



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA  
UNAN-MANAGUA

**Facultad Regional Multidisciplinaria, FAREM–Estelí**  
**Evaluación de un deshidratador solar térmico de frutas y**  
**legumbres en la ciudad de Estelí en el año 2020**

**Trabajo monográfico para optar**

al grado de

**Ingeniero en Energías Renovables**

**Autores**

Santos Ramón Valdivia Espinoza

Keybing Caleb Alaníz Alaníz

**Tutor**

Dr. Edwin Antonio Reyes Aguilera

Estelí, 22 enero de 2021



## **Dedicatoria**

Es un logro culminar la carrera, lo que representa una etapa muy importante en nuestras vidas, esto simboliza una meta alcanzada, fruto de los esfuerzos y por eso dedicamos con mucho cariño esta investigación en culminación de nuestros estudios universitarios a **Dios** que es el principio y el fin de todas las cosas, existentes en la eternidad, quien es el centro de nuestras vidas, quien es la mayor inspiración en todo lo que hacemos, de lo que somos y por lo que nos esforzamos cada día por llegar a ser.

A nuestros amados y leales padres quienes pusieron toda su confianza en nosotros y que se han encontrado con nosotros en los mejores y peores momentos ayudándonos a salir adelante, quienes nos motivaron no solo con palabras sino también monetariamente durante el transcurso de estos años en la universidad.

## **Agradecimiento**

Deseamos expresar infinitamente el agradecimiento principalmente a Dios Todo Poderoso, por habernos dado la capacidad y la sabiduría de poder desarrollar culminar nuestros estudios a lo largo de estos años.

Agradecemos a nuestros padres tan especiales por ser siempre incondicionales, por brindarnos su apoyo, confianza y aliento constante y que permanecieron atentos en el trascurso de nuestro paso por la universidad.

También le agradecemos a nuestro tutor, Dr. Edwin Antonio Reyes Aguilera, por su ardua labor de dirigir la investigación de monografía y, sobre todo, por la confianza depositada, su continuo apoyo, atención y dedicación.

Nuestro profundo agradecimiento a los maestros que nos transmitieron sus conocimientos, y dejaron buenas enseñanzas para nuestra formación profesional y crecimiento personal, por compartir parte de su sabiduría y experiencia en cada sesión de clase. Gracias por ofrecernos su confianza desde que llegamos a esta casa de estudios, el cual nos permitió escalar un peldaño más hacia la superación de la vida.

Agradecemos a nuestro compañero Wilfredo Ramírez Toruño por la colaboración en la construcción del prototipo.

A nuestros familiares, compañeros y amigos que con su apoyo y ánimo nos impulsaron a la culminación de nuestra investigación.

A cada uno de nuestros amigos y personas más allegadas quienes fueron una fuente de apoyo y moral para realización de esta investigación y poder así culminar los estudios de ingeniería.

## **CARTA AVAL DEL TUTOR DE MONOGRAFÍA DE GRADO**

Por este medio, hago constar que el documento de monografía de grado titulado **“Evaluación de un deshidratador solar térmico de frutas y legumbres en la ciudad de Estelí en el año 2020”**, elaborado por, Keybing Caleb Alaníz Alaníz ; Santos Ramón Valdivia Espinoza , tiene la coherencia metodológica consistente, así como criterios estadísticos, cumpliendo de esta manera con los parámetros de calidad necesarios para su defensa final, como requisito parcial para optar al grado de Ingeniero en Energías Renovables que otorga la Facultad Regional Multidisciplinaria de Estelí, FAREM Estelí, de la UNAN-Managua.

Se extiende la presente constancia en la ciudad de Estelí a los veinte y dos días del mes de enero del año dos mil veinte.

**Atentamente**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Edwin Reyes Aguilera', written over a light blue grid background.

**Dr. Edwin Antonio Reyes Aguilera**

**Profesor Titular de UNAN Managua / FAREM-Estelí**

**ID ORCID: 0000-0002-0996-1567**

## Resumen

La presente investigación tuvo como propósito el diseño, construcción y evaluación de un prototipo de deshidratación de frutas y legumbres mediante el aprovechamiento de energía solar térmica. Se realizó un estudio de tipo experimental, descriptivo, correlacional. El prototipo se diseñó en el programa Sketchup, se creó en Excel una hoja de recolección de datos que contenía todas las variables de interés. Para las mediciones de las variables se colocaron sensores en diferentes partes del prototipo. Los resultados demuestran efecto significativo de la radiación solar para disminuir el tiempo de secado de la cebolla, así mismo se demostró correlación significativa entre la temperatura, velocidad del viento, radiación y el tiempo de secado ( $r= 0.81$ ;  $p = 0.0001$ ), ( $r= 0.59$   $p = 0.0039$ ), ( $r= 0.60$ ;  $p = 0.0221$ ). Se concluye que el tiempo de secado de la cebolla es aceptable tomando en cuenta que las pruebas se realizaron en días con poca radiación y con presencia de lluvia; las propiedades físicas del aire húmedo evaluadas coinciden con lo reportado por otros autores y el tiempo de secado estuvo determinado por la correlación significativa entre la radiación, velocidad del viento y la temperatura de la cámara.

Palabras clave: deshidratación, energía solar térmica, tiempo de secado

## Abstract

The purpose of this research was the design, construction and evaluation of a prototype of dehydration of fruits and vegetables by taking advantage of solar thermal energy. An experimental, descriptive, correlational study was carried out. The prototype was designed in the Sketchup program, a data collection sheet was created in Excel containing all the variables of interest. For the measurements of the variables, sensors were placed in different parts of the prototype. The results show a significant effect of solar radiation to reduce the drying time of the onion, as well as a significant correlation between temperature, wind speed, radiation and drying time ( $r= 0.81$ ;  $p = 0.0001$ ), ( $r= 0.59$   $p = 0.0039$ ), ( $r= 0.60$ ;  $p = 0.0221$ ). It is concluded that the drying time of the onion is acceptable taking into account that the tests were carried out on non-sunny days and with the presence of rain, the physical properties of the evaluated humid air coincide with that reported by other authors and the drying time was determined by the significant correlation between radiation, wind speed, and chamber temperature.

Keywords: dehydration, solar thermal energy, drying time

## **Lista de Siglas y Acrónimos**

**CIER:** Centro de Investigación de Energías Renovables.

**FAREM:** Facultad Regional Multidisciplinaria.

**MEFCCA:** Ministerio de Economía Familiar Comunitaria Cooperativa y Asociativa

**ONU:** Organización de las Naciones Unidas.

**CH:** Contenido de Humedad.

**HR:** Humedad Relativa.

**$\rho$ :** Densidad.

**$\mu$ :** Viscosidad dinámica.

**$\nu^c$ :** Viscosidad cinemática.

**$C_{pas}$ :** Calor específico.

**$K_v$ :** conductividad térmica.

**$\beta_t$ :** Coeficiente de expansión térmica.

**$H_{pa}$ :** Presión atmosférica.

## Índice general

Capítulo 1 .....	12
1.1. Introducción .....	12
1.2. Planteamiento del problema.....	13
1.2.1. Caracterización del problema .....	13
1.2.2. Delimitación del problema .....	13
1.2.3. Formulación del problema .....	14
1.2.4. Sistematización del problema.....	14
1.3. Justificación .....	15
1.4. Objetivos .....	16
1.4.1. Objetivo General.....	16
1.4.2. Objetivos específicos.....	16
Capítulo 2 .....	17
2.1. Antecedentes .....	17
2.2. Marco teórico .....	21
2.2.1. Energía Solar .....	21
2.2.2. Insolación .....	21
2.2.3. Unidades de medida.....	22
2.2.4. Día Solar .....	22
2.2.5. La radiación solar directa .....	22
2.2.6. La radiación difusa .....	23
2.2.7. Secadores solares .....	23
2.2.8. Proceso de secado solar .....	24
2.2.9. Tipos de Secadores Solares .....	25
2.2.10. Factores que influyen en el tiempo de secado .....	28
2.2.11. Ratios de secado .....	30
2.2.12. Propiedades físicas del aire húmedo.....	31
2.3. Hipótesis .....	34
Capítulo 3 .....	35
3.1. Diseño metodológico .....	35
3.1.1. Tipo de estudio .....	35
3.2. Área de estudio .....	36



3.2.1.	Ubicación geográfica.....	36
3.2.2.	Área de conocimiento.....	37
3.2.3.	Universo y muestra.....	37
3.3.	Matriz operacional de variables.....	38
3.4.	Métodos, técnicas e instrumento para recolección de datos e información.....	41
3.4.1.	Implementación de métodos cuantitativos .....	41
3.5.	Procedimientos para la relación de datos e información .....	42
3.6.	Plan de tabulación y análisis estadísticos.....	43
Capítulo 4	.....	44
4.1.	Análisis y discusión de resultados .....	44
4.1.1.	Diseñar un prototipo de secador solar indirecto para el proceso de deshidratación de la cebolla. ....	44
4.1.2.	Determinar el tiempo de secado de la cebolla sometida al proceso de deshidratación en el prototipo de deshidratador solar térmico.....	46
4.1.3.	Evaluar las propiedades físicas del aire húmedo que influyen en el secado de deshidratación solar por convección natural. ....	49
4.1.4.	Determinar el efecto de la radiación solar, la temperatura, velocidad del viento en el tiempo de secado del producto sometido al proceso de deshidratación. ...	50
Capítulo 5	.....	54
5.1.	Conclusiones.....	54
5.2.	Recomendaciones .....	55
5.3.	Bibliografía .....	58
5.4.	Anexos .....	61
5.4.1.	Criterio para definir el fin del secado .....	61
5.4.2.	Tabla de estudio de campo .....	62
5.4.3.	Presupuesto.....	63
5.4.4.	Presupuesto de materiales para el diseño y construcción del deshidratador ..	65

## Índice de tablas

<b>TABLA 6.</b> CRITERIO PARA DEFINIR EL FIN DEL SECADO. ....	61
<b>TABLA 7</b> LEVANTAMIENTO DE DATOS EN ESTUDIO DE CAMPO.....	62
<b>TABLA 8.</b> PRESUPUESTO GENERAL.....	63
<b>TABLA 9</b> PRESUPUESTO DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL DESHIDRATADOR SOLAR. ....	65

## Índice de figuras

FIGURA 1 RADIACIÓN SOLAR. ....	23
FIGURA 2 SECADOR TIPO ARMARIO. ....	27
FIGURA 3 FAREM-ESTELI, ....	36
FIGURA 4 DESHIDRATADOR SOLAR.....	46
FIGURA 5 DESHIDRATADOR SOLAR CONSTRUIDO .....	46
FIGURA 6 PRUEBA DE SECADO 1. ....	47
FIGURA 7 PRUEBA DE SECADO 2. ....	48
FIGURA 8 PRUEBAS DE SECADO 3.....	48
FIGURA 9 PRUEBAS DE SECADO 4.....	49

# Capítulo 1

## 1.1. Introducción

En la sociedad actual la agricultura es una actividad económica primordial para la economía mundial, dedicándose a ella gran parte de la población, constituyéndose para los agricultores como su única fuente de ingreso. Varios productos agrícolas necesariamente requieren un secado post-cosecha, para mantener sus características naturales, incluso en los productos que se pueden comercializar en forma fresca, el secado es una excelente opción para el agricultor, concretamente si hay una sobreproducción del producto la cual hace que se devalué el precio del producto fresco.

Para el secado de frutas y residuos vegetales, se involucran mecanismos de transferencia de materia y calor, estos se controlan para manejar un proceso de coeficiente y obtener un producto de mejor calidad.

La reducción de humedad en los alimentos es uno de los métodos más antiguos utilizados de conservación, al reducir el contenido de agua se elimina la posibilidad de su deterioro biológico y otros mecanismos asociados a él, pero el tema toma vigencia en el sentido de manejar procesos coeficientes, es decir cerrados, sin impactos y económicamente rentables.

El secado de frutas y legumbres ha sido una práctica habitual de conservación en el campo para asegurar la disponibilidad de los productos alimenticios y medicinales durante todo el año, por esto se presentan la búsqueda de alternativas para satisfacer las demandas energéticas, estudiando y analizando la energía solar de manera intensiva y extensiva, (Muñoz & Cabrera, 2006) .

El prototipo que se construyó, es un diseño de secador de tipo indirecto el cual podría ser utilizado en lugares de difícil acceso a la energía, o bien en lugares donde no se cuenta con los recursos necesarios para obtener un secador adecuado.

Además, se realizaron las medidas de distintos parámetros térmicos, de transferencia de calor, para evaluar las características del diseño a realizar, y sus capacidades, las cuales también se pretendió realizar diferentes pruebas con frutas y legumbres.

## **1.2. Planteamiento del problema**

### **1.2.1. Caracterización del problema**

Alrededor de un tercio de la producción de alimentos para el consumo Humano del mundo termina en la basura, lo que equivale aproximadamente 1.300 millones de toneladas al año, lo que además implicaría un desperdicio de los alimentos; como agua, tierra, fertilizantes, mano de obra, entre otros, un uso innecesario del espacio de los vertederos, pérdida de dinero de los productores, vendedores y consumidores y una emisión de gases y líquidos constantemente en vano. De hecho, según la misma investigación, la huella de carbono de los alimentos producidos que no son consumidos se estima en 3.300 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> (Agrimundo, 2017).

Guerrero & Salazar, (2010), expresan que las pérdidas postcosecha son un problema que se ha venido dando desde hace algunos años, actualmente muchos agricultores tienen pérdidas en sus cultivos, esto debido a que no encuentran mercado para la venta, provocando una serie de inconformidades para las personas que se dedican a cultivar.

### **1.2.2. Delimitación del problema**

En Nicaragua, ((Frutas) & //CA, 2004) generalmente cuenta con zonas donde se producen varias especies frutales, tales como: Banano, Mango, Aguacate, piña, Guayaba, Papaya, Guanábana, Marañón, Anona, Níspero, y Zapote. La mayoría de estos cultivos excepto el banano y áreas reproducidas de mango y aguacate, se producen en bajo nivel de tecnología.

En nuestro país no existen industrias estables, desarrolladas, capaz de satisfacer la demanda de producción de estas frutas, por lo tanto, están son pérdidas que se originan en la producción y el mercado con grandes acumulaciones que se generan por falta de consumo en el país, en el cual también se causan muchos daños en la transportación para ser explotadas.

La problemática principal se debe a las pérdidas de cosechas de frutas y legumbres que muchas veces causan pérdidas económicas a los productores por no conservar la vida útil, valor nutritivo y disponibilidad, sumado a esto la falta de valor agregado a la producción

frutícola nicaragüense, como suele observarse en los supermercados la mayoría de los productos con valor agregado son de origen extranjero.

### **1.2.3 Formulación del problema**

Tomando en cuenta lo anterior, surge la principal interrogante para poder dar la solución a la problemática: ¿Cómo se evaluar el prototipo de deshidratación de frutas y legumbres mediante el aprovechamiento de energía solar térmica en la ciudad de Estelí?

### **1.2.4 Sistematización del problema**

Las preguntas de sistematización correspondiente se presentan a continuación:

1. ¿Cómo se diseña un prototipo de secador solar indirecto para el proceso de deshidratación de la cebolla?
2. ¿Cómo se determina el tiempo de secado de la cebolla sometida al proceso de deshidratación en el prototipo de deshidratador solar térmico?
3. ¿Cómo evalúa las propiedades físicas del aire húmedo que influyen en el secado de deshidratación solar por convección natural?
4. ¿Cómo se determina el efecto de la radiación solar, la temperatura, velocidad del viento en el tiempo de secado del producto sometido al proceso de deshidratación?

### **1.3. Justificación**

En los últimos años, la recolecta de algunas frutas para la venta a empresas procesadoras de alimentos, ha cobrado importancia en nuestro país, sin embargo, los productores de las áreas rurales, se beneficiarán con la tecnología necesaria para la deshidratación de las frutas y semillas, de tal manera que puedan incrementar la vida útil de sus productos.

Este estudio permitió la utilización de energía sustentable, con lo cual podrían los productores reducir costos en el secado como parte de un beneficio económico; el prototipo de deshidratador planteado en la presente investigación puede ser utilizado por comunidades alejadas que no cuentan con energía eléctrica.

La evaluación del prototipo de deshidratación, brinda una alternativa para reducir las pérdidas que se generan durante la post cosecha que son causadas por contaminación microbiana, transformando las frutas y legumbres en un deshidratado para uso gastronómico, de esta la aplicación del prototipo podría contribuir a la búsqueda del cambio de la matriz productiva.

En este proyecto se evidencia la importancia de un diseño propio de un deshidratador de cebollas que se adapte a las necesidades y capacidades tanto económicas como productivas, de una micro empresa, de tal manera que se logre un mayor almacenamiento y la reducción en costos de transporte, buscando que la vida útil de la cebolla se alargue y que no pierda ni su sabor característico ni sus propiedades nutricionales.

A partir de la conservación de la cebolla, inicia el origen del reto de innovación propuesto por el Ministerio de Economía Familiar, Comunitaria, Cooperativa y Asociativa de Nicaragua (MEFCCA) al Centro de Innovación Abierta de la Facultad Regional Multidisciplinaria (FAREM) Estelí.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Evaluar el prototipo de deshidratación de la cebolla mediante el aprovechamiento de energía solar térmica.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

1. Diseñar un prototipo de secador solar indirecto para el proceso de deshidratación de la cebolla.
2. Determinar el tiempo de secado de la cebolla sometida al proceso de deshidratación en el prototipo de deshidratador solar térmico.
3. Evaluar las propiedades físicas del aire húmedo que influyen en el secado de deshidratación solar por convección natural.
4. Determinar el efecto de la radiación solar, la temperatura, velocidad del viento en el tiempo de secado del producto sometido al proceso de deshidratación.



## Capítulo 2

### 2.1. Antecedentes

Bejarano Martínez, (2018) investigó la tecnología de deshidratación solar como alternativa de transformación para los productores de la región el Tequendama, debido a que, en épocas de cosecha, los productores se ven expuestos a una inestabilidad económica por la regulación de precios de los intermediarios, y en la mayoría de casos el precio al que le pagan a los productores es inferior a los costos de producción.

Los resultados muestran que la deshidratación solar en el lugar de montaje, es una alternativa viable para los productores porque genera un producto de calidad al conservar las propiedades fisicoquímicas y es rentable su implementación. Adicionalmente, presenta una gran posibilidad para el desarrollo de nuevas investigaciones en la ciencia y tecnología de alimentos, e ingeniería agrícola para mejorar el desempeño del proceso de deshidratación solar en Colombia.

Mendes Recinos, (2017), en su trabajo de investigación, ha hecho uso del recurso solar a través de la conversión foto-térmica, con la finalidad de hacer uso del recurso solar para obtener energía calorífica para que esta energía pueda ser aprovechada en calentamiento de un horno deshidratador de productos agrícolas. En el sistema diseñado se aprovecha la conversión foto-térmica de tal manera que se capta la energía necesaria para que su disponibilidad termodinámica sea satisfactoria en el proceso de deshidratado. El secado o deshidratado es un proceso de gran importancia en la cadena de producción de alimentos, ya que el contenido de humedad es, sin duda, la característica más importante para determinar si el producto agrícola como los granos básicos corren el riesgo de deteriorarse durante el almacenamiento. El secado se realiza para inhibir la germinación de semillas, reducir el contenido de humedad de los granos hasta un nivel que impida el crecimiento de los hongos, y evitar las reacciones de deterioro.

Meza & Carvallo,( 2013), el presente trabajo tiene por objeto diseñar un prototipo de deshidratador solar de cacao (*Theobroma cacao* L.) para pruebas en laboratorio que permita la variación de parámetros de diseño. Para lograr esto se llevó a cabo una investigación bibliográfica donde se estudiaron detalladamente los distintos tipos de deshidratadores y una investigación de campo para determinar los principales problemas que tienen los productores de cacao al secar su producto. Se emplearon matrices de decisión para evaluar distintos diseños propuestos y materiales de construcción. El banco de prueba se constituye por una cámara de secado con capacidad de 50Kg de cacao, un colector solar de placas planas que podrá variar sus longitud de 1,5m hasta 3m, cambiar la separación de placas desde 5cm hasta 10cm y seguir el recorrido solar desde las 10am solar hasta las 4pm solar, conectado a un ventilador centrifugo para simular flujos desde 0,0826 Kg/s hasta 0,00826 Kg/s y lámparas de haluro metálico que proporcionaran la radiación necesaria para el estudio del desempeño del deshidratador solar, simulando distintas regiones procesadoras de cacao en Venezuela.

Los resultados obtenidos en la estructura del banco de prueba para deshidratación solar de cacao. Separando la cámara de secado y el colector solar en sus características más relevantes de diseño, para las estructuras de la cámara de secado plano y el colector solar plano se escogió el acero galvanizado por su gran resistencia a los esfuerzos de flexión que estarán sometidos durante su uso y además de su excelente capacidad para evitar la corrosión en ambientes expuestos a ella. De igual manera fue seleccionada la espuma comprimida de poliuretano como aislante térmico para las dos estructuras, con el propósito de mantener estables las condiciones dentro de la cámara de secado y evitar las pérdidas de calor en todo el banco de prueba.

León Rodríguez, (2018), su proyecto se basa en el diseño y construcción de una máquina deshidratadora de ajos con una capacidad de al menos 10 kg por proceso, aunque puede emplearse para diversos tipos de vegetales o frutas. En el diseño se consideró las propiedades de los materiales, como el de la elaboración de la cámara de secado que es de acero inoxidable, debido a que este material está directamente en contacto con los alimentos. La máquina está gobernada por un microcontrolador de gama media PIC16F877A encargado de la maniobra, control y señalización de las variables temperatura

y humedad que se muestran en una pantalla LCD 16x2 la cual se encuentra en la parte baja de la máquina. Para optimizar el proceso de deshidratado, se diseñó un control PID para mantener la temperatura constante. Además, esta máquina está diseñada de un modo más amigable para el usuario, ya que cuenta con una interfaz detallada en el LCD y una distribución de botones muy fáciles de entender. El suministro de energía del deshidratador se obtiene por medio de la energía producida por centrales hidroeléctricas, sin embargo, en caso de existir deficiencias o fallas en dicho suministro de energía, se ha diseñado y dimensionado un sistema alternativo por medio de paneles fotovoltaicos.

Como resultado plantea, que el proyecto busca ser lo más compacto y eficiente posible para que sea almacenado en cualquier cocina y con una capacidad de al menos 10kg por proceso. Para la estructura se consideraron los mecanismos de transferencia de calor a la que estará constantemente sometido, con el fin tener una máquina con un prolongado tiempo de producción y amplia vida útil.

En un estudio realizado por Nevarez & Cuzme, (2016) La meta de esta investigación fue determinar los efectos de temperatura de congelación y tiempo de deshidratación en el proceso de deshidrocongelación, en las características físicas y sensoriales de cebolla perla (*Allium cepa* L) en polvo. Concluyeron que el tiempo de deshidrocongelación idóneo para obtener polvo de cebolla (*Allium cepa* L) es, en el cual se emplea ocho horas; mediante el uso de este tiempo se reduce este proceso provocando variaciones en las variables físicas estudiadas.

A: Temperaturas de congelación (-20, -40 y -60°C) y B: Tiempos de deshidrocongelación (8, 12 y 16 horas). Las variables evaluadas a todos los tratamientos en esta investigación fueron las siguientes: propiedades físicas (humedad y cenizas), análisis organoléptico (olor, color y textura), mientras que al mejor tratamiento de este trabajo experimental se evaluaron las variables mohos, levaduras y granulometría. De esta forma se concluye que el tiempo de deshidrocongelación idóneo para obtener polvo de cebolla (*Allium cepa* L) es, en el cual se emplea ocho horas; mediante el uso de este tiempo se reduce este proceso provocando variaciones en las variables físicas estudiadas.

Moraga Castro,( 2013), diseñó un proyecto de empresa para secado de café pergamino en el municipio de Matagalpa, realizado por estudiantes de la UNAN Managua – FAREM Matagalpa, en el año 2013 El trabajo investigativo fue realizado en beneficio Sajonia S.A. Ubicado en el Km 117 carretera Managua/Matagalpa. Situado en la comunidad de Quebrada Onda, la cual se encuentra en el municipio de Matagalpa, el objetivo de la investigación fue evaluar el proceso de secado de café pergamino actual en el Beneficio Sajonia S.A.

Para alcanzar dicho objetivo estudiaron las diferentes etapas en el proceso de secado, desde la recepción de café hasta su almacenaje cuando posee el porcentaje de humedad adecuado, además se estudiaron los diferentes métodos de secado actual como son, pilas de concreto, telones de plástico negro y cajillas de madera, se estudiaron las variables que intervienen en el proceso de secado de café pergamino, entre las cuales se encuentra la temperatura media, humedad relativa, radiación solar y flujo másico del aire. También se propone un diseño de secadero solar con una capacidad de 453.6 kg equivalentes a 1000 libras con un sistema activo del modelo integral.

Castellon & Espinoza, (2009), validaron un secador solar para café en pergamino en fincas de pequeños productores del municipio de San Rafael del Norte, realizado en el año 2009. El secador se evaluó en dos ciclos de cosecha, 2007-2008 y 2008-2009, en el beneficio húmedo de tres fincas en San Rafael del Norte a diferentes alturas (1115, 1154 y 1175 Msnm) y también se hizo una prueba experimental en un beneficio seco de café en Palacagüina, a 650 Msnm, para conocer el potencial del secador en condiciones de mayor temperatura. En los dos ciclos de evaluación, se lograron obtener gradientes de temperatura entre 10 °C y 25 °C en comparación con el ambiente. También se lograron obtener temperaturas hasta de 60 °C y una temperatura promedio de 8 °C en relación con el ambiente. Los autores concluyeron que, el secador solar redujo el tiempo de secado hasta un 50% y se demostró su factibilidad económica.

Montero Puertas ( 2005), en este trabajo se plantea, como objetivo principal, la aplicación del secado solar a las fases generadas (alperujo, orujo y alpechín), para el estudio de la Cinética de secado de las mismas y la valoración de la viabilidad de aplicación de dicho

Proceso de secado solar, aunque sin duda, por sus características, sea su utilización en La fase alpechín la que mayores expectativas presenta.

Los resultados obtenidos les permitieron establecer que la aplicación, del secado solar no resulta interesante, por sus características, al subproducto alperujo; el secado solar para las fases orujo y alpechín, para las condiciones estudiadas, ha proporcionado resultados muy positivos, permitiendo el aprovechamiento eliminación integral de los mismos.

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Energía Solar**

La energía es de vital importancia para el desarrollo rural en cualquier país. Con ella es posible llevar a cabo los trabajos que el hombre por sí solo es incapaz de hacer. Existen diversas fuentes de energía, entre ellas están los combustibles fósiles y las fuentes de energía renovable como el sol y el viento. La energía solar fotovoltaica (FV) se denomina renovable debido a que se trata de un recurso limpio, abundante e inagotable. Las aplicaciones más comunes que utilizan la tecnología de renovables en el sector rural son, iluminación, bombeo de agua para consumo humano y para riego por goteo, cercos eléctricos, aireación de estanques y sistemas de secado de productos agrícolas, (Gasquet & Hector, 2004) .

### **2.2.2. Insolación**

La cantidad de energía solar (directa y reflejada) que se recibe durante la duración del día, en un punto determinado del planeta, sobre una superficie colectora horizontal de 1m<sup>2</sup>, recibe el nombre de insolación. El término deriva de la palabra inglesa “insolation”, la que, a su vez, representa un acronismo derivado de tres palabras del mismo idioma: incident solar radiation (radiación solar incidente), (Gasquet & Hector, 2004) .

### **2.2.3. Unidades de medida**

Se usan diferentes unidades para expresar el valor de la insolación de un lugar. La más conveniente para nuestra aplicación es el kilowatt-hora por metro cuadrado (kWh/m<sup>2</sup>), o su valor equivalente en miliwatt hora por centímetro cuadrado (mWh/cm<sup>2</sup>). Si la energía del sol se utilizare para calentar agua, resultará más conveniente usar como unidad para el diseño las calorías por metro cuadrado (cal/m<sup>2</sup>) o los Btu/f (British thermal unit por pie cuadrado), (Gasquet & Hector, 2004) .

### **2.2.4. Día Solar**

Según Abella (2005), Representa el valor promedio de horas, del total de horas entre el amanecer y el anochecer, durante el cual un sol “equivalente” (con radiación (DS) constante de 1 SOL) es capaz de generar la misma cantidad de energía que el sol verdadero entrega, en promedio, en esa locación, para esa época del año. Como ejemplo, supongamos que en una locación el valor de insolación estacional promedio es de 5 kWh/m<sup>2</sup>/día. Desde el punto de vista energético (potencia por tiempo) podemos asumir un DS de 5 horas, con una irradiación constante de 1 kW/m<sup>2</sup>, ya que el producto 5 h/día x 1kW/m<sup>2</sup> representa el mismo valor energético de insolación.

### **2.2.5. La radiación solar directa**

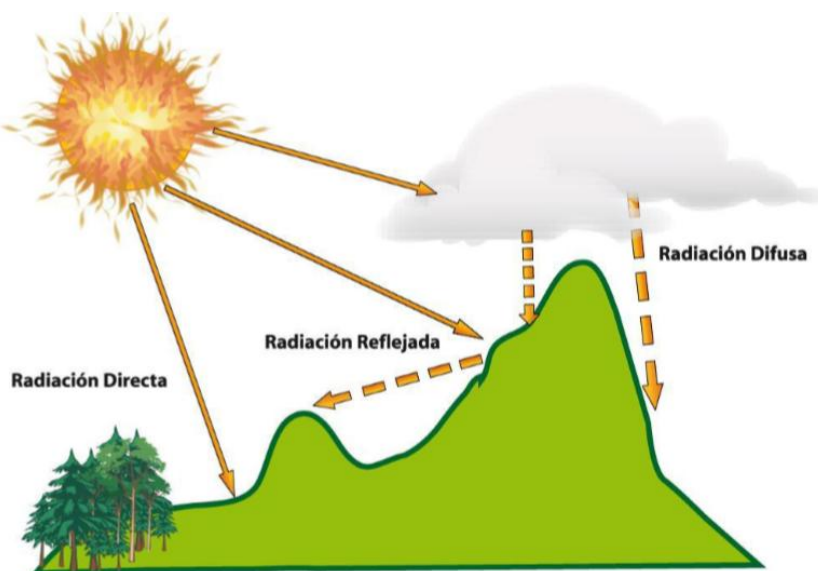
Moncayo, Roa & Ortega (2011), lo definen como la radiación que viaja en línea recta desde el Sol a la superficie de la Tierra. Los valores del día solar despejado se miden en muchas localidades en el mundo. Para este modelo, se requiere el conocimiento de las intensidades y la dirección en diferentes momentos del día.

La radiación directa como su nombre indica es la cantidad de radiación solar recibida en cualquier lugar de la Tierra directamente del Sol, sin ningún tipo de perturbaciones. La radiación solar directa puede ser también reflejada y dispersada por la superficie de la Tierra o en la atmósfera.

### 2.2.6. La radiación difusa

Es la proveniente del cielo como resultado de la dispersión de la radiación solar por la atmósfera.

Esta energía podría suponer aproximadamente un 15% de la insolación en los días soleados, pero en los días nublados, en los cuales la insolación directa es muy baja, la insolación difusa supone un porcentaje mucho mayor. Por otra parte, las superficies horizontales son las que más insolación difusa reciben, ya que "ven" toda la semiesfera celeste, mientras que las superficies verticales reciben menos porque sólo "ven" la mitad de la semiesfera celeste



*Figura 1 RADIACIÓN SOLAR.*

*FUENTE: (Moncayo, Roa M, & Ortega Torres, 2011)*

### 2.2.7. Secadores solares

Un secador consiste generalmente en un recinto cerrado, en el cual los productos están protegidos de la intemperie y dispuestos de la manera más apropiada para su secado, un sistema de ventilación natural o forzada y en la mayoría de los casos un dispositivo de calentamiento del aire utilizado para el secado (Puffer, 2008) .

### **2.2.8. Proceso de secado solar**

De acuerdo a Puffer, (2008), Como “secado”, también llamado “deshidratación”, se entiende generalmente el proceso de transferencia del agua libre contenido en un producto a un gas (normalmente aire) que lo rodea mediante el proceso de la evaporación, mediante el cual el agua pasa del estado líquido al estado gaseoso. Este cambio de fase requiere considerables cantidades de energía térmica, llamado *calor latente*, que tiene que ser aportada de alguna manera al sistema para mantener el proceso en marcha.

La evaporación de 1 kg de agua requiere la misma cantidad de energía como por ejemplo la necesaria para el calentamiento de 10 kg de agua un total de 54°C. Cabe mencionar que, a parte de la evaporación, el término “deshidratación” incluye también otros procesos físicos o químicos de eliminación de agua, como por ejemplo la osmosis o el agregado de azúcar o sal.

Para favorecer la evaporación se recurre normalmente al calentamiento artificial del aire y/o del producto a secarse. Al incrementar la temperatura del aire se incrementa considerablemente su capacidad de “almacenamiento” en vapor de agua. Otro factor favorable para el secado es el movimiento del aire circundante al producto, lo que produce una sustitución permanente del aire en la inmediatez del producto cargado de humedad por aire más seco. Sin embargo, existe para cada tipo de producto, sobre todo cuando se trata de un alimento, una temperatura de secado máxima, que no se puede sobrepasar, sin que se produzcan deterioros en su calidad.

En la deshidratación, la remoción de humedad es el proceso de interés porque relaciona la transferencia de masa y transferencia de calor, y determina las condiciones del producto final (Orrego, 2003). Los alimentos, particularmente frutas y hortalizas requieren aire caliente con rango de temperaturas entre 45 y 60 °C, para una deshidratación segura, es decir, que los productos conserven la mayoría de sus propiedades nutricionales y organolépticas, (Kant, Kumar, Sharma & Jain, 2016).



## **2.2.9. Tipos de Secadores Solares**

En el desarrollo de las investigaciones, la clasificación de los diferentes tipos de deshidratadores solares se ha basado en el principio de convección como mecanismo de transferencia de calor. Según, Kumar, Singh & Prakash, (2014), la clasificación habitual de los sistemas de deshidratación solar es: convección forzada, convección natural y modelos mixtos. La Figura 13 muestra la clasificación que se usó en la presente investigación.

### **2.2.9.1. Diseños modo directo**

La variante más común y económica del modo directo, es la disposición del alimento a cielo abierto sobre la tierra o piso de concreto, quedando éste expuesto directamente al sol, manejando un tiempo de proceso entre 106 a 120 h. La ventaja más representativa de esta metodología es el bajo costo y la ecología del proceso, debido a que no utiliza energía eléctrica o derivada de combustibles fósiles Según, (Ochoa Reyes, et al., 2013) En este tipo de deshidratación, parte de la radiación solar de longitud de onda corta tiene contacto directo con el producto. Una porción de esta radiación se refleja hacia la atmósfera y la otra parte, es absorbida por la superficie dependiendo del color del alimento.

Según, Michellis & Elizabeth, (2012) las principales desventajas de la deshidratación solar de modo directo son las siguientes:

1. El tiempo de secado depende mucho de las horas de sol, la temperatura ambiente del proceso y de la velocidad del viento.
2. El proceso tiene el más alto rendimiento en lugares secos y con muy baja frecuencia de lluvias.
3. El secado puede tardar entre 2 y 6 días, dependiendo de las condiciones ambientales y de la materia prima.
4. Cuando el proceso tarda mucho tiempo, la calidad del producto final se ve afectada por el contacto directo con la luz solar.

5. Se debe controlar constantemente el proceso, porque se puede generar putrefacción de la materia prima (generalmente en los que tienen muy alta humedad).
6. Es necesario mover y dar vuelta al producto con frecuencia para que el secado sea uniforme.
7. El producto puede estar expuesto a animales y contaminación cruzada.

El secador solar directo expone directamente el producto alimenticio al sol y no permite controlar ningún tipo de variable que interviene en el proceso, como es el flujo de aire, radiación solar, humedad del producto y la temperatura del aire de secado, (Hernandez Gomez, Olvera Garcia, Guzman Tinajero, & Morllon Galvez, Junio 2007) .

#### **2.2.9.2. Diseños modo indirecto**

En este tipo de circulación el aire es movido por las diferencias de temperatura entre las distintas partes del equipo, que promueven la convección térmica del aire. En este tipo de circulación se hace más difícil de incorporar con equipos grandes.

En este tipo de secador, el colector y la cámara de secado están separados. El aire es calentado en el colector y la radiación no incide sobre el producto colocado en la cámara de secado. La cámara de secado no permite la entrada de la radiación solar. Este secador es esencialmente un secador convectivo convencional sobre el cual el sol actúa como fuente energética.

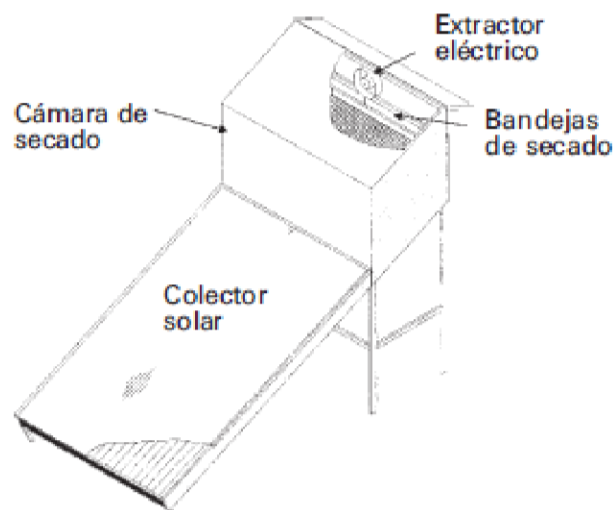
El diseño de modo indirecto consta en su mayoría de: una entrada de aire, uno o varios colectores de radiación solar, un calentador auxiliar en algunos casos, un ventilador para la circulación del aire y una cámara de secado. Actualmente, es considerado como una de las últimas tendencias en desarrollo tecnológico del proceso de deshidratación; con mayor eficiencia que el tipo indirecto se atribuyen aspectos positivos en el proceso como, la reducción de la decoloración y agrietamiento de la superficie del producto, (Prakash & Kumar, 2013) .

En la deshidratación solar indirecta, el calor necesario para la evaporación de la humedad se transfiere por convección desde el aire caliente hacia el producto. Con la deshidratación

indirecta, se tiene un mejor control de las condiciones del proceso, por lo que se obtiene un producto de mejor calidad respecto al de modo directo, (Espinoza, 2016) . La Figura 2 muestra el esquema de funcionamiento de un deshidratador solar indirecto con convección natural.

Calero, (2014) Lo clasifica de la siguiente manera:

Tipo “Armario” Es un modelo complejo para secar todo tipo de alimentos, especialmente aquellos que necesitan mantener un buen color y proteger sus propiedades naturales. Consiste en una cámara de secado y un colector solar inclinado, unidos entre sí en la parte inferior de la cámara. En ésta se encuentran superpuestas varias bandejas de secado removibles con tejido. Las bandejas están protegidas por una puerta colocada en la pared trasera de la cámara.



*Figura 2 Secador tipo Armario.*

**Fuente:** (Calero, 2014)

El colector está cubierto con vidrio y tiene en su interior una chapa de color negro, para aumentar su superficie de intercambio de calor con el aire. El aire ambiental entra por la extremidad inferior del colector, que está cubierta por una malla, y se calienta gradualmente hasta una temperatura de 25 a 30°C superior a la temperatura ambiental. Entra finalmente en la cámara, donde atraviesa las bandejas ejerciendo su poder secador. Un extractor de aire en la parte superior de la cámara garantiza la buena ventilación del aparato.

### **2.2.9.3. Diseños modo mixto**

De acuerdo a Roa Marin & Ortega Torrez, (2011) Son aquellos donde la colección de radiación se realiza tanto en el colector solar previo a la cámara de secado como en la misma cámara de secado. El Secador solar mixto presenta varias ventajas; en primer lugar, el control del proceso es más simple (sobre todo en el caso de secadores con circulación forzada de aire). Es fácil de integrar una fuente auxiliar de energía para construir un sistema híbrido. El tener una cámara de secado separada de los colectores facilita la manipulación del producto y las labores de carga y descarga. Dado que la cámara no permite la entrada de la radiación solar, este sistema permite secar en forma conveniente productos que se puedan dañar o perder su calidad de aspecto por una exposición directa al sol.

Una desventaja de este tipo de secadores es el hecho de que, al añadir el colector previo a la cámara para recolectar energía solar, el tamaño del equipo y sus costos aumentan. Una segunda desventaja es que para evaporar la misma cantidad de agua se necesita mover más kilogramos de aire a mayor temperatura que en el caso de los secadores directos, (Roa Marin & Ortega Torrez, 2011).

### **2.2.10. Factores que influyen en el tiempo de secado**

Según, Carvallo , A, Meza, & Maria , (2013). En este proceso existe una variedad de factores que influyen durante el secado, mostrados a continuación:

- **Humedad del producto:** se encuentra en la microestructura del sólido como una solución líquida, mientras más humedad haya requerirá más cantidad de energía o/y más tiempo para retirarla.
- **Tamaño de partícula del sólido:** Si las características del sólido permiten obtener partículas uniformes, al variar el tamaño se puede observar que la velocidad de secado aumenta al disminuir el tamaño de la partícula.

- Radiación solar: la radiación solar se encarga de calentar el fluido dentro del colector, por lo tanto, es indispensable que el colector se encuentre en una región donde la radiación solar sea la mayor posible.
- Temperatura del aire: conforme se incrementa su valor se acelera la eliminación de humedad dentro de los límites posibles. Durante el proceso de secado, se origina un gradiente de temperatura con respecto al espesor del material, mismo que tiende a disminuir conforme se reduce el contenido de humedad.
- Humedad relativa del aire: generalmente, se expresa en porcentaje (%), a medida que se incrementa la temperatura del aire aumenta su capacidad de absorción de humedad y viceversa. Cuando el aire contiene su máxima capacidad, se dice que se trata de un aire completamente saturado y por lo tanto incapaz de absorber más humedad, por el contrario, un aire no saturado tiene la posibilidad de absorber una cantidad determinada de humedad hasta lograr su saturación.
- Velocidad del aire: La velocidad del aire dentro del secador tiene como funciones principales, en primer lugar, transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el material facilitando su evaporación, y, en segundo lugar, transportar la humedad saliente del material. La capa límite que existe entre el material a secar y el aire juega un papel importante en el secado. Cuanto menor sea el espesor de esta capa límite, más rápida será la remoción de humedad. La forma de la corriente del aire es importante para la velocidad, una corriente turbulenta es mucho más eficaz que una laminar, pues la primera afecta en mayor forma la capa límite y el aire. Durante las primeras etapas del secado, la velocidad del aire desempeña un papel muy importante, sobre todo cuando el material contiene un alto contenido de humedad. A mayor velocidad, mayor será la tasa de evaporación y menor el tiempo de secado y viceversa, si la velocidad del aire disminuye la tasa de evaporación disminuye y el tiempo de secado aumenta. Por tal razón, para asegurar un secado rápido y uniforme es indispensable una circulación del aire fuerte y regular.

Las ventajas de velocidades altas de aire, disminuyen en cuanto mayor es el espesor del material, menor el contenido de humedad inicial y la temperatura de bulbo seco inicial. Se utilizan velocidades mayores a 3 m/s sólo en casos excepcionales (material muy húmedo), pero en general, la velocidad se considera entre de 1 m/s a 3 m/s. En algunos casos, es recomendable utilizar velocidades de secado altas al inicio del proceso de secado, pero a medida que disminuye la humedad se sugiere disminuir la velocidad. Lo anterior es posible si se cuenta con ventiladores de velocidad variable.

### **2.2.11. Ratios de secado**

#### **2.2.11.1. Curvas de secado**

Según Ekechukwu, (2009) Generalmente, el secado se caracteriza por tres fases en las cuales se observa todo el desarrollo del proceso de secado:

**Primera Fase: Periodo de velocidad de secado creciente.** Periodo corto transitorio (habitualmente despreciable) en el que se produce un calentamiento inicial del producto y la velocidad de secado aumenta.

**Segunda Fase: Periodo de velocidad de secado constante.** En este periodo el secado tiene lugar sólo en la superficie, produciéndose exclusivamente la evaporación de la humedad superficial. La extracción de humedad en este periodo depende principalmente. De las condiciones del aire circundante y prácticamente es independiente de la naturaleza del producto. El movimiento del agua en el material es lo suficientemente rápido como para mantener las condiciones de saturación en la superficie, de manera que durante todo el intervalo el producto se encuentra saturado de humedad a una temperatura prácticamente constante y aproximadamente igual a la temperatura de bulbo húmedo. El proceso es similar a la evaporación de un líquido. (En los materiales no higroscópicos todo el proceso de secado tiene lugar en el régimen de secado constante).

**Tercera Fase: Periodo de velocidad de secado decreciente.** Este periodo empieza al finalizar el periodo constante (contenido de humedad crítico del producto). La resistencia interna del material se hace más importante, dificultando el paso de humedad; ya no existen condiciones de saturación en la superficie y se produce la eliminación de la humedad interna. Este periodo depende fundamentalmente de la difusión de humedad del interior del producto hacia la superficie, así como de la evaporación superficial. A su vez, está dividido en dos estados, un primer periodo decreciente, en el que tiene lugar el secado de la superficie no saturada, y un segundo periodo decreciente en el que la difusión de humedad a la superficie se hace más lenta y es el factor determinante. En general, la duración de estos regímenes depende del contenido de humedad inicial del material.

### 2.2.12. Propiedades físicas del aire húmedo

Según, Tiwari, (2002), el comportamiento del aire húmedo no es constante con la temperatura. A continuación

Se presenta la dependencia de sus principales propiedades físicas con la temperatura.

#### Calor específico

Propiedad que explica la variación de temperatura de un material en función de la cantidad de calor en él almacenada. Al igual que en el caso anterior, por una amplia operación a presiones constantes, se habla de calor específico como una propiedad a presión constante.

*Ecuación 2* 
$$C_{pas} = 999,2 + 0,1434 * Tfm + 1,101 * 10^{-4} * Tfm^2 - 6,7581 * 10^{-8} * Tfm^3$$

#### Densidad

La densidad se define como la masa por unidad de volumen. La unidad de densidad en el sistema internacional es el  $[kg/m^3]$ .

*Ecuación 3* 
$$\rho = \frac{353,44}{Tmf + 273,15}$$

## Viscosidad Dinámica

Cuantifica la transmisión del impulso a través de una capa S de fluido, debido al intercambio molecular entre las capas del fluido a ambos lados de S, según la dirección normal y. El valor del esfuerzo cortante F, producido por el movimiento relativo generado por estos impulsos es:

$$\text{Ecuación 4} \quad \mu = 1,718 * 10^{-5} + 4,62 * 10^{-8} * Tmf$$

Es decir, a medida que una molécula excitada térmicamente atraviese un plano o capa S transmitirá una cantidad de movimiento proporcional a la velocidad del fluido entre el punto desde el que la molécula inicia su desplazamiento hasta en el que choca con otra. De acuerdo con la ley de Newton esta variación de cantidad de movimiento debe ir acompañada de una fuerza resultante en la misma dirección, su resistencia viscosa a la deformación.

## Viscosidad Cinemática

Propiedad que cuantifica la resistencia a la deformación. En el caso de sólidos su resistencia es proporcional a la deformación, mientras que en líquidos y gases (fluidos) esta es proporcional a la velocidad de la misma.

Este gradiente de velocidades existe siempre en fluidos en mecanismos de convección debido al movimiento relativo entre sus distintas partes. Ante este movimiento se oponen unas fuerzas de resistencia, que es necesario delimitar para el estudio de ciertos fenómenos de transmisión calor. Para ello se precisa expresar las fuerzas de resistencia en función del campo velocidad del fluido, fundamentalmente la resistencia al esfuerzo cortante que es la delimitada por la viscosidad.

Dado que las fuerzas de viscosidad actúan directamente sobre un fluido y que la inercia de éste se opone a dichas fuerzas, la relación entre ambas fuerzas representa un parámetro de importancia para el análisis del movimiento fluido. Se trata de la viscosidad cinemática definida como:

$$\text{Ecuación 5} \quad \nu_c = \frac{\mu}{\rho}$$



## Conductividad Térmica

La transmisión de calor es un proceso de transmisión de energía por movimiento molecular; así, la conductividad es la propiedad física que mide la facilidad con la que una sustancia puede realizar esta transmisión.

Esta conductividad depende de:

- Composición química de los componentes del material.
- Del estado de agregación (gaseosa, líquida, sólida) en el que se encuentre la materia.
- De su estructura cristalina.
- Temperatura y presión.
- Homogeneidad del material.

$$\text{Ecuación 6} \quad K_v = 0,244 + 0,7673 * 10^{-4} * Tfm$$

## Coefficiente de Expansión Térmica

Parte del proceso de transmisión de calor convectivo se justifica por la existencia de la gravedad actuando sobre las diferentes regiones de un fluido. Estas regiones se han formado por dilatación térmica diferencial, al existir diferencias de temperatura dentro del fluido.

$$\text{Ecuación 7} \quad \beta_t = \frac{1}{Tmf + 273,15}$$

### **2.3. Hipótesis**

El proceso de deshidratación solar podría mejorar a partir del aprovechamiento de la energía solar para el deshidratado de la cebolla, siempre y cuando los parámetros de radiación solar, velocidad del viento y temperatura se mantengan en los rangos óptimos para el deshidratado.

## Capítulo 3

### 3.1. Diseño metodológico

#### 3.1.1. Tipo de estudio

De acuerdo al paradigma epistemológico de la investigación en este estudio se manipulan de forma intencionada las variables independientes en diversos niveles de la experimentación, se verifica la hipótesis a través de métodos estadísticos descriptivos e inferenciales, por tanto, el paradigma sobre el que se sustenta esta investigación es el paradigma positivista.

Según el enfoque filosófico de la investigación es cuantitativo, cada etapa precede a la siguiente y no se puede “brincar” o eludir pasos, tiene que ver con la “cantidad” y, por tanto, su medio principal es la medición y el cálculo. En general, busca medir variables con referencia a magnitudes.

Acorde al método de investigación el estudio es Experimental, porque se provocan manipulaciones, donde se puede modificar las variables independientes por lo que se observa los cambios en efectos de variables dependientes, orientando hacia el futuro.

De acuerdo a su propósito la presente investigación es Aplicada o Tecnológica Perteneciente al “contexto de la aplicación”. Se caracteriza por su interés en la aplicación, utilización y consecuencias prácticas del conocimiento; es decir, “orientada hacia un objetivo práctico determinado, conducente a la creación de nuevos dispositivos, productos y procedimientos”, en este caso es un deshidratador solar.

Según el nivel de profundidad del conocimiento es descriptivo, el investigador se limita a medir la presencia, las características o la distribución de un fenómeno en una población en un momento acorde al tiempo, están dirigidos a determinar "cómo es" o "cómo está" la situación de las variables que se estudian en una población.

De acuerdo a su clasificación es correlacional, debido a que este estudio tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más variables.

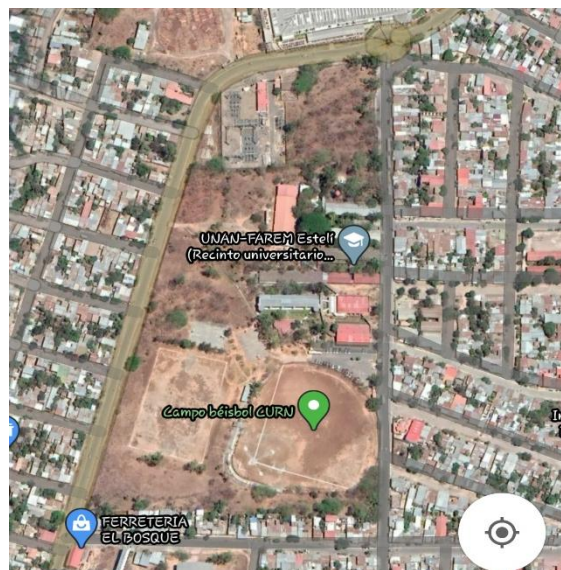
Según al tiempo de ocurrencia de los hechos y el registro de la información, el estudio es prospectivo debido a que se registra la información según van ocurriendo los fenómenos.

Por periodo y secuencia del estudio es longitudinal., debido a que estudia una o más variables a lo largo de un período, que varía según el problema investigado y las características de la variable que se estudia. En este tipo de investigación el tiempo sí es importante, ya sea porque el comportamiento de las variables se mide en un período dado o porque el tiempo es determinante en la relación causa-efecto.

## 3.2. Área de estudio

### 3.2.1. Ubicación geográfica

La investigación se realizó en la Facultad Regional Multidisciplinaria (FAREM-ESTELI) específicamente en el área solar, aquí se construyó y evaluó el prototipo de deshidratación solar.



**Figura 3** FAREM-ESTELI,

**Fuente:** (Google, 2020)

### 3.2.2. Área de conocimiento

La presente investigación se inscribe a la línea N° 1. Tecnologías y eficiencia energéticas renovables, pertenecientes al Centro de Investigación de Energías Renovables (CIER) de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-MANAGUA), Facultad Regional multidisciplinaria (FAREM-ESTELI), y aprobados en sesión ordinaria N° 6-2019 el día 11 de julio de 2019.

### 3.2.3. Universo y muestra

Tamayo y Tamayo, (2003), lo define como un conjunto o la totalidad de un grupo de elementos, casos u objetos que se quiere investigar. En esta investigación se trata de la evaluación de un deshidrator solar indirecto.

Dado que esta investigación se realiza por método experimental, su espacio inferencial representativo se constituye de la siguiente manera: el número de repeticiones por cada tratamiento, se multiplica por el número de tratamientos y eso equivale al tamaño de muestra de un estudio experimental. Este principio está basado en la función de distribución de probabilidad de la Prueba de Fisher, que se define en el escenario de las muestras pequeñas donde “n” debe ser igual o menor de 30.

En este experimento la muestra representativa se circunscribe al espacio inferencial representativo que le corresponde definido por el número de repeticiones y el número de tratamientos, de los cuales contará con *cuatro repeticiones* para la determinación del tiempo de secado del *tratamiento*: **cebolla**, por tanto, se constituirá una unidad experimental. *Las unidades experimentales* (material receptor, al cual se aplican los tratamientos en un solo ensayo) será un deshidratador solar indirecto.

### 3.3. Matriz operacional de variables

**Objetivo general:** Evaluar el prototipo de deshidratación de la cebolla mediante el aprovechamiento de energía solar térmica.

Tabla 1 Operacionalización de variables

Objetivos específicos	Variable Conceptual	Sub variables o Dimensiones	Variable Operativa Indicador	Técnicas de recolección de datos e información
Determinar el tiempo de secado de la cebolla sometida al proceso de deshidratación en el prototipo de deshidratador solar térmico	Tiempo de secado de la cebolla sometida al proceso de deshidratación	Humedad  Radiación solar  Temperatura  Velocidad del aire	Es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad Absoluta que podría adquirir sin producirse.  Energía incidente.  Variable básica del tiempo y clima.  Componente del desplazamiento del aire.	Experimento de campo
Evaluar las propiedades físicas del aire húmedo que influyen en el	Propiedades físicas del aire húmedo que influyen en	Taza de evaporización del agua	La cantidad de aire de secado, para remover el vapor de agua.	

<p>secado de deshidratación solar por convección natural</p>	<p>el secado</p>	<p>Cantidad de aire de secado</p> <p>Caudal de aire para el secado</p> <p>Flujo de calor</p> <p>Calor específico</p> <p>Densidad</p> <p>Viscosidad dinámica</p> <p>Viscosidad cinemática</p> <p>Conductividad térmica</p>	<p>La energía, que el sistema de secado requiere.</p> <p>Proceso de propagación de calor.</p> <p>Cantidad de calor por Kg para elevar la Temperatura en 1°C.</p> <p>Relación entre masa y volumen de una sustancia.</p> <p>Resistencia interna entre las moléculas de un fluido en movimiento.</p> <p>Resistencia interna al fluir bajo fuerzas gravitacionales</p> <p>Capacidad de conducción de calor.</p> <p>Cambio de volumen de un cuerpo al cambiar su</p>	
--	------------------	---	--	--

		Coeficiente de expansión térmica	temperatura provocando una dilatación térmica	
Determinar el efecto de la radiación solar, la temperatura, velocidad del viento en el tiempo de secado del producto sometido al proceso de deshidratación	Efecto de la radiación solar, la temperatura, velocidad del viento en el tiempo de secado	<p>Temperatura</p> <p>Velocidad del aire</p> <p>Humedad</p> <p>Tiempo de secado.</p> <p>Eficiencia del secador</p>	<p>Nivel térmico de un cuerpo.</p> <p>Componente del desplazamiento del aire.</p> <p>Agua que impregna un cuerpo o vapor presente en la atmosfera.</p> <p>Tiempo en que un cuerpo pierde la humedad en su interior.</p> <p>Relación entre la cantidad de energía destinada al secado y la cantidad de agua evaporada en el proceso.</p>	



### **3.4. Métodos, técnicas e instrumento para recolección de datos e información**

#### **3.4.1. Implementación de métodos cuantitativos**

Como parte del diseño metodológico es necesario determinar y plantear los métodos y las técnicas de recolección de datos, así como el tipo de instrumento que se utilizó, para lo que debió tomarse en cuenta todas las etapas anteriores, especialmente el enfoque, los objetivos, las variables y el diseño de la investigación. A este momento deberá dársele la importancia debida, pues la elaboración de un "buen" instrumento determina en gran medida la calidad de la información, siendo ésta la base para las etapas subsiguientes y para los resultados logrados (Canales, Alvarado, & Pineda, 1994).

La técnica empleada en la recolección de datos fue la observación puesto que nos permitió hacer un registro visual de lo que ocurre en una situación real, clasificando y consignando los acontecimientos pertinentes de acuerdo con algún esquema previsto y según el problema que se estudia. La determinación de qué se va a observar estuvo determinada por lo que se estaba investigando, pero generalmente se observaron características y condiciones de funcionamiento del deshidratador y los factores ambientales que influyen en el proceso de deshidratación.

Se utilizó formatos de registro de la información elaborados previamente en el programa informático Excel, que sirvieron para el registro de las variables cuantitativas discretas y continuas que surgieron en la experimentación (tabla 2); Luego se diseñó una base de datos en InfoStat en la que se realizaron las rutinas estadísticas pertinentes.

Se decidió tomar como la información de fuentes primarias debido a que será por medio del contacto directo con el sujeto de estudio (deshidratador).

### **3.5. Procedimientos para la relación de datos e información**

Se procedió a la búsqueda de la autorización a nivel de la institución en este caso FAREM Estelí donde se llevó a cabo el estudio.

El procedimiento que se siguió para la recolección de los datos e información se presenta de acuerdo al compromiso de cada objetivo planteado en esta investigación.

Para el análisis del secador solar por convección de aire caliente se requirió la revisión de libros, artículos científicos y tesis relacionadas con el tema, logrando así obtener información relevante y de interés, luego se procedió al diseño y construcción del prototipo.

La unidad experimental que consta de un deshidratador solar indirecto, con capacidad de  $0.24 \text{ m}^3$  se diseñó en el programa SketchUp, el cual es un programa de diseño gráfico y modelado en tres dimensiones basado en caras. La construcción del deshidratador solar duro aproximadamente un mes.

Las pruebas de secado se realizaron en los meses de junio y julio de 2020, desde 9:00 hasta las 15:00 horas. Para las mediciones de las variables se colocaron cuatro sensores de temperatura: colector, cámara de secado, salida de chimenea y al aire libre, para esto se utilizó un equipo de medición Dataloggers el que se configuró para medidas cada 15 minutos comprendida de 9 a 3 de la tarde.

La velocidad de aire se midió cada 15 minutos comprendida de 9 a 3 de la tarde usándose un anemómetro de hilo caliente de la marca PCE. La humedad relativa de la cámara de secado se midió con un equipo Dataloggers de humedad, presión y temperatura en el mismo período de tiempo de las demás variables.

Con los datos obtenidos se procedió al cálculo de las propiedades del aire: Humedad Relativa, Volumen específico, Calor específico, Densidad, Viscosidad dinámica, Viscosidad cinemática, Conductividad térmica, Coeficiente de expansión térmica.

A través de las mediciones de radiación solar, temperatura, velocidad del aire, humedad, tiempo de deshidratado, realizadas en la cámara de secado, se procedió a calcular estadísticamente el efecto de estas variables sobre el tiempo de secado y la eficiencia del deshidratador.

El producto a utilizar en el secado fue adquirido en un mercado municipal de la ciudad de Estelí, luego se procedió a realizar su inspección y comprobar que esté en buen estado y seguir los siguientes pasos:

1. Pesar las cebollas hasta 453 gramos. Se utilizó una balanza analítica KERN con una precisión de 0,001 g.
2. Cortar las cebollas en anillos de 1cm aproximadamente.
3. Colocarlas en las bandejas, separadas entre sí, luego introducirlas a la cámara de secado.
4. Las mediciones de secado de acuerdo al peso se realizaron dos veces al día, esto permitió se elaborarán las curvas de secado y conocer el tiempo de deshidratación del producto realizándose cuatro replicas diferentes.
5. El análisis organoléptico (olor, color y textura) se realizó al finalizar el secado, mediante la observación y comparación con el producto fresco.

### **3.6. Plan de tabulación y análisis estadísticos**

A partir de los datos que se recolectaron, se diseñó la base de datos correspondientes, utilizando el software estadístico InfoStat, versión 2018 para Windows. Una vez efectuado el control de calidad de los datos registrados, se ejecutaron los análisis estadísticos pertinentes.

Así mismo, se realizaron los análisis inferenciales específicos o prueba de hipótesis, de acuerdo al compromiso establecido en los objetivos específicos, relacionado con la correlación de Pearson. El procedimiento del ANACORR realizado con IS para determinar la correlación entre las variables, tiempo de secado de la cebolla, peso final obtenido, radiación solar, temperatura de la cámara de secado, velocidad del viento y la humedad en la chimenea para determinar si estas variables están correlacionadas o no, lo cual aportará pistas para estudiar las causas de la deshidratación.

## Capítulo 4

### 4.1. Análisis y discusión de resultados

#### 4.1.1. Diseñar un prototipo de secador solar indirecto para el proceso de deshidratación de la cebolla.

Como punto de inicio del proyecto, se diseñó la estructura del prototipo utilizando la herramienta de diseño Sketchup, (figura 4) y posteriormente se realizó la construcción con las medidas específicas determinadas dentro del programa, tomando en cuenta las dimensiones del deshidratador (figura 5).

El colector solar construido tiene un área de  $0.56 \text{ m}^2$ , en la parte superior, tiene una cubierta transparente de vidrio de 6 mm de espesor que permite la reducción de la emisión calorífica por convección desde el absorbedor al ambiente y protegerlo, a la vez, de agentes externos.

Se colocó una placa absorbidora hecha de zinc liso calibre 26, pintada en color negro, esta placa absorbe primero la radiación solar y la transforma después en radiación térmica para transferirla por conducción al fluido circulante.

La carcasa que sostiene el vidrio y la placa captadora este hecho de aluminio para mejor resistencia a la intemperie y los efectos corrosivos de la atmosfera, esta carcasa se encarga de proteger y soportar a los elementos que conforman el colector. Se encuentra fabricada en aluminio y está unida en los costados, debajo de la placa captadora se ha colocado un aislante de fibra de vidrio para evitar pérdidas de calor hacia el exterior y mantener mayor tiempo la temperatura que será arrastrada hacia la cámara donde estarán ubicadas las cebollas. En la entrada de aire del colector se colocó una malla con la finalidad de evitar la entrada de insectos.

La cámara de deshidratado está cubierta con láminas metálicas de zinc liso calibre 26 con estructura de tubo de hierro cuadrado de 1 pulgada, se ha colocado alrededor de toda la cámara aislante térmico (aislante de doble burbuja de aluminio y aislante de fibra de vidrio) con el fin de evitar pérdidas de calor y mejorar la eficiencia térmica del deshidratador.

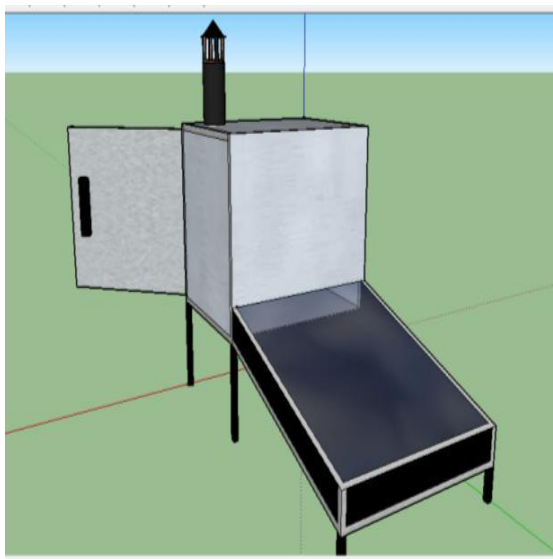
La cámara debe situarse a cierta altura, para permitir que la salida superior del calentador quede a la misma altura que la base de la cámara, por lo que se construyó sobre un pedestal de 30 cm de alto.

La capacidad de la cámara es de  $0.24 \text{ m}^3$  totalmente cubierta en su interior por aislante térmico, las bandejas quedan con una separación de 15 cm que resulta cómoda para introducirlas y sacarlas sin dificultad.

La cámara tiene en la parte inferior una abertura donde se conecta el calentador solar y una puerta que permite introducir y sacar las bandejas, pero lo suficientemente segura de modo que evita la entrada de insectos.

En la cámara de deshidratado se acomodaron las bandejas a modo de repisas. Se construyeron de marco de aluminio y se les colocó una malla plástica resistente (tipo mosquitero). Estas tienen una superficie de  $0.31 \text{ m}^2$  cada una. El secador posee 3 bandejas por lo que la superficie total es de  $0.93 \text{ m}^2$ .

La bandeja utilizada fue de malla plástica de 1/8 que es de fácil limpieza, pues con frecuencia las hortalizas desprenden jugos que se pegan a la bandeja y que aguanta como mínimo  $70^\circ\text{C}$  sin deformarse, pues esa es la temperatura que puntualmente se puede alcanzar en el interior del deshidratador.



**Figura 4** Deshidratador solar

**Fuente:** (Elaboración Propia).



**Figura 5** Deshidratador solar construido

**Fuente:** (Elaboración Propia).

**4.1.2. Determinar el tiempo de secado de la cebolla sometida al proceso de deshidratación en el prototipo de deshidratador solar térmico.**

Se procedió a calcular la disminución de humedad que la cebolla experimentará durante el proceso de secado, así:

*Ecuación 1*

$$\Delta H = \frac{H_o - H_f}{100 - H_f} * 100$$

Primero se midió el porcentaje de humedad de la cebolla, dando como resultado  $H_o = 90\%$ , de acuerdo a la literatura consultada para el deshidratado esta debe llevarse hasta el  $12\%$ . Aplicando la ecuación 1 se obtiene que el  $88\%$  de humedad debe retirarse en el proceso de deshidratación. Este resultado coincide con Collado *et al.*, (2006), quien reporta que composición química de las cebollas difiere entre las distintas variedades, pero en general, se caracterizan por un gran contenido en agua, con un  $92\%$  como término medio.

Se realizaron cuatro replicas en el cual se introdujeron 438 gramos de masa total y luego del proceso de secado resultó 50 g de producto seco. A continuación, se muestran las curvas de secado de acuerdo a cada replica las que se puede observar que se produce un

calentamiento inicial de la cebolla y luego aumenta la velocidad del secado producto de la temperatura de la cámara de secado.

En este proceso se utiliza la energía solar únicamente, por lo tanto, se observaron variaciones de secado por la noche en el cual el secado es más lento, pero no se detiene, esta observación coincidió con lo reportado por, Pulfer (2008), que refiere que cuando se seca un producto con energía solar en forma exclusiva y sin dispositivo de almacenamiento de calor, el proceso de secado sufre una interrupción durante la noche.

Se puede observar en los gráficos que las tres primeras pruebas la cebolla se deshidrató en seis días y en la prueba cuatro el tiempo de deshidratación fue de cuatro días, es decir hay una diferencia significativa de dos días, esto debido a la relación entre la temperatura, la radiación solar incidente en el plano del colector y la velocidad del aire.

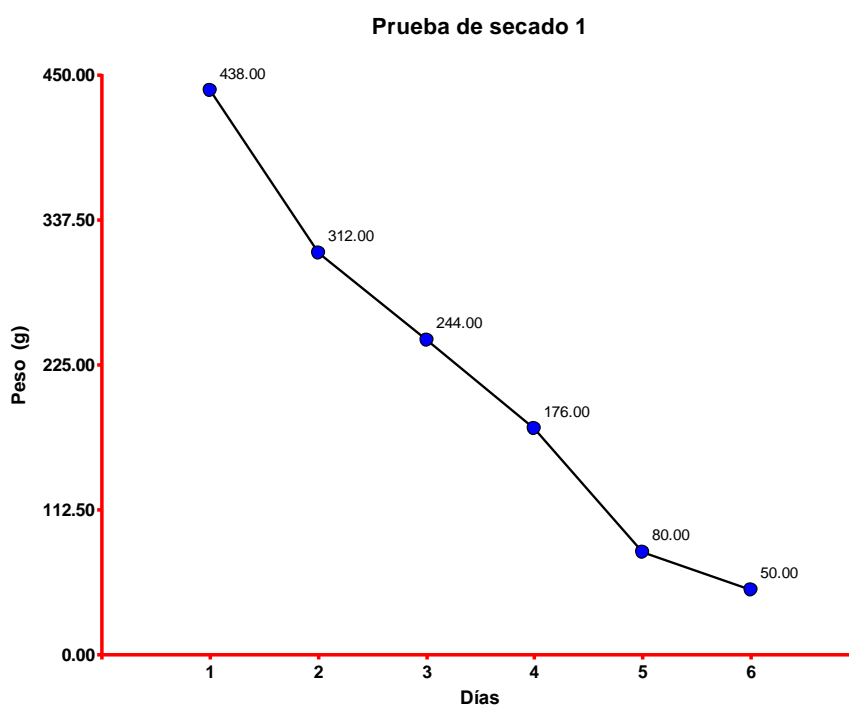
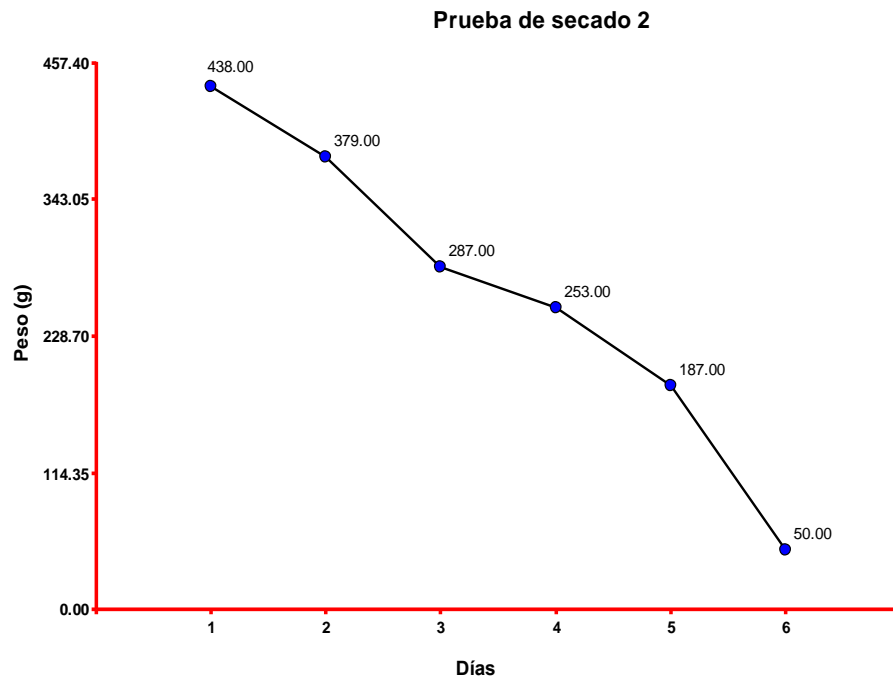


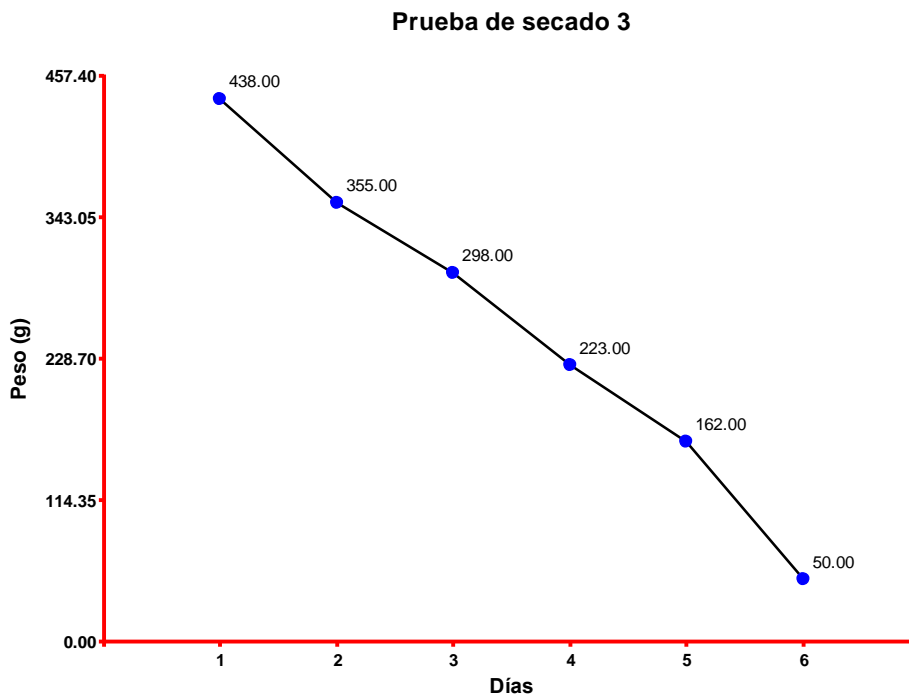
Figura 6 Prueba de secado 1.

Fuente: (Elaboración Propia).



*Figura 7 Prueba de secado 2.*

*Fuente: (Elaboración Propia).*



*Figura 8 Pruebas de Secado 3.*

*Fuente: (Elaboración Propia).*



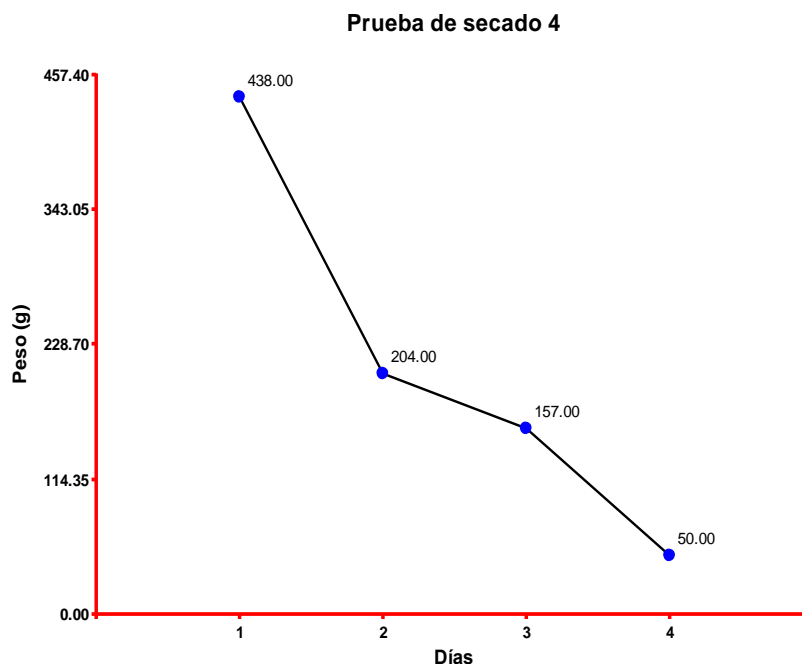


Figura 9 Pruebas de secado 4.

Fuente: (Elaboración Propia).

#### 4.1.3. Evaluar las propiedades físicas del aire húmedo que influyen en el secado de deshidratación solar por convección natural.

A continuación, se presenta la dependencia de sus principales propiedades físicas a una temperatura media del fluido de 44°C obtenida durante 150 mediciones.

Todos los valores encontrados coinciden con las propiedades del aire propuesto por Keanan, Chao y Keyes (1970).

##### Calor

específico  $C_{pas} = 999,2 + 0,1434 * Tfm + 1,101 * 10^{-4} * Tfm^2 - 6,7581 * 10^{-8} * Tfm^3$

Ecuación 2

$C_{pas} = 1004 \text{ J/kg.K}$

##### Densidad

Ecuación 3

$$\rho = \frac{353,44}{Tmf + 273,15}$$

$\rho = 1107 \text{ kg/m}^3$

### Viscosidad Dinámica

Ecuación 4 
$$\mu = 1,718 * 10^{-5} + 4,62 * 10^{-8} * Tmf$$

$$\mu = 1.941 \times 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$$

### Viscosidad Cinemática

Ecuación 5 
$$vc = \frac{\mu}{\rho}$$

$$vc = 1.740 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

### Conductividad Térmica

Ecuación 6 
$$K_v = 0,244 + 0,7673 * 10^{-4} * Tfm$$

$$= 0.02593 \text{ W/m.k}$$

### Coefficiente de Expansión Térmica

Ecuación 7 
$$\beta t = \frac{1}{Tmf + 273,15} = 3.153 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

#### 4.1.4. Determinar el efecto de la radiación solar, la temperatura, velocidad del viento en el tiempo de secado del producto sometido al proceso de deshidratación.

El ANACORR, consiste en determinar el grado de asociación entre dos variables cuantitativas continuas, o calificar tal relación, lo cual se mide por el coeficiente de correlación “r” de Pearson y se realiza bajo la hipótesis nula de  $H_0: \rho = 0$  (Casanoves, 2007).

A continuación, se presenta el procedimiento del ANACORR realizado con IS para determinar la correlación entre las variables, tiempo de secado de la cebolla, peso final obtenido, radiación solar, temperatura de la cámara de secado, velocidad del viento y la

humedad en la chimenea para determinar si estas variables están correlacionadas o no, lo cual aportará pistas para estudiar las causas de la deshidratación.

Tabla 2. Correlaciones de Pearson, tiempo de secado y peso final de la cebolla deshidratada

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
Tiempo de secado (Días)	Peso Final (g)	22	0.88	0.0001

El análisis de correlación de Pearson realizado para las variables tiempo de secado y peso final de la cebolla deshidratada, dio como resultado un coeficiente de correlación “r” igual a 0,88, indicando que se tiene una asociación fuerte positiva entre las variables. Este fuerte valor del “r” fue obtenido con un  $p = 0,0001$ , el cual resulta ser menor que el nivel crítico de comparación  $\alpha = 0.05$ . Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de  $H_0: \rho = 0$ , esto quiere decir que la respuesta estadística obtenida es una correlación significativa, por lo que se demostró que existe correlación entre las variables tiempo de secado y peso final de la cebolla deshidratada.

Referente a la segunda correlación realizada entre las variables, temperatura y producción de biogás para saber si estas están correlacionadas y se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 3. Correlaciones de Pearson, tiempo de secado y radiación solar.

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
Tiempo de secado (Días)	Radiación solar	22	0.60	0.0221

El análisis de correlación de Pearson realizado para las variables tiempo de secado y radiación solar, dio como resultado un coeficiente de correlación “r” igual a 0,60, indicando que se tiene una asociación moderada positiva entre las variables. Este moderado valor del “r” fue obtenido con un  $p = 0,0221$ , el cual resulta ser menor que el nivel crítico de comparación  $\alpha = 0.05$ . Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de  $H_0: \rho = 0$ , esto quiere decir que la respuesta estadística obtenida es una correlación significativa, por lo que se demostró que existe correlación entre las variables tiempo de secado y radiación solar. De

ahí que, se confirma la hipótesis de que el tiempo de secado de los productos está asociado con la radiación solar incidente en el plano del colector del deshidratador.

En referencia a la tercera correlación realizada entre las variables, tiempo de secado y temperatura en la cámara de secado para saber si estas están correlacionadas y se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 4. Correlaciones de Pearson, tiempo de secado y temperatura en la cámara de secado

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
Tiempo de secado (Días)	Temperatura de cámara	22	0.81	0.0001

El análisis de correlación de Pearson realizado para las variables tiempo de secado y temperatura en la cámara de secado, dio como resultado un coeficiente de correlación “r” igual a 0,81, indicando que se tiene una asociación fuerte positiva entre las variables. Este fuerte valor del “r” fue obtenido con un  $p = 0,0001$ , el cual resulta ser menor que el nivel crítico de comparación  $\alpha = 0.05$ .

Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de  $H_0: \rho = 0$ , esto quiere decir que la respuesta estadística obtenida es una correlación significativa, por lo que se demostró que existe correlación entre las variables tiempo de secado y temperatura en la cámara de secado.

De ahí que, se confirma la hipótesis de que el tiempo de secado de los productos está asociado con la temperatura a la que se encuentre la cámara del deshidratador, es decir a mayor temperatura menor tiempo de secado de los productos.

Se realizó una última correlación entre las variables, tiempo de secado y velocidad del viento para saber si estas están correlacionadas y se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 5. Correlaciones de Pearson, tiempo de secado y velocidad del viento

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
Tiempo de secado (Días)	Velocidad de viento	22	0.59	0.0039

El análisis de correlación de Pearson realizado para las variables tiempo de secado y velocidad del viento, dio como resultado un coeficiente de correlación “r” igual a 0,59, indicando que se tiene una asociación moderada positiva entre las variables. Este moderado valor del “r” fue obtenido con un  $p = 0,0039$ , el cual resulta ser menor que el nivel crítico de comparación  $\alpha = 0.05$ . Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de  $H_0: \rho = 0$ , esto quiere decir que la respuesta estadística obtenida es una correlación significativa, por lo que se demostró que existe correlación entre las variables tiempo de secado y velocidad del viento. De ahí que, se confirma la hipótesis de que el tiempo de secado de los productos está asociado con la velocidad del viento a la que se encuentre la cámara del deshidratador.

## **Capítulo 5**

### **5.1. Conclusiones**

Se diseñó el prototipo mediante el programa Sketchup y se construyó en aproximadamente un mes, la mayoría de los materiales fueron reutilizados de otras estructuras y prototipos que se encontraban en la facultad, otros materiales fueron asumidos por el equipo investigador.

El tiempo de secado de la cebolla es aceptable tomando en cuenta que las pruebas se realizaron en días con poca radiación y con presencia de lluvia.

Las propiedades físicas del aire húmedo evaluadas a través de cálculos matemáticos coinciden con lo reportado por otros autores que ya establecen valores normales para el aire.

El tiempo de deshidratación de la cebolla estuvo determinado por la correlación significativa entre la radiación, velocidad del viento y la temperatura de la cámara.

La cebolla en el proceso de deshidratación mantuvo las propiedades naturales de aroma, textura, color y sabor de tal manera que el producto sigue siendo apto para el consumo humano.

## **5.2. Recomendaciones**

### **Uso y manejo del deshidratador solar**

El deshidratador solar obtenga una buena eficiencia y pueda funcionar correctamente debe ser colocado en un lugar idóneo (que este no posea objetos que permita la obstrucción el pase de la radiación solar y la ventilación)

Este debe ser deshidratador debe ser ubicado en un lugar en contra del viento para que exista una mayor circulación de aire.

Para iniciar el secado se debe observar que el interior de la cámara este limpia el cual no permita el deterioro de las especies introducidas.

A la hora de introducir la especie a deshidratar hacerla en menos dimensión (es decir cortar en trozos pequeños) para que obtenga un secado en menor tiempo.

Luego de haber cargado la cámara de secado asegurar que la compuerta serrada para que no haya fuga en el sistema.

No excederse de ingresar el producto mayor a su capacidad para evitar daños del sistema en el cual no cause daños ni pérdidas en el producto.

La especie a deshidratar debe moverse al menos una vez al día (es decir síes por la mañana es más factible) para que este seque uniformemente y en menos tiempo.

Se deber de tener en cuenta de no abrir la compuerta muy a menudo para evitar perdida de calor en la cámara de secado.

### **Características del deshidratador**

Para aumentar la eficiencia en el deshidratador solar, se requiere el uso de placa absorbente en aluminio o cobre, y de vidrio como cobertura para mantener la radiación absorbida.

Para mantener la eficiencia de los deshidratadores solares se quiere de aislamiento térmico adecuado y condiciones de aire ambiente de altas temperaturas y baja humedad relativa.

La selección del ángulo de inclinación y de orientación del colector solar es indispensable aprovechar al máximo la energía solar suministrada. Además, la selección de estos ángulos depende de las coordenadas del lugar de montaje y la época de año.

El uso de materiales para el almacenamiento térmico en sistemas de radiación solar, debe ser de alta eficiencia que la temperatura en la cámara de secado no se reduce tan rápido como la del aire ambiente. La selección de estos materiales se hizo con base en al costo, disponibilidad y acceso en el mercado obteniendo un buen desempeño por el calor específico.

A través del proceso de diseño se determinó que el diseño es original, basado en la, análisis y aplicación de conceptos teóricos, una vez sometido a validación en el campo con condiciones ambientales y variables para productos con características muy particulares requiere ajustes y definiciones en su alcance.

En la adecuación de las materias primas en el proceso de deshidratación, los frutos y legumbre como fue la especie de la cebolla puesta a prueba, presento la mayor sensibilidad a la ruptura debido a su conformación. En el corte se logró con mayor facilidad.

### **Para el seguimiento de la investigación**

Para mejorar los resultados obtenidos es necesario implementar un sistema de control permanente de para la medición de la temperatura en la cámara durante todo el día con la finalidad de mantener constante la cantidad de calor a la que el alimento está sometido.

Se tiene que profundizar más tecnologías de utilización de energía solar que permitan mejorar y aplicar en sitios donde no haya acceso a la energía eléctrica.

Si el usuario desconoce la temperatura y humedad de trabajo de los alimentos, es recomendable que puedan obtener un medio que les permita obtener la humedad que posee el producto



Se debe tener cuidado en la selección de los materiales que se van a elegir para el mejoramiento del deshidratador, pues el manejo de los alimentos es muy delicado y puede fácilmente contaminarse, además se debe respetar las normas de sanidad

### 5.3. Bibliografía

- Frutas, C. A., & //CA, M. (2004). *Estudios de Oportunidades Comerciales para Productos Agrícolas de Nicaragua*. Obtenido de Estudio de cadena de producción y comercialización de frutas (papaya, limones, naranja y aguacate): <https://books.google.com.ni>
- A, K., R, S., & O, P. (2014). Review Global solar drying status. *agricEnalt:CIGRJournal16(4),161-177*. Recuperado el 12 de 12 de 2020
- Abella M, A. (2005). *Introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica*. Madrid, España: 2 edición. Recuperado el 25 de Junio de 2020
- Agency, I. E. (3 de diciembre de 2011.). Executive Summary (PDF). Solar Energy Perspectives. Obtenido de Solar Energy Perspectives: Executive Summary» (PDF). International Energy Agency (2011). Archivado desde el original el 3 de diciembre de 2011.
- Agrimundo. (27 de Noviembre de 2017). *Estudio de consumo mundial de frutas deshidratadas*. Obtenido de Agrimundo: <http://www.agrimundo.gob.cl/?p=34891>
- Bejarano Martínez, C. (2018). *Evaluación del Efecto del Uso de un Deshidratador Solar Pasivo Indirecto de Flujo Turbulento y de un Deshidratador Solar Pasivo en Propiedades Físicoquímicas y Organolépticas de Mango, Naranja y Mandarina*. Tesis de Maestría , Tocaima. Recuperado el 19 de Mayo de 2020
- Calero, L. C. (2014). *Estudio de un secador solar indirecto por convección natural para el deshidratado de frutas y vegetales en Nicaragua*. Leon.
- Carvallo , V., A, D., Meza, M., & M. C. (2013). TRABAJO ESPECIAL DE GRADO,. En *Diseño de un secador solar prototipo de placas planas para pruebas en laboratorio*. Caracas. Recuperado el 12\ de 08 de 2020
- Castellon , J., & Espinoza, W. (2009). *Validación del uso de un secador Solar de Café*. Tesis de grado , Esteli. Recuperado el 12 de Junio de 2020
- Davila, C., Chiroque, J., Marcelo, O., & Coello, J. (2008). *Master en Energía para el desarrollo sostenible* (segunda ed., Vol. Modulo 6). Catalunya, España: fundacion UPC.
- Ekechukwu, O. V. (2009). Review of solar energy drying systems I: *an overing of drying priciples and theory, " Energy Conversion adn magna,ment,, 40(6)*. Recuperado el 13 de 09 de 2020
- Espinoza, J. (2016). *Espinoza, J. (2016). Innovación en el deshidratado solar*. Obtenido de Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería, 24(Especial), 72–80.: <https://doi.org/10.4067/S0718-33052016000500010>

- FAO. (s.f.). *FAO.org*. Obtenido de [www.fao.org/3//x5059s/x5059S03.html](http://www.fao.org/3//x5059s/x5059S03.html)
- Farem, E. (2019). *Lineas de investigación 2019-2022*. Obtenido de <https://farem.unan.edu.ni/investigacion/lineas-de-investigacion/>
- Garcia, J. (s.f.). *Propiedades Hortalizas y verduras*. Recuperado el 20 de 05 de 2020, de <https://www.revistilla.es/cocina-cacera/alimentos-nutrientes/121-hortalizas-verduras.html>
- Gasquet, & Hector. (2004). *Conversion de la Luz Solar en energia Electrico,Manual teorico y practico sobre los sitemas fotovoltaicos*. Cuernavaca,Morelos. Recuperado el 11 de 12 de 2020
- Guerrero, I., & Salazar, W. (2010). *Repuesta de cultivo de cebola(Allium cepa L) a la fertilizacion quimica organica bajo riego por goteo*. Tesis de grado, Manabi. Recuperado el 24 de mayo de 2020
- Henández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. (I. Editores, Ed.) Mexico: McGraw-Hill.
- K, K., A, S., A, S., A, K., & A, J. (2016). *Thermal energy storage based solar drying sistems:A review.innovative.foodScienceandEmergingTecnologies*. Recuperado el 5 de 12 de 2020, de <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.01.007>
- León Rodríguez, A. J. (2018). *Diseño e implementación de un deshidratador híbrido con paneles fotovoltaico*. Trabajo de grado, Lima. Recuperado el 17 de Junio de 2020
- Martínez, C. A. (2018). *Evaluación del Efecto del Uso de un Deshidratador Solar Pasivo Indirecto de Flujo Turbulento y de un Deshidratador Solar Pasivo en Propiedades Fisicoquímicas y Organolépticas de Mango, Naranja y Mandarina*. Colombia.
- Mendes Recinos, E. E. (2017). *Diseño, Construcion y Caracterizacion de prototipo de deshidratador solar para la producion agricola*. Trabajo de graducion, San Salvador, San salvador. Recuperado el 22 de Mayo de 2020
- Meza, M. C., & Carvallo, D. A. (2013). *DISEÑO DE UN SECADOR SOLAR PROTOTIPO DE PLACAS PLANAS PARA PRUEBAS EN LABORATORIO*. Trabajo de Tesis de grado, Univercidad Central de Venezuela, Caracas. Recuperado el 25 de Mayo de 2020
- Michellis, A., & O, E. (2012). *Deshidrataciony desecado de frutas, hortalizas y hongos. Procedimientos hogareños y comerciales de pequeña escala*. Recuperado el 24 de 11 de 2020
- Moncayo, M. V., Roa M, G. L., & Ortega Torres, D. B. (2011). *Diseño y Construcción de un Secador Solar por Convección de Aire Caliente Automatizado de Pequeña Escala, para el Secado de café para la Universidad Nacional de Loja*. Loja.

- Moraga Castro, J. J. (2013). *Evaluación del proceso de secado de café pergamino en Beneficio Sajonia S.A. Matagalpa 2012*. tesis de grado. Recuperado el 5 de mayo de 2020
- Nevarez , R., & Cuzme, X. (2016). *EFFECTOS DE TEMPERATURA Y TIEMPO DE DESHIDRATACIÓN, EN CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SENSORIALES DE CEBOLLA PERLA (Allium cepa L) EN POLVO*. Tesis de grado, Calceta. Recuperado el 12 de Mayo de 2020
- O, P., & A, K. (2013). *Historical review and recent trends in solar drying systems*. Recuperado el 1 de 10 de 2020, de International Journal of Green Energy, 10(10): <https://doi.org/10.1080/15435075.2012.727113>
- Ochoa Reyes, E., Ornelas Paz, J., Ruiz Cruz, S., Ibarra Junquera, V., Perez Martinez, D., Guevara Arauza, J. C., & Aguilar, C. N. (2013). *Tecnologías de deshidratación para la preservación*. Recuperado el 14 de 12 de 2020
- Pulfer, J. C. (2008). *Cocinas y secadores solares* (Segunda edición ed.). Barcelona: UPC.
- Reyes Fredes, S. G. (2018). *DISEÑO DE SECADOR SOLAR TÉRMICO, DE TIPO MIXTO, PARA LA DESHIDRATACIÓN DE EXCEDENTES AGRÍCOLAS EN ZONAS RURALES DE LA PROVINCIA DE CONCEPCIÓN*. Tesis de grado, concepcion. Recuperado el 27 de Mayo de 2020
- Roa Marin, G. L., & Ortega Torrez, D. B. (2011). *Diseño y Construcción de un Secador Solar por Convección de Aire Caliente Automatizado de Pequeña Escala, para el Secado de café para la Universidad Nacional de Loja*. En *Diseño y Construcción de un Secador Solar por Convección de Aire Caliente Automatizado de Pequeña Escala, para el Secado de café para la Universidad Nacional de Loja*. Loja. Recuperado el 24 de 08 de 2020
- Tamayo y Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica* (Cuarta edición ed.). (G. N. Editores, Ed.) Mexico: LIMUSA.
- Tiwari, G. N. (2002). *Fundamentals, Design, Modelling and Applications*. AlphaScience International Ltd. Recuperado el 14 de 11 de 2020

## 5.4. Anexos

### 5.4.1. Criterio para definir el fin del secado

*Tabla 1. Criterio para definir el fin del secado.*

PRODUCTO	FRESCO (%)	SECO (%)	°C
Granos			
Arroz	24	14	50
Maíz	35	15	60
Maní	40	9	n/d
Café	50	11	n/d
Papa	75	13	55
Cebolla	80	4	55
Hortalizas y hojas	80	10	50
Tomate	95	8	65
Repollo	94	4	55
Zanahoria	70	5	60
Ajo	80	10	55
Durazno	85	18	n/d
Manzana	84	14	50
Banana	80	15	70
Guayaba	80	7	n/d
Uva	80	20	55
Mango	85	15	65
Mamón	85	2 a 15	65
Pescado (sin salar)	80	15	40
Pescado(salado)	80	35 a 45	40

*Fuente: (Garcia s.f)*

#### 5.4.2. Tabla de estudio de campo

**Tabla 2** Levantamiento de datos en estudio de campo.

Parámetros de Irradiación - temperatura									
	Mediciones								
	Fecha	Irradiación solar ( $W/m^2$ )	Numero de Nussel	Reynolds	Humedad relativa	Flujo másico del aire Kg/s	Temperatura de salida de aire	Coficiente de pérdidas totales en el colector (UL)	Entalpia
0									
1									
2									
3									
4									
5									

**Fuente:** (Elaboración Propia).

### 5.4.3. Presupuesto

*Tabla 3. Presupuesto General*

Ítem	Descripción de las actividades	Requerimiento	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario \$	Precio total \$
0						
1	Identificación del área de trabajo	Alimentación	Almuerzo	2	2	4
		Transporte	Viajes	2	1.5	3
2	Formulación de la idea a realizar	Alimentación	Almuerzo	2	3	6
		Transporte	viaje	2	2	4
3	Redacción del tema Delimitación del tema	Alimentación	Almuerzo	2	2	4
		Transporte	Viajes	2	1.5	3
4	Redacción de los Objetivos	Alimentación	Almuerzo	2	2	4
		Transporte	viaje	2	1.5	3
5	Planteamiento del problema	Alimentación	Almuerzo	2	2	4
		Transporte	Viaje	2	1.5	3
6	Justificación	Alimentación	Almuerzo	2	3	6
		Transporte	Viaje	2	2	4
7	Recolección de la información	Alimentación	Almuerzo	2	2	4
		Transporte	Viaje	2	1.5	3
		Internet	Mb	2	1.96	3.92
8	Recolección de la información	Alimentación	Almuerzo	2	2	4
		Transporte	Viaje	2	1.5	3
		Internet	Mb	2	1.96	3.92
9	Recolección de la información	Alimentación	Almuerzo	2	2	4
		Transporte	Viaje	2	1.5	3
		Internet	Mb	2	1.96	3.92
10	Realización del Marco teórico	Alimentación	Almuerzo	2	3	6
		Transporte	Viaje	2	2	4

11	Realización de la hipótesis	Alimentación	Almuerzo	2	2	4
	Realización del diseño metodológico	Transporte	Viaje	2	1.5	3
12	Realización de hoja de campo	Alimentación	Almuerzo	2	2	4
		Transporte	Viaje	2	1.5	3
13	Realización de la instrucción	Alimentación	Almuerzo	2	2	4
		Transporte	Viaje	2	1.5	3
14	Realización de hoja de presentación	Alimentación	Almuerzo	2	3	6
	Ejercitación de citas bibliográficas	Transporte	Viajes	2	2	4
15	Realización de presupuesto	Alimentación	Almuerzo	2	2	4
	Realización de cronograma de actividades Realización de Anexos	Transporte	Viaje	2	1.5	3
Gran total						\$ 128.76

***Fuente: (Elaboración Propia).***



#### 5.4.4. Presupuesto de materiales para el diseño y construcción del deshidratador

*Tabla 4 Presupuesto de materiales para la construcción del deshidratador solar.*

Ítems	Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario \$	Costo Total \$
0					
1	Lamina de zinc lizo 6*26 ST	Und	2	7.35	14.7
2	Tubo cuadrado de hierro de 1"	Und	2	10.30	20.59
3	Angular de Aluminio de ½"	Und	1	2.55	2.5
4	Vidrio 6mm	Und	1	13.23	1.23
5	Pintura Spray	Und	2	2.2	4.4
6	Aislante de Aluminio doble burbuja	Pies	6	1.47	8.8
7	Golosos punta de broca ½"	Und	24	0.014	0.35
8	Remaches	Docena	4	0.53	2.11
9	Disco para cortar metal	Und	2	1.76	3.5
10	Heladera para puerta	Und	1	1.32	1.32
11	Silicón Transparente	Und	1	5.3	5.3
12	Brocas de 1/8" para acero inoxidable	Und	3	2.05	6.17
13	Sierra para corte de metal	Und	2	1.91	3.82
14	Soldadura 3013	Lb	2	2.79	5.58
Gran total					\$ 93

**Fuente:** (Elaboración Propia).