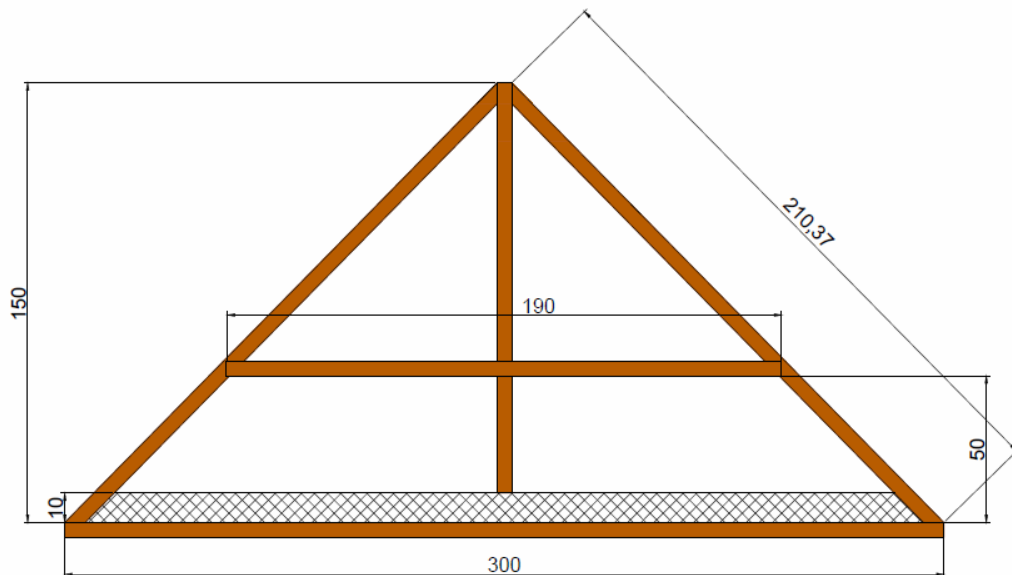


Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Diseño final y medidas del deshidratador solar propuesto**

Para la estructura del deshidratador se utilizan vigas de madera (de preferencia 5 cm de ancho), las cuales se unen para formar un marco triangular con las siguientes medidas (en centímetros).

Figura A1. **Medidas del marco del deshidratador solar**



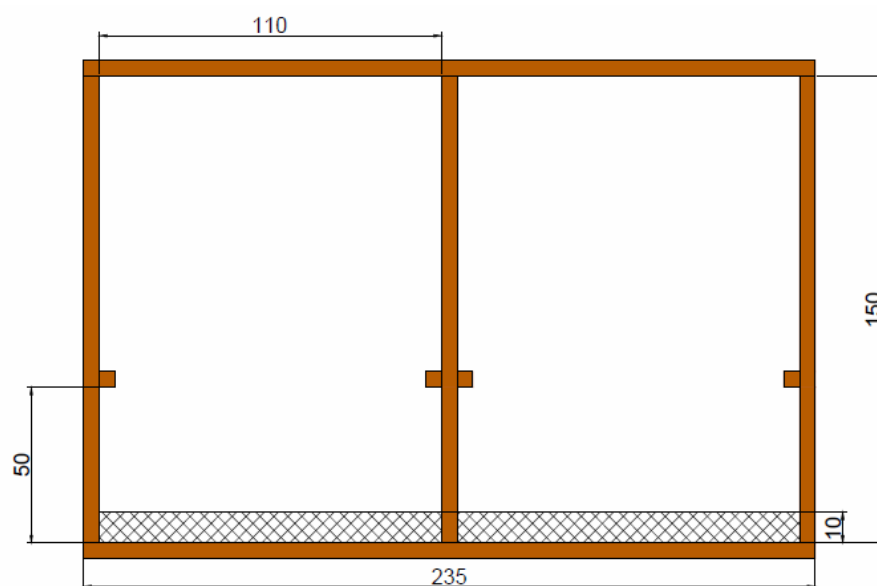
Fuente: elaboración propia.

Dos de los marcos llevan un soporte para las bandejas (190 cm) y la malla media sombra en la parte inferior (10 cm), mientras que uno llevará dos soportes para las bandejas y no tendrá la malla media sombra.

Para unir los 3 marcos de madera se colocan reglas que sostengan desde la parte inferior y superior, separando cada marco 110 cm.

Los dos marcos con un soporte y la malla media sombra se colocan a los costados (con el soporte hacia dentro del deshidratador), mientras que el marco con los dos soportes (uno a cada lado) se deja en el centro.

Figura A2. **Medidas de la sección lateral del deshidratador solar**



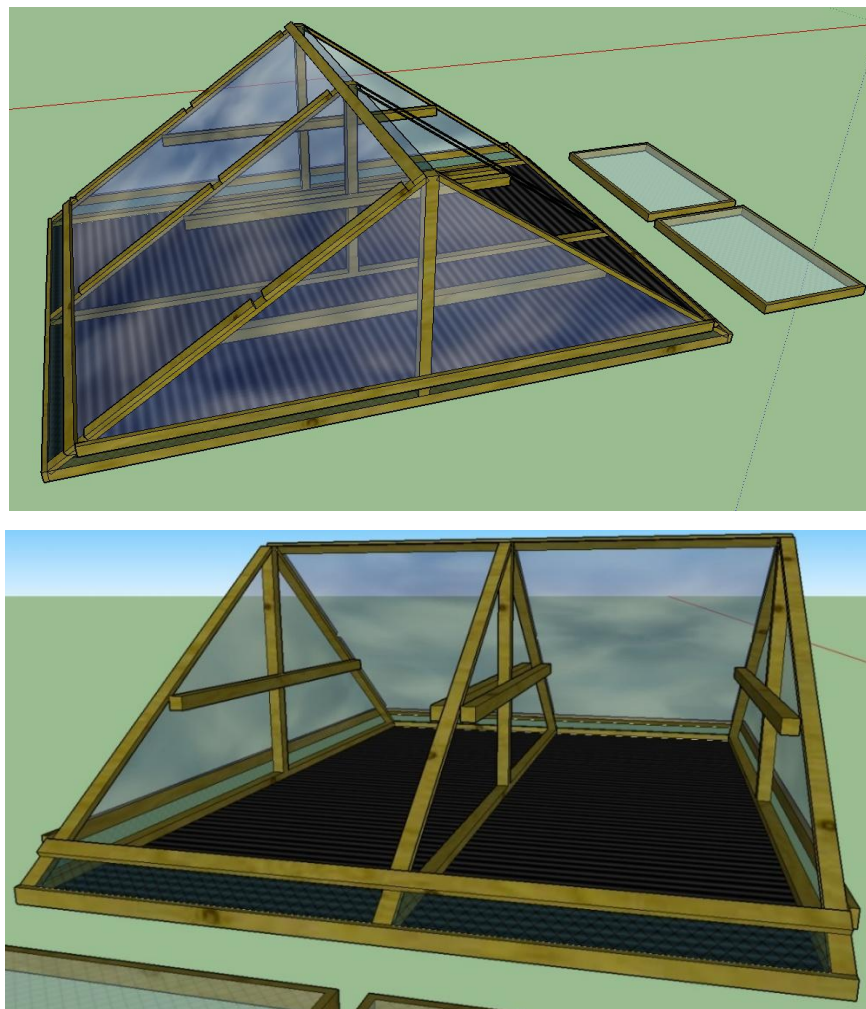
Fuente: elaboración propia.

En los costados inferiores de la estructura del deshidratador, colocar malla media sombra (10 cm) al igual que en los marcos laterales, utilizando una regla de madera ubicada 10 cm arriba de la base para asegurar la parte superior de la malla.

Para las bandejas de secado se hacen 4 marcos de madera de 108 cm de alto y 84 cm de ancho que se cubren en la parte superior por malla media sombra ajustada al marco, donde se coloca el producto a secar.

En uno de los costados de la estructura se colocan dos marcos de madera de 1,12 m por 1,86 m, los cuales se aseguran en la parte superior del deshidratador con bisagras que permitirán sean utilizados como puertas para colocar las bandejas dentro del dispositivo.

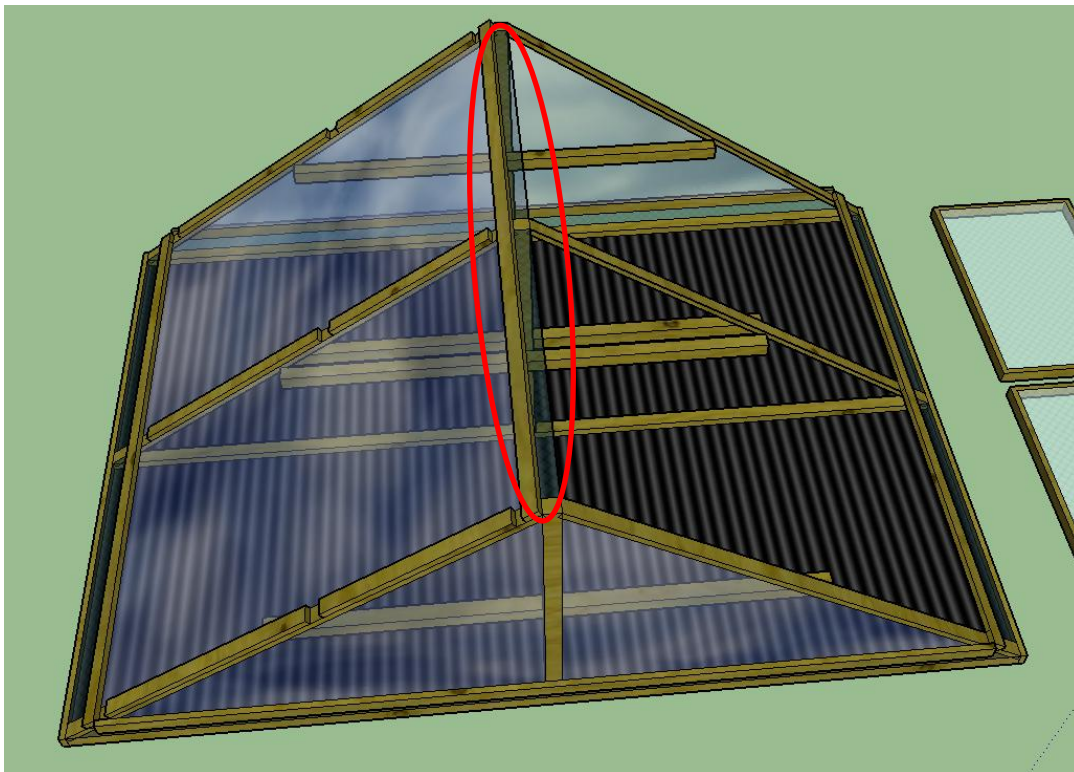
Figura A3. **Modelo en 3D del deshidratador solar**



Fuente: elaboración propia.

En la parte de arriba del deshidratador se ubica la salida del aire caliente, la cual se cubre de malla para evitar el ingreso de posibles plagas ni contaminación a causa de objetos.

Figura A4. **Vista superior del deshidratador solar**

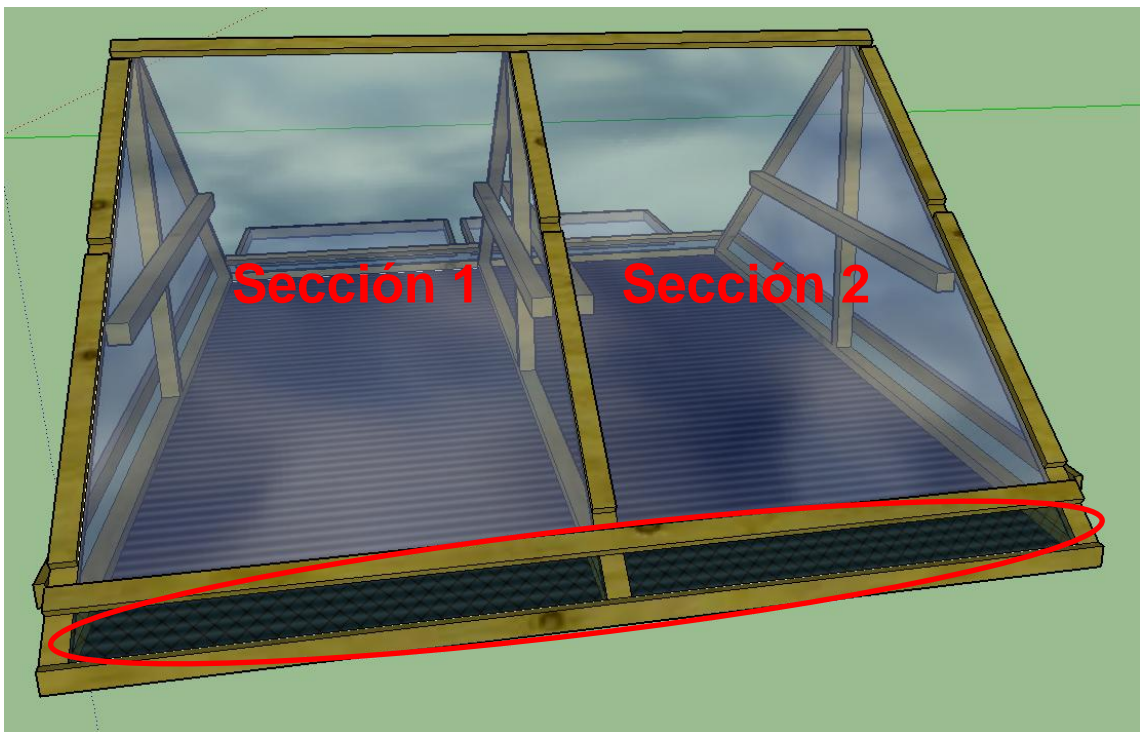


Fuente: elaboración propia.

La base del deshidratador debe ser hecha con dos láminas pintadas de negro que cubren un área de 3 metros de largo y 2,35 metros de ancho, las cuales llevan entre ellas una capa de paja seca cubierta por bolsas plásticas de color negro.

Las entradas de aire al deshidratador son colocadas sobre todo el borde inferior del dispositivo, siendo cubiertas de igual manera por malla para evitar el ingreso de insectos.

Figura A5. **Compartimientos y entradas de aire del deshidratador solar**



Fuente: elaboración propia.

El resto del deshidratador se cubre utilizando Polietileno transparente, incluyendo los marcos que son utilizados como puertas para colocar las bandejas.

Apéndice 4. **Datos tomados de las pruebas de secado**

Tabla A1. **Datos obtenidos de secado para el día uno (06/11/2015)**

tiempo (min)	peso (g)	temperatura (°C)
0	112	42
10	106	44
20	102	42
30	100	40
40	98	42
50	94	40
60	88	42
70	80	45
80	72	45
90	64	43
100	60	40
110	52	45
120	46	45
130	42	50
140	38	48
150	36	48

Fuente: elaboración propia.

Tabla A2. **Datos obtenidos de secado para el día dos (13/11/2016)**

tiempo (min)	peso (g)	temperatura (°C)
0	112	40
10	102	47
20	96	41
30	86	45
40	80	41
50	76	41
60	72	42
70	64	44
80	56	47
90	46	47
100	42	40
110	40	38
120	38	42
130	36	43
140	36	45
150	34	45

Fuente: elaboración propia.

Tabla A3. **Datos finales obtenidos de cada prueba de secado**

Fecha	Hora inicio	Hora final	Peso inicial	Peso final
06/11/2016	9:35	13:00	1065	302
13/11/2016	10:30	14:00	1412	448

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Elaboración de las curvas de secado**

Primero para calcular los valores a necesitar, se deben convertir las unidades de los datos al sistema internacional (minutos a segundos y gramos a kilogramos).

$$x \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = x \text{ s}$$

$$x \text{ g} * \frac{1 \text{ kg}}{1\,000 \text{ g}} = x \text{ kg}$$

Para los valores de la masa de la muestra se debe de restar antes la tara de la red donde se tenía la muestra control (12 g).

Luego para determinar el la cantidad de humedad extraída a la muestra, se restó la masa obtenida de dicha muestra menos la masa inicial.

$$m_h = 0,100 - m$$

Posteriormente, se calcula humedad relativa en base seca.

$$X_{bs} = \frac{m_h}{m_s}$$

Finalmente, para calcular la velocidad de secado se debe conocer la cantidad de agua removida por cada lapso de tiempo (en este caso es de 10 minutos por cada verificación de la muestra).

$$R = \frac{m_{ht}}{A_l * t_s}$$

El área de lecho para este caso es igual al área superficial de la bandeja.

$$A_l = 0,84m * 0,62m = 0,5208m^2$$

Tabla A4. Datos para el cálculo de las curvas de secado del día uno (06/11/2016)

Tiempo (s)	Masa muestra (kg)	Humedad extraída (kg)	Xbs	Agua removida (kg)	Velocidad de secado (R)
0	0,1	0	0	0	0
600	0,094	0,006	0,29	0,006	0,0000192
1 200	0,09	0,01	0,48	0,004	0,0000128
1 800	0,088	0,012	0,58	0,002	0,0000064
2 400	0,086	0,014	0,67	0,002	0,0000064
3 000	0,082	0,018	0,86	0,004	0,0000128
3 600	0,076	0,024	1,15	0,006	0,0000192
4 200	0,068	0,032	1,54	0,008	0,0000256
4 800	0,06	0,04	1,92	0,008	0,0000256
5 400	0,052	0,048	2,31	0,008	0,0000256
6 000	0,048	0,052	2,50	0,004	0,0000128
6 600	0,04	0,06	2,88	0,008	0,0000256
7 200	0,034	0,066	3,17	0,006	0,0000192
7 800	0,03	0,07	3,36	0,004	0,0000128
8 400	0,026	0,074	3,55	0,004	0,0000128
9 000	0,024	0,076	3,65	0,002	0,0000064
9 600	0,024	0,076	3,65	0,000	0,0000000

Fuente: elaboración propia.

**Tabla A5. Datos para el cálculo de las curvas de secado del día dos
(13/11/2016)**

Tiempo (s)	Masa muestra (kg)	Humedad extraída (kg)	Xbs	Agua removida (kg)	Velocidad de secado (R)
0	0,1	0	0	0	0
600	0,09	0,01	0,50	0,010	0,000320
1 200	0,084	0,016	0,79	0,006	0,000192
1 800	0,074	0,026	1,29	0,010	0,000320
2 400	0,068	0,032	1,59	0,006	0,000192
3 000	0,064	0,036	1,79	0,004	0,000128
3 600	0,06	0,04	1,99	0,004	0,000128
4 200	0,052	0,048	2,38	0,008	0,000256
4 800	0,044	0,056	2,78	0,008	0,000256
5 400	0,034	0,066	3,28	0,010	0,000320
6 000	0,03	0,07	3,48	0,004	0,000128
6 600	0,028	0,072	3,58	0,002	0,000064
7 200	0,026	0,074	3,68	0,002	0,000064
7 800	0,024	0,076	3,78	0,002	0,000064
8 400	0,024	0,076	3,78	0,000	0,000000
9 000	0,022	0,078	3,87	0,002	0,000064
9 600	0,022	0,078	3,87	0,000	0,000000

Fuente: elaboración propia.

Con los datos calculados, se procedió a elaborar las curvas en función de los ejes de cada uno:

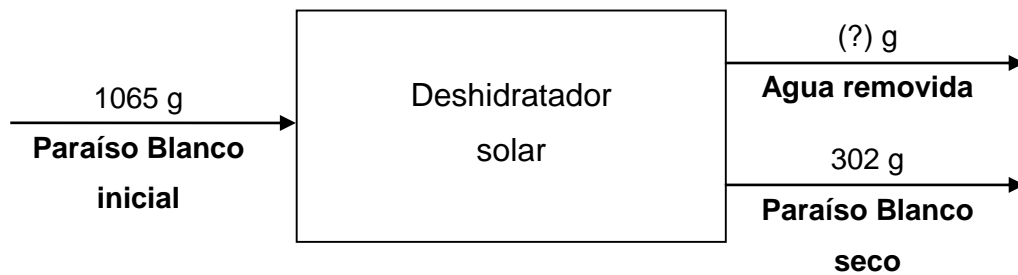
- Curva de tiempo: masa de la muestra vs tiempo de secado.
- Curva de humedad relativa: humedad relativa en base seca vs tiempo de secado.
- Curva de velocidad de secado: velocidad de secado vs tiempo de secado.

Apéndice 6. **Cálculo del balance de masa dentro del deshidratador solar**

Se trabajó el balance de masa para cada una de las pruebas realizadas con el dispositivo.

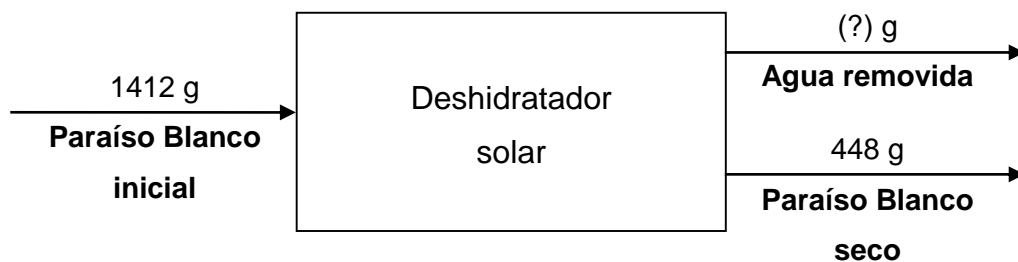
Primero, se realiza el diagrama de balance de masa para determinar la cantidad de agua removida de la muestra.

Figura A6. **Balance de masa de la primera prueba de secado**



Fuente: elaboración propia.

Figura A7. **Balance de masa de la segunda prueba de secado**



Fuente: elaboración propia.

Utilizando la ecuación básica de balance de energía, se tiene la siguiente expresión:

$$\text{Paraíso Blanco inicial} = \text{Agua removida} + \text{Paraíso Blanco secado}$$

Despejando la ecuación para determinar la cantidad de agua removida, la expresión cambia y se sustituyen los valores de los balances de masa para cada prueba de secado.

$$\text{Agua removida} = \text{Paraíso Blanco inicial} - \text{Paraíso Blanco secado}$$

$$\text{Agua removida} = 1065 - 302$$

$$\text{Agua removida} = 763 \text{ g (Agua removida en la primera prueba)}$$

$$\text{Agua removida} = 1412 - 448$$

$$\text{Agua removida} = 964 \text{ g (Agua removida en la segunda prueba)}$$

Apéndice 7. **Cálculo de la eficiencia del deshidratador solar**

El cálculo de la eficiencia del dispositivo se hizo con base en los porcentajes de humedad obtenidos en el análisis bromatológico.

$$\mu = \frac{\%_f - \%_s}{\%_f} * 100$$

Se tomaron los datos del % agua reportado por el Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para el día 06/11/2015 y el 13/11/2015 respectivamente.

Apéndice 8. **Cálculo del valor nutricional de la hoja fresca y seca de Paraíso Blanco**

Los cálculos realizados en esta sección fueron con los valores de hoja seca, siguiendo el mismo procedimiento para la hoja fresca.

Primero, se determinó el promedio del porcentaje de proteína cruda, extracto etéreo (grasas) y extracto libre de nitrógeno (carbohidratos).

$$\% \text{ promedio proteína} = \frac{31,4 + 31,52}{2} = 31,46\% \text{ proteína}$$

$$\% \text{ promedio carbohidratos} = \frac{29,19 + 34,45}{2} = 31,86\% \text{ carbohidratos}$$

$$\% \text{ promedio grasas} = \frac{2,16 + 2,12}{2} = 2,14\% \text{ grasas}$$

Luego se calculó la cantidad de estos que aporta una muestra de 100 gramos de Paraíso Blanco.

$$100 * 0,3146 = 31,46 \text{ g de proteína}$$

$$100 * 0,3186 = 31,86 \text{ g de carbohidratos}$$

$$100 * 0,0214 = 2,14 \text{ g de grasa}$$

Sabiendo que los carbohidratos y las proteínas aportan 4 kcal/g y las grasas 9 kcal/g, se sumaron las calorías que aporta cada uno:

$$31,86 \text{ g} * \frac{4\text{kcal}}{\text{g}} = 127,44 \text{ kcal (carbohidratos)}$$

$$2,14 \text{ g} * \frac{9\text{kcal}}{\text{g}} = 19,26 \text{ kcal (grasas)}$$

$$31,46 \text{ g} * \frac{4\text{kcal}}{\text{g}} = 125,84 \text{ kcal (proteínas)}$$

$$127,44 + 19,26 + 125,84 = 272,54 \text{ kcal}$$

Apéndice 9. **Instructivo de construcción del deshidratador solar**

- ¿Para qué sirve un deshidratador solar?

El deshidratador solar sirve para poder secar cualquier alimento que se desea conservar, (fruta, una planta, incluso carnes) aprovechando la energía del Sol únicamente.

- ¿Cuáles son los beneficios de secar la hoja de Paraíso Blanco?
 - Permite guardar por más tiempo la hoja sin que se arruine con el tiempo.
 - La hoja seca ocupa menos espacio que la fresca, facilitando su almacenamiento.
 - Se puede consumir de distintas formas agregando la hoja seca molida a las comidas.
 - La hoja seca tiene una mayor concentración de sus nutrientes que la hoja fresca.

Para aprovechar al máximo el consumo de esta planta, se puede construir un deshidratador solar para alargar el tiempo de vida e incluirlo en la dieta diaria de las personas, utilizándolo como especie para cocinar o simplemente agregándolo a las comidas de tal forma que todas las personas obtengan una mayor cantidad de nutrientes y mejorar su salud.

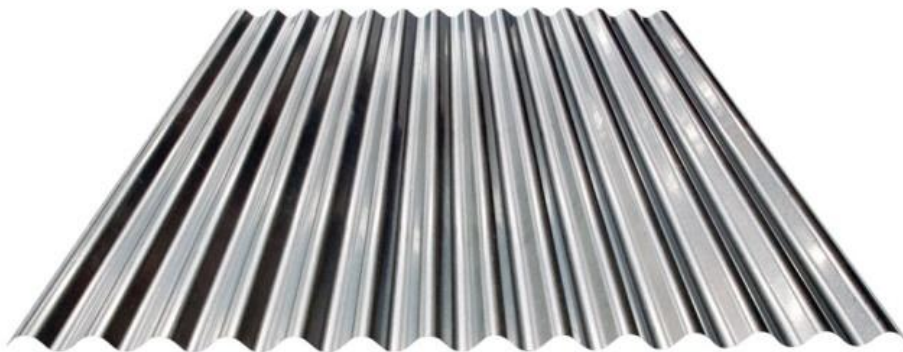
- Materiales a utilizar para la construcción

Figura A8. **Viga de madera de 5 cm por 5 cm de base**



Fuente; elaboración propia.

Figura A9. **Plancha de lámina metálica reciclada**



Fuente: elaboración propia

Figura A10. **Paja seca**



Fuente: elaboración propia.

Figura A11. **Bolsas para basura de color negro**



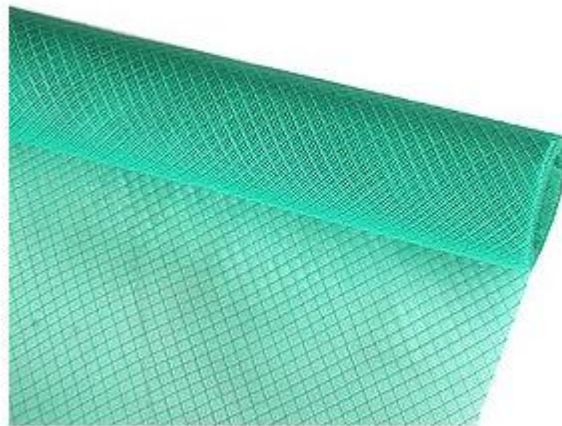
Fuente: elaboración propia.

Figura A12. **Plástico grueso transparente (utilizado comúnmente para cubrir mesas)**



Fuente: elaboración propia.

Figura A13. **Malla media sombra**



Fuente: elaboración propia.

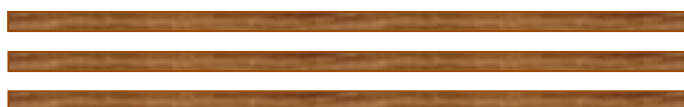
Tabla A6. **Otros materiales para la construcción del deshidratador solar**

Pintura de color negro
Clavos
Bisagras
Desarmadores

Fuente: elaboración propia.

- Modo de construcción
 - Construcción del cuerpo del deshidratador
 - Se cortan 3 vigas de madera a 2,90 metros de largo.

Figura A14. **Ejemplo de vigas de 2,90 metros**



Fuente: elaboración propia.

- Se cortan 3 vigas de madera a 1,50 metros de largo.

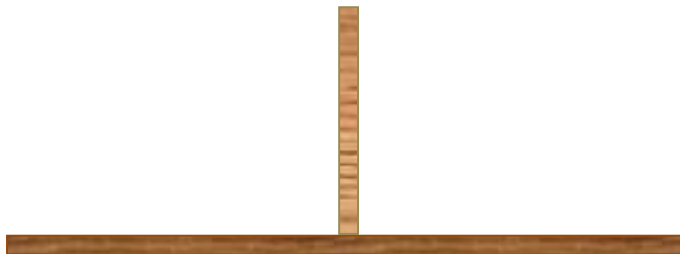
Figura A15. **Ejemplo de vigas de 1,50 metros**



Fuente: elaboración propia.

- Se coloca una viga de 1,50 metros sobre la mitad de una viga de 2,90 metros.

Figura A16. **Ejemplo de la base del marco del deshidratador**



Fuente: elaboración propia.

Hacer el mismo procedimiento con las demás vigas cortadas para tener tres estructuras iguales.

- Se cortan 3 vigas de madera de 2,35 metros.

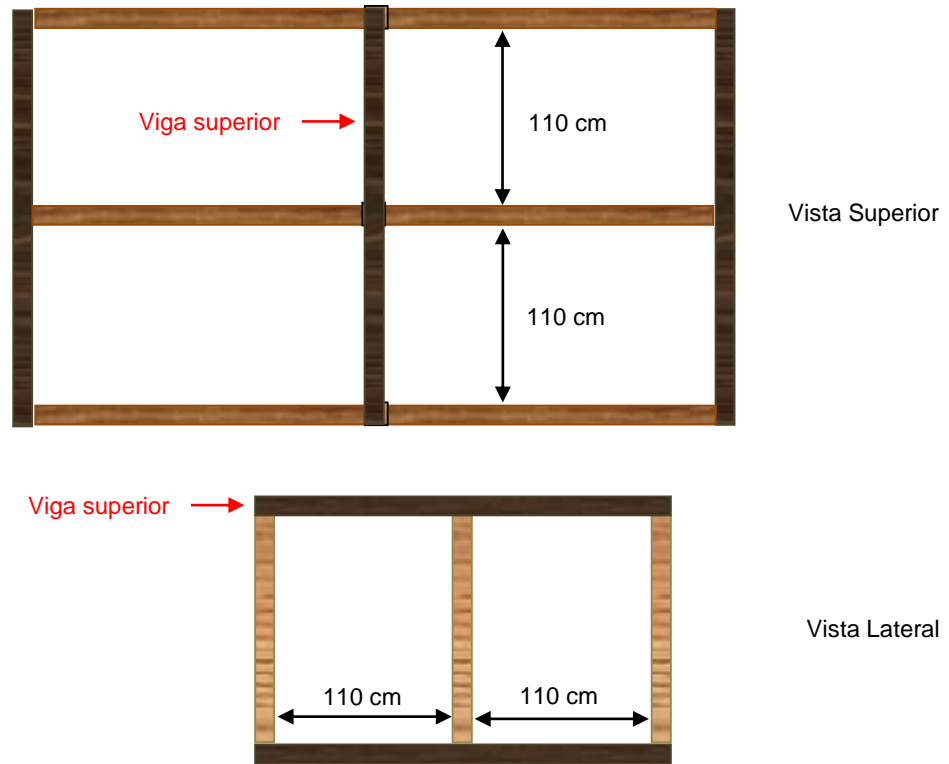
Figura A17. **Ejemplo de vigas de 2,35 metros**



Fuente: elaboración propia.

- Se forma un cuadrado colocando dos estructuras a los lados, unidos por la viga de 2,90 metros y de 2,35 metros mientras que la tercera se coloca a la mitad del cuadrado. La tercera viga es para unir los 3 marcos por la parte superior.

Figura A18. **Ubicación de las vigas de 2,35 metros en la estructura del deshidratador**



Fuente: elaboración propia.

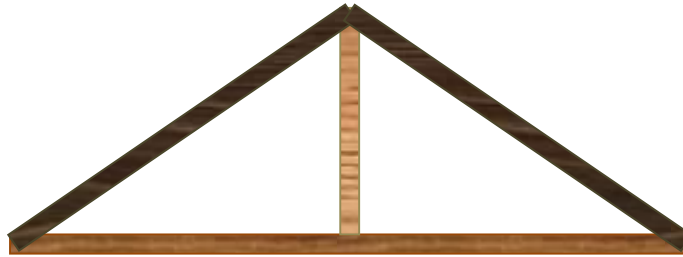
- Se cortan 6 vigas de madera de 2,15 metros.



Fuente: elaboración propia.

- Se colocan dos vigas de 2,15 metros sobre cada estructura (cortando las puntas para mejor encaje) para formar 1 marco triangular.

Figura A19. **Ejemplo de vista frontal del marco de madera del deshidratador**



Fuente: elaboración propia.

Hacer el mismo procedimiento con las tres estructuras para formar tres marcos triangulares.

- Cortar 4 vigas de 1,90 metros.

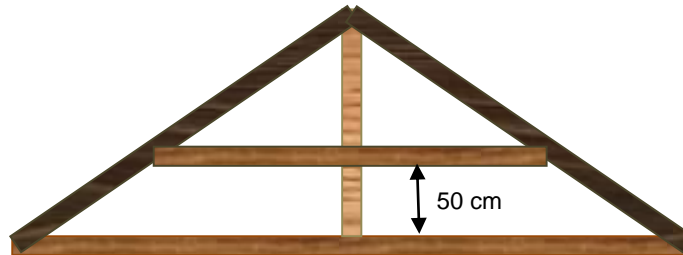
Figura A20. **Ejemplo de vigas de 1,90 metros**



Fuente: elaboración propia.

- Colocar una viga de 1,90 metros sobre el marco, a 50 cm arriba de la base de 3 metros, formando una cruz con la viga de 1 metro.

Figura A21. **Ejemplo de la base que sostiene las bandejas dentro del deshidratador**



Fuente: elaboración propia.

A los dos marcos de los lados se colocan una viga de 1,90 metros en la parte interior del deshidratador, mientras que el del medio lleva dos vigas por lado; esto para que las bandejas tengan soporte.

- Se cortan 4 reglas de 2,35 cm (éstas más delgadas que las vigas, a un grosor no mayor de 3 cm).

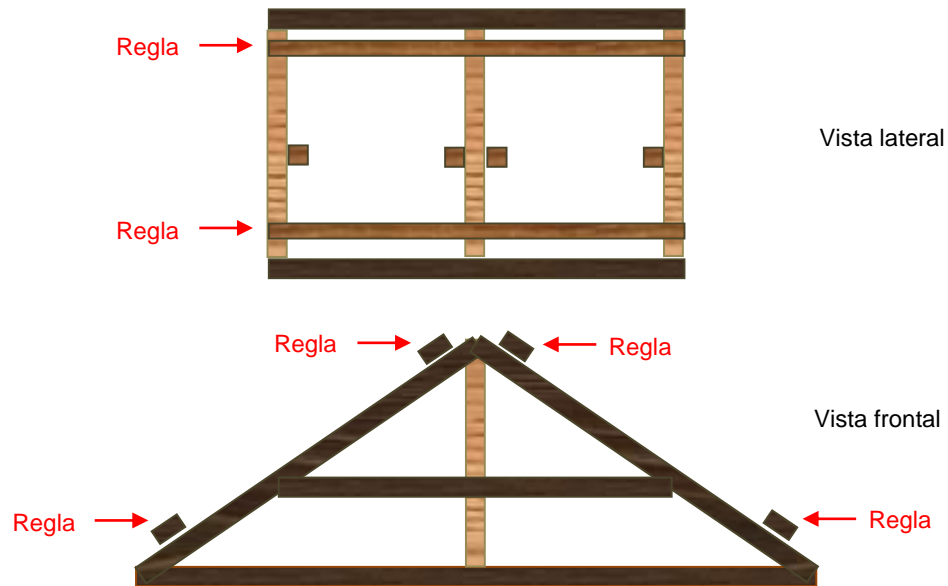
Figura A22. **Ejemplo de reglas de madera de 2,35 cm**



Fuente: elaboración propia.

- Se colocan dos reglas en los laterales del deshidratador, una a 10 cm de la parte inferior y otra a 5 cm de la parte superior (ambos medidos sobre la viga inclinada del marco triangular).

Figura A23. **Ubicación de las reglas de madera de 2,35 cm**

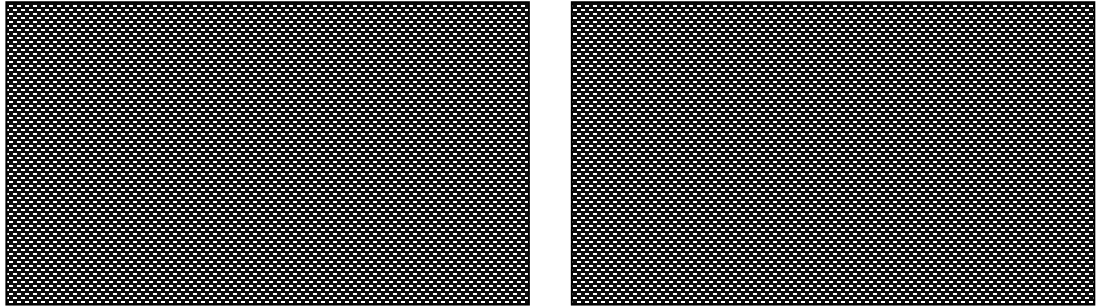


Fuente: elaboración propia.

Estas reglas servirán para fijar la malla media sombra y el plástico transparente al deshidratador solar.

- Construcción de la base del deshidratador
 - Se toman láminas metálicas y se unen para formar dos planchas con medidas de 3 metros de ancho y 2,35 metros de largo para luego ser pintadas de negro.

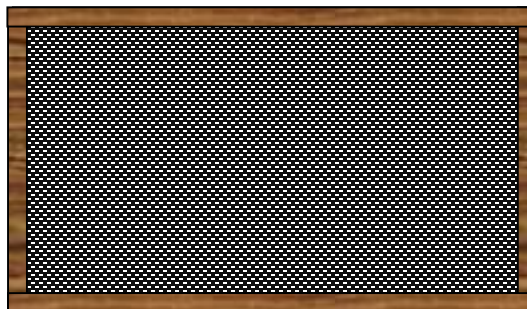
Figura A24. **Ejemplo de láminas metálicas**



Fuente: elaboración propia.

- Se utilizan vigas de madera para hacer un marco de 3 metros de ancho y 2,35 metros de largo.
- Se coloca una de las láminas pintadas debajo del marco para formar una caja abierta.

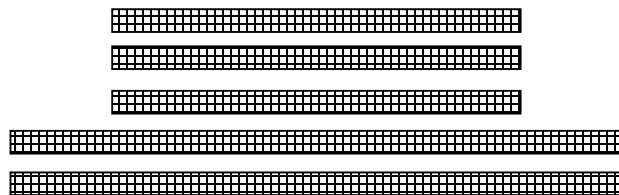
Figura A25. **Ejemplo de la base del deshidratador**



Elaboración propia.

- Se cortan las bolsas de plástico negras para formar lienzos y se colocan dentro del marco de madera.
 - Se coloca la paja seca dentro del marco de madera hasta cubrirla por completo.
 - Se colocan nuevamente lienzos de plástico negro para cubrir la paja seca.
 - Se coloca la segunda lámina pintada de negro sobre el marco y se fija para cerrar el contenido dentro del marco.
- Finalización de la construcción del deshidratador
- Se fija el cuerpo del deshidratador con la base.
 - Se cortan 3 tiras de malla media sombra de 2,40 metros de largo y 2 tiras de 3 metros (no menor a 10 cm de ancho).

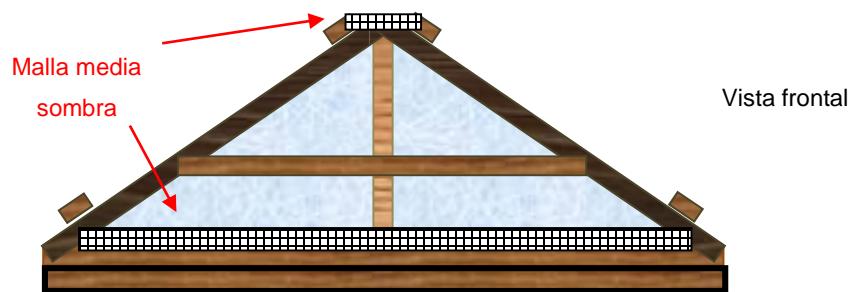
Figura A26. **Ejemplo de las tiras de malla media sombra**



Fuente: elaboración propia.

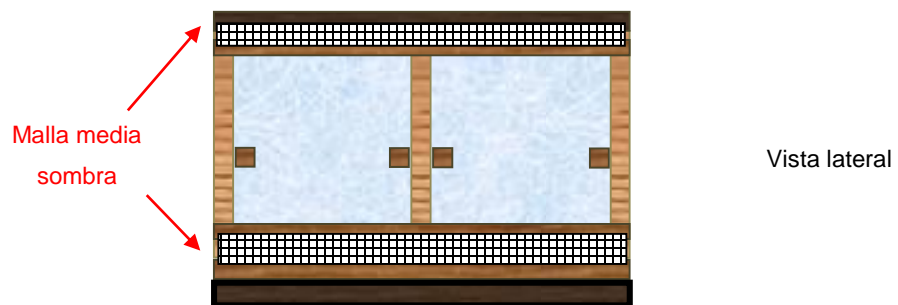
- Se coloca 1 tira de 2,40 metros en la parte superior del deshidratador, dos de 2,40 metros en los laterales inferiores y las 2 de 3 metros al frente y atrás.
- Se cubre la parte de frente, de atrás y uno de los laterales del deshidratador con polietileno transparente, dejando únicamente uno de los laterales sin cubrir.

Figura A27. **Ubicación frontal de la malla media sombra**



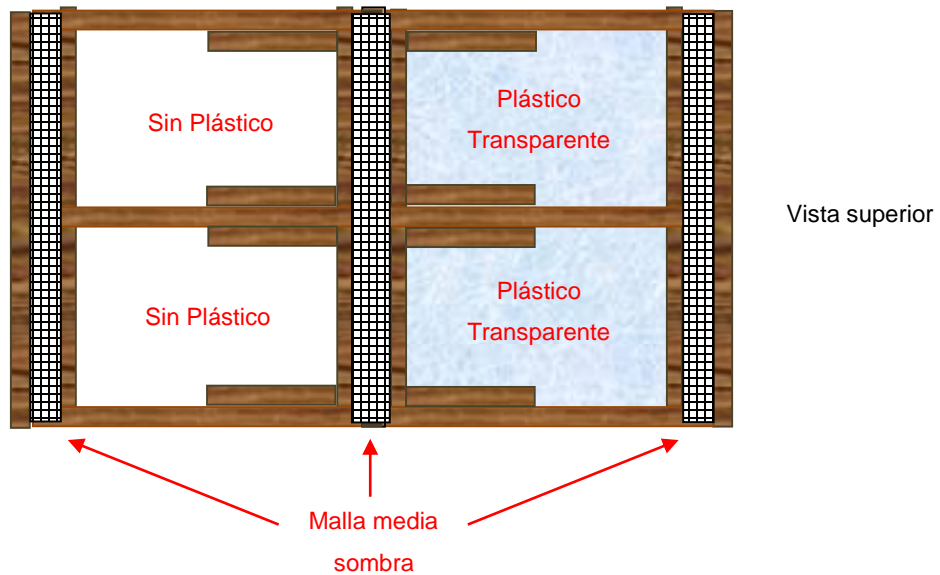
Fuente: elaboración propia.

Figura A28. **Ubicación lateral de la malla media sombra**



Fuente: elaboración propia.

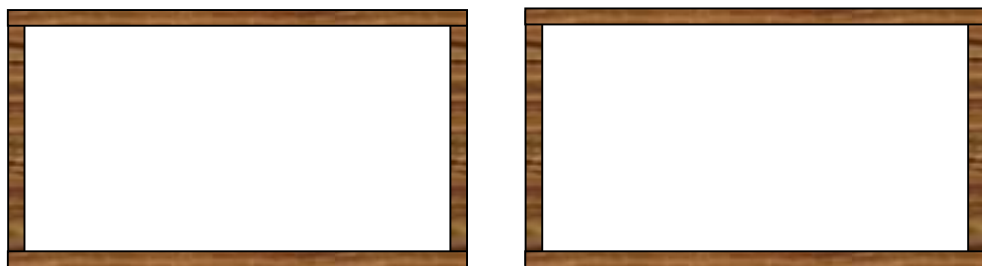
Figura A29. **Vista superior de la posición de la malla media sombra**



Fuente: elaboración propia.

- Utilizando reglas de madera se arman dos marcos con medidas de 1,12 metros por 1,86 metros.

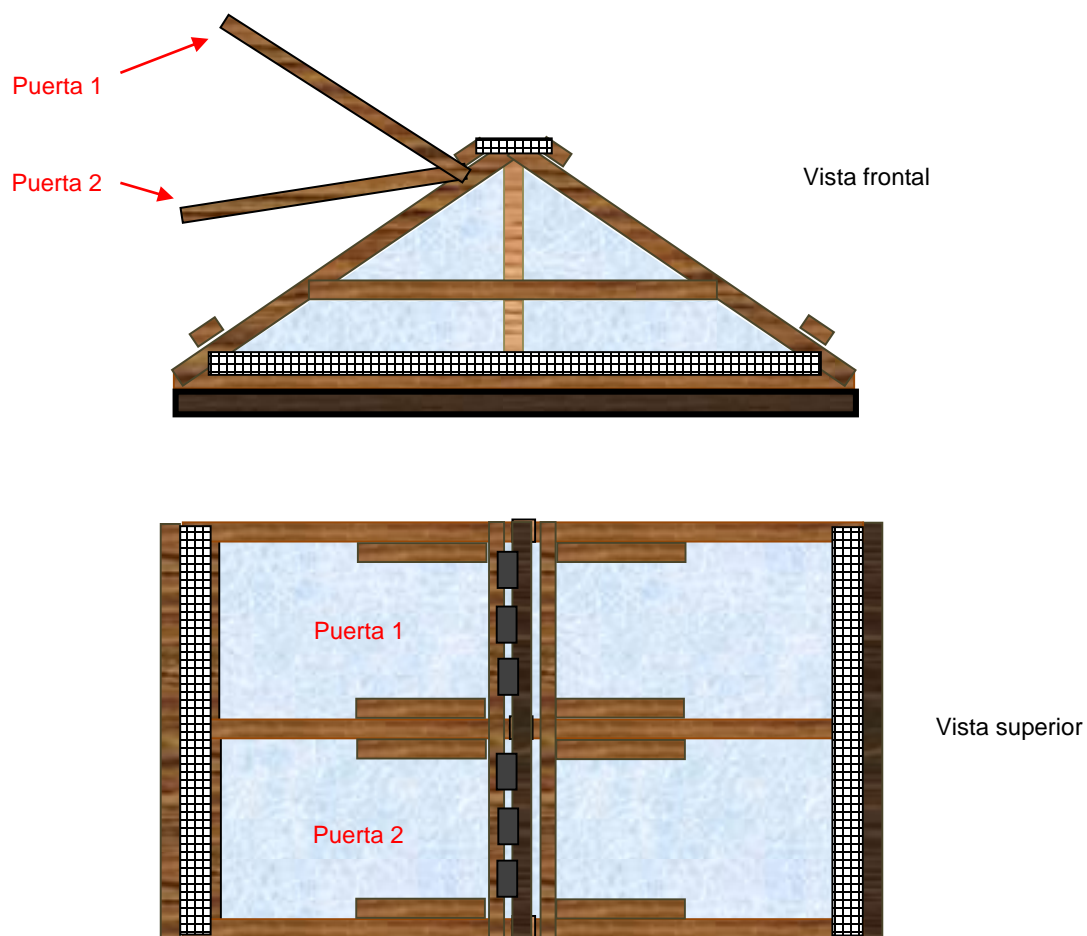
Figura A30. **Ejemplo de los marcos de las puertas laterales del deshidratador**



Fuente: elaboración propia.

- Se ajustan los marcos como puertas a las secciones del deshidratador sin plástico utilizando bisagras (3 por cada puerta) y se cubre con plástico transparente cada puerta.

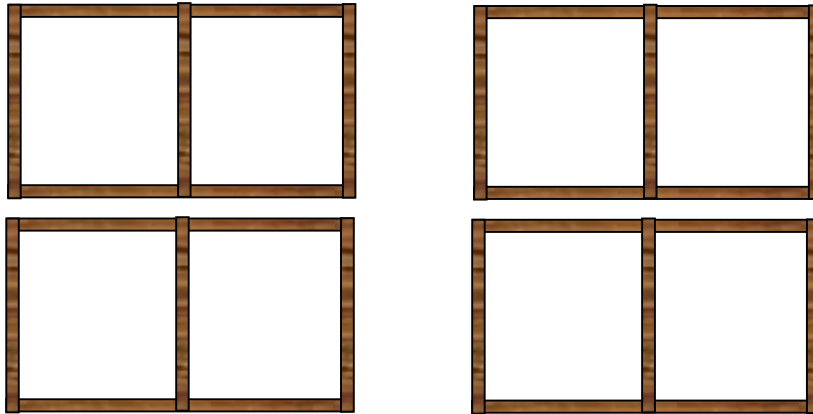
Figura A31. **Ejemplo de la posición de las puertas laterales**



Fuente: elaboración propia.

- Con las vigas de madera se arman cuatro marcos con medida de 108 centímetros por 84 centímetros, llevando al medio una viga extra.

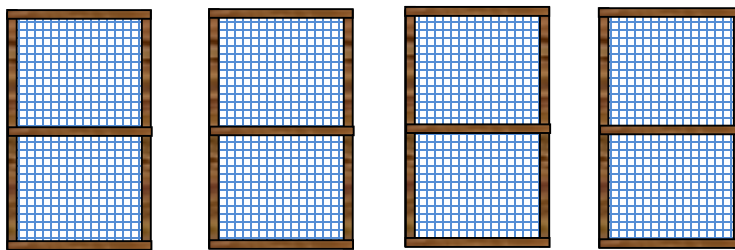
Figura A32. **Ejemplo de la estructura de las bandejas**



Fuente: elaboración propia.

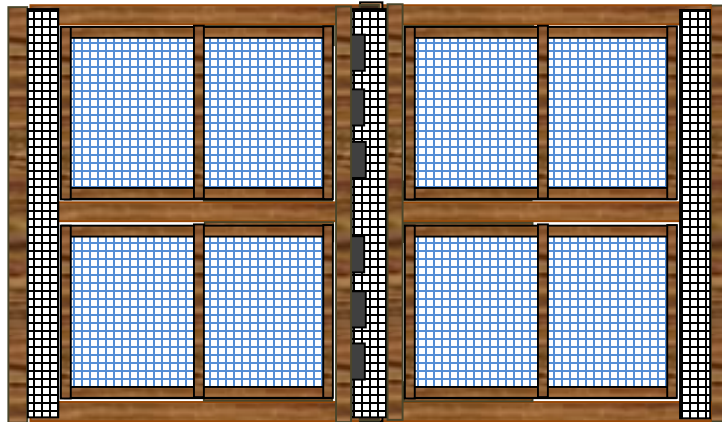
- Los 4 marcos se cubren con malla media sombra para obtener las 4 bandejas que irán dentro del deshidratador solar.

Figura A33. **Ejemplo de las bandejas del deshidratador**



Fuente: elaboración propia.

Figura A34. **Ejemplo de la vista superior del deshidratador solar terminado**



Fuente: elaboración propia.

Figura A35. **Deshidratador solar terminado**



Fuente: elaboración propia.

Figura A36. **Deshidratador solar en funcionamiento**




Fuente: elaboración propia.

Anexo 2. Resultados del análisis bromatológico del día 13/11/2016

Elaborado por: Aura Marina de Marroquín
Autorizado por: Lic. Miguel Ángel Rodenas

FORMULARIO BROMATO 7
INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS

Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia
de Zootecnia
de Alimentación Animal



Edificio M6, 2° Nivel, Ciudad Universitaria zona
Ciudad de Guatemala
Teléfono: 24188307 ext.
E-mail: bromat000@yahoo.es
B6.691

CUADRO DE RESULTADOS EN ESTA HOJA 2

Solicitado por: DANIEL COYOY,
10-11-2015.

Dirección: CIUDAD, GUATEMALA,
DEL 09 AL 13 -11-2015.

Fecha de realización:

Descripción de la muestra	BASE	Agua %	M.S.T. %	E.E. %	F.C. %	PROTEINA Cruda %	Cenizas %	E.L.N. %	Calcio %	Fósforo %	F.A.D. %	F.N.D. %	Lignina %	Dig. Pepsina %	E.M. MCal/Kg	TND %	E.D. Mcal/Kg
MORINGA SECA PLANTA SAN MIGUEL	SECA	12.96	87.04	2.48	17.74	36.07	9.25	34.45	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	COMO ALIMENTO	.....	.....	2.16	15.44	31.40	8.05	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
MORINGA FRESCA PLANTA SAN MIGUEL	SECA	79.87	20.13	4.03	14.27	32.12	10.87	38.71	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	COMO ALIMENTO	.....	.....	0.81	2.87	6.47	2.19	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	SECA	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	COMO ALIMENTO	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	SECA	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	COMO ALIMENTO	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	SECA	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	COMO ALIMENTO	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	SECA	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	COMO ALIMENTO	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
TOTAL DE MUESTRAS REVISADAS EN ESTA HOJA 2																	

Observaciones: * resultados fueron calculados en base a materia seca total y fresca. Se prohíbe la producción parcial o total de este informe, para mayor información comunicarse al teléfono 24188307.

Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Unidad de Alimentación Animal
Guatemala, G.U.

Lic. Miguel Ángel Rodenas
Jefe Laboratorio de Bromatología

Solicitado por: DANIEL COYOY,
10-11-2015.

Dirección: CIUDAD, GUATEMALA,
DEL 09 AL 13 -11-2015.

Fecha de realización:

Resultados 2015/691
20/11/15

Fuente: Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala.