

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**

Escuela de Ingeniería Electrónica



**“Implementación de un sistema fotovoltaico para el  
mejoramiento de la eficiencia de un secador solar pasivo”**

Informe de Trabajo Final de Graduación para optar por el título de  
Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura

Víctor Javier Chavarría Arroyo

San Carlos, 2021

Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Escuela de Ingeniería Electrónica  
Proyecto de Graduación  
Acta de Aprobación

Defensa de Proyecto de Graduación  
Requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica  
Grado Académico de Licenciatura

El Tribunal Evaluador aprueba la defensa del proyecto de graduación denominado “*Implementación de un sistema fotovoltaico para el mejoramiento de la eficiencia de un secador solar pasivo*”, realizado por el señor Víctor Javier Chavarría Arroyo y, hace constar que cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal Evaluador

---

Ing Luis Diego Gómez Rodríguez  
Profesor Lector

---

Ing. Javier Rivera Alvarado  
Profesor Lector

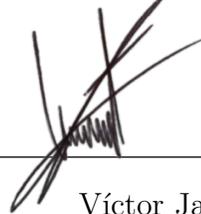
---

Ing. Guillermo Castro Badilla  
Profesor Asesor

San Carlos, 1 de noviembre de 2021

Declaro que el presente documento de Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos y resultados experimentales propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas. En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo realizado y por el contenido del presente documento.



---

Víctor Javier Chavarría Arroyo

San Carlos, 1 de noviembre de 2021

Céd: 207260878

# Resumen

El secado y deshidratación de productos agrícolas es de gran importancia para conservar los productos por más tiempo, manteniendo sus cualidades como sabor y calidad, una de las opciones disponibles para realizar este proceso son los secadores solares pasivos, mediante un colector solar que capta la radiación solar, calienta el aire que fluye a través del colector para finalmente el aire entrar a la cámara de secado donde se colocan los productos a secar o deshidratar.

Los secadores solares pasivos presentan una disminución en su eficiencia en las noches, cuando llueve y días nublados, debido a la ausencia de radiación solar suficiente para que el colector solar caliente el aire y pueda llevarse a cabo el proceso de secado, causando que los productos vuelvan a absorber humedad que favorece la aparición de hongos, y se prolongue el tiempo de secado estimado.

Este proyecto propone y evalúa solucionar este problema mediante la implementación de un sistema de apoyo que mantenga la temperatura adecuada para el secado de productos, con la utilización de la energía eléctrica generada por un sistema fotovoltaico. Este proyecto se realizó en el secador solar pasivo del DOCINADE, donde se realiza investigación, y sirve como modelo demostrativo a los productores interesados en implementar este tipo de secador solar.

**Palabras clave:** Secador solar pasivo, sistema fotovoltaico, granos de cacao, colector solar, cámara de secado.

# Abstract

The drying and dehydration of agricultural products are of great importance to conserve the products for a longer time, maintaining their qualities such as flavor and quality, one of the options available to carry out this process is passive solar dryers, through a solar collector that captures solar radiation, heats the air that flows through the collector to finally enter in the drying chamber where the products are dry or dehydrate.

The passive solar dryers show a decrease in their efficiency at night, when it rains and on cloudy days, due to the lack of sufficient solar radiation for the solar collector to heat the air and the drying process can be carried out, causing that the products reabsorb humidity and extend the estimated drying time.

This project proposes and evaluates solving this problem by implementing a support system that maintains the appropriate temperature for drying products, with the use of electrical energy generated by a photovoltaic system. This project was made in the passive solar dryer of DOCINADE, where research is carried out, and it serves as a demonstration model for producers interested in implementing this type of solar dryer.

**Keywords:** Passive solar dryer, photovoltaic system, cocoa beans, solar collector, drying chamber.

# Dedicatoria

A mis queridos padres Javier Chavarría Jirón y Ana Lilia Arroyo Blanco, que con amor, trabajo y sacrificio, me han apoyado para estudiar y poder lograr las herramientas necesarias para luchar por un futuro mejor.

También a mis amigos y compañeros de la universidad quienes me han apoyado y motivado en el transcurso de estos años de estudio .

# Agradecimientos

Agradezco al DOCINADE y a su personal por la oportunidad brindada de poder realizar este trabajo con ellos, especialmente al Dr. Tomás de Jesús Guzmán y Ing. Guillermo Castro , por su confianza, guía, apoyo y consejo durante el desarrollo de este proyecto.

Al señor Edwin Sibaja productor agrícola de San Luis de Upala, quien me facilitó las semillas de cacao fermentado con las cuales se realizaron las pruebas en el secador solar pasivo, además de enseñarme aspectos relacionados con el procesamiento del cacao.

A cada uno de los profesores que formaron parte de este proceso de aprendizaje en la universidad por sus conocimientos y motivación para crecer en lo personal y profesional.

Víctor Javier Chavarría Arroyo

San Carlos, 1 de noviembre de 2021

# Índice general

Índice de figuras	IV
Índice de tablas	VI
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Problema existente e importancia de la solución . . . . .	1
1.1.1. Entorno del proyecto . . . . .	1
1.1.2. Definición del problema . . . . .	3
1.2. Solución seleccionada . . . . .	4
<b>2. Meta y Objetivos</b>	<b>6</b>
2.1. Meta . . . . .	6
2.2. Objetivo general . . . . .	6
2.3. Objetivos específicos . . . . .	6
<b>3. Marco teórico</b>	<b>8</b>
3.1. Descripción del proceso a mejorar . . . . .	8
3.2. Antecedentes bibliográficos . . . . .	9
3.2.1. Secado de granos . . . . .	9
3.2.2. Inocuidad en los alimentos . . . . .	9
3.2.3. Sistemas de secado . . . . .	10
3.3. Principios físicos y electrónicos relacionados con la solución del problema .	13
3.3.1. Paneles solares . . . . .	13
3.3.2. Regulador de carga . . . . .	14
3.3.3. Batería . . . . .	16
3.3.4. Ventilación . . . . .	18

---

3.3.5. Resistencia calefactora eléctrica . . . . .	18
3.3.6. Controlador lógico programable . . . . .	18
3.3.7. Termostato analógico . . . . .	18
3.3.8. Adquisición de datos . . . . .	19
<b>4. Procedimiento metodológico</b>	<b>21</b>
4.1. Reconocimiento y definición del problema . . . . .	21
4.2. Obtención y análisis de información . . . . .	22
4.3. Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución . . . . .	23
4.4. Implementación de la solución . . . . .	29
4.5. Reevaluación y rediseño . . . . .	31
<b>5. Descripción detallada de la solución</b>	<b>32</b>
5.1. Adquisición de datos . . . . .	32
5.2. Sistema fotovoltaico . . . . .	34
5.3. Sistema de calefacción . . . . .	35
5.4. Beneficio económico . . . . .	36
<b>6. Análisis de resultados</b>	<b>38</b>
6.1. Resultados . . . . .	39
6.1.1. Resultados sin la implementación de la mejora . . . . .	39
6.1.2. Resultados con la implementación de la mejora . . . . .	42
6.2. Análisis de resultados . . . . .	48
<b>7. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>52</b>
7.1. Conclusiones . . . . .	52
7.2. Recomendaciones . . . . .	53
<b>Bibliografía</b>	<b>54</b>
<b>A. Glosario, abreviaturas y simbología</b>	<b>57</b>
<b>B. Cálculos matemáticos de la viabilidad económica de la implementación de la solución planteada</b>	<b>59</b>
B.1. Datos de la unidad productiva . . . . .	59

---

B.2. Cálculos matemáticos . . . . .	60
C. Componentes instalados	61
D. Código de programación para la medición de humedad y temperatura en el microcontrolador Arduino	67
E. Medición de temperatura y humedad en la cámara de secado	72

# Índice de figuras

1.1. División de las etapas funcionales del proyecto . . . . .	5
3.1. Secador solar pasivo. . . . .	11
3.2. Secador solar híbrido forzado. . . . .	12
3.3. Tecnologías de fabricación de las células solares. . . . .	14
3.4. Reguladores de carga PWM y MPPT. . . . .	15
3.5. Tarjeta Arduino UNO. . . . .	20
4.1. Potencial de generación eléctrica de los paneles solares a utilizar en el proyecto. . . . .	24
4.2. Características y componentes de la simulación del sistema fotovoltaico. . .	25
4.3. Producción normalizada y factores de pérdida de sistema fotovoltaico. . . .	26
4.4. Promedios mensuales de las principales variables del sistema fotovoltaico. .	26
4.5. Distribución del estado de carga de la batería en el sistema fotovoltaico. . .	27
4.6. Diseño de la solución planteada inicialmente con un controlador PLC. . . .	28
4.7. Diseño de la solución planteada con un termostato mecánico como controlador del sistema a 12V. . . . .	29
5.1. Diagrama de conexión de Arduino con los sensores DHT11 y DS 18B20. . . .	33
5.2. Visualización de los datos registrados en el archivo de texto. . . . .	34
5.3. Diagrama de la solución final implementada a 24V. . . . .	36
5.4. Costo de los componentes y mano de obra de la mejora al secador solar pasivo. . . . .	37
6.1. Variación del proceso de secado de las muestras de 0,500kg y el total de la muestra de granos de cacao en la prueba 1. . . . .	40

---

6.2. Variación del proceso de secado de las muestras de granos de cacao de 0,500kg en la prueba 1. . . . .	41
6.3. Comportamiento de la temperatura y humedad en la cámara de secado durante la prueba 1. . . . .	41
6.4. Variación del proceso de secado de las muestras de 0,500kg y el total de la muestra de granos de cacao en la prueba 3. . . . .	43
6.5. Variación del proceso de secado de las muestras de granos de cacao de 0,500kg en la prueba 2. . . . .	44
6.6. Comportamiento de la temperatura y humedad en la cámara de secado durante la prueba 2. . . . .	44
6.7. Variación del proceso de secado de las muestras de 0,500kg y el total de la muestra de granos de cacao en la prueba 3. . . . .	46
6.8. Variación del proceso de secado de las muestras de granos de cacao de 0,500kg en la prueba 3. . . . .	47
6.9. Comportamiento de la temperatura y humedad en la cámara de secado durante la prueba 3. . . . .	47
C.1. Conexión del regulador de carga y las baterías. . . . .	61
C.2. Paneles solares utilizados en el proyecto. . . . .	62
C.3. Cámara de secado con la impremeditación de la mejora. . . . .	63
C.4. Muestras de cacao fermentado listo para el proceso de secado. . . . .	64
C.5. Muestra de cacao con el proceso de secado finalizado. . . . .	65
C.6. Medidor de humedad de granos G600i. . . . .	66
D.1. Código del programa de adquisición de datos en Arduino . . . . .	68
D.2. Código del programa de adquisición de datos en Arduino. . . . .	69
D.3. Código del programa de adquisición de datos en Arduino. . . . .	70
D.4. Código del programa de adquisición de datos en Arduino. . . . .	71

# Índice de tablas

6.1. Masa de las muestras de granos de cacao durante la prueba 1. . . . .	39
6.2. Masa de las muestras de granos de cacao durante la prueba 2. . . . .	42
6.3. Masa de las muestras de granos de cacao durante la prueba 3. . . . .	45
E.1. Mediciones de temperatura y humedad durante la prueba 1. . . . .	72
E.2. Mediciones de temperatura y humedad durante la prueba 2. . . . .	83
E.3. Mediciones de temperatura y humedad durante la prueba 3. . . . .	92

# Capítulo 1

## Introducción

En este capítulo se explica el funcionamiento del secador solar pasivo de granos que se encuentra en el Campus Tecnológico Local San Carlos, en donde el DOCINADE realiza investigación en el área de tecnologías que implican la utilización de energías renovables. Se expone la problemática que actualmente presenta dicho secador, la importancia de darle solución al problema y finalmente se presenta la propuesta seleccionada para solucionar el problema.

### 1.1. Problema existente e importancia de la solución

#### 1.1.1. Entorno del proyecto

En un importante esfuerzo que realizan las instituciones públicas y empresas privadas por comprometerse con las políticas públicas de carbono neutralidad que el país promulga, la utilización de energías renovables como lo es la fotovoltaica permite contribuir en este aspecto y a mediano plazo reducir los costos de operación, se tenía como meta el ser carbono neutral para el año 2021 [1], ésta no es una tarea fácil de llevar a cabo, sin embargo todos los esfuerzos que se realicen para reducir los gases de efecto de invernadero cuentan.

El Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE), realiza investigaciones con energías limpias en el área agropecuaria de la Región Huasteca Norte del país,

con base en los resultados y prototipos de proyectos implementados en aplicaciones como sistemas solares térmicos y fotovoltaicos, los productores puedan evidenciar el beneficio tanto en el área económica, ambiental y social que dichas tecnologías pueden aportar a sus actividades productivas. El Campus Tecnológico Local San Carlos se encuentra ubicado de una de las zonas con mayor radiación solar del país permitiendo realizar investigación y proyectos con paneles solares al DOCINADE.

El secador solar pasivo funciona mediante el flujo de aire y la radiación solar sin otra fuente externa de energía, el secador solar pasivo funciona bajo el principio de funcionamiento de termosifón, en la parte baja del panel entra el aire frío que recorre las serpentinas del panel, por la radiación solar el aire se va calentando hasta llegar a la cámara de secado, este aire fluye hacia la cámara de secado, lugar en el cual se encuentran las bandejas de producto que se quieren secar o deshidratar, finalmente el aire sale por el venturi de salida en la parte superior de la cámara de secado. [2]

Existe una amplia gama de paneles solares para la generación de electricidad que varia con base a la calidad y pureza de los materiales, los paneles solares fotovoltaicos son una muy buena opción alternativa para aprovechar la energía que el sol brinda, la cual podría generar un ahorro económico a mediano y largo plazo, ya que la mayoría de fabricantes ofrecen una garantía de producto de 12 años [3], además la vida útil de los paneles solares que ofrecen los fabricante se encuentra entre 20 y 25 años [4]. Un caso presentado en [5], con un productor agropecuario de la zona de Guanacaste, mediante la implementación de un sistema fotovoltaico logró un ahorro del 85 % en la facturación mensual de electricidad, con una recuperación de la inversión económica del proyecto en 6.36 años.

Parte del programa de extensión que realiza el DOCINADE con las comunidades de la Región Huetar Norte consiste en brindar soluciones tecnológicas, eficientes y amigables con el ambiente, que permitan mejorar los procesos de producción del sector agropecuario, asimismo que le sea rentable económicamente al productor implementar dichas soluciones.

## 1.1.2. Definición del problema

### 1.1.2.1. Generalidades

El secador solar pasivo durante el día tiene un óptimo funcionamiento, ya que debido a la radiación solar que incide sobre este, logra alcanzar rangos de temperatura adecuada para el secado de granos, deshidratación de frutas y tubérculos, lo cual permite un producto mejor terminado en contraste con el medio tradicional como lo es el poner sobre un plástico negro el producto donde se puede exponer a contaminación, además de resultados de secado poco consistentes, exposición a lluvia repentina, etc...

Durante la noche, días lluviosos o nublados, este proceso de deshidratación y secado se ve afectado, ya que el secador solar no logra mantener la temperatura en los rangos adecuados para dichos procesos, lo que retrasa el tiempo estimado para tener el producto terminado, además parte del problema es que los productos recuperan en la noche un alto grado de humedad que le fue sacada en el día. El secador solar pasivo depende de una buena cantidad de radiación solar para funcionar correctamente, ya que se debe calentar el panel que a su vez calienta el aire que va circular a través de la cámara donde se encuentra el producto, si esto no se da en el tiempo estimado, tener el producto final listo se atrasa.

El secador solar pasivo anteriormente contaba con el apoyo de 3 paneles, solares cuya energía eléctrica era almacenada en una batería, para alimentar 2 resistencias de serpentinas calefactoras que transfieren calor al entorno dentro de la cámara de secado. En este caso la energía generada por los 3 paneles es insuficiente para mantener la temperatura adecuada dentro de la cámara de secado durante la noche o cuando llueve, además el sistema estaba desconectado por daños en el controlador debido al agua.

Mediante la implementación del proyecto, se pretende que la temperatura dentro de la cámara de secado se mantenga en un rango adecuado para el secado de productos agrícolas, donde la temperatura no descienda demasiado para evitar que los productos reabsorban humedad, y que el secador solar pasivo mantenga un funcionamiento constante a lo largo del año.

### 1.1.2.2. Síntesis del problema

Existencia de una pérdida de eficiencia del secador solar pasivo durante la noche y días nublados debido a la falta de radiación solar directa.

## 1.2. Solución seleccionada

Para llevar a cabo este proyecto se encuentran los siguientes requerimientos:

- Ajustar la solución al presupuesto.
- La utilización de energías amigables con el ambiente.
- Que el sistema no realice cambios en la estructura del secador solar pasivo.
- La solución pueda ser reproducida en otros secadores solares pasivos.
- Mantenimiento del sistema que implique un bajo costo y sea fácil de realizar.
- De fácil manipulación para el usuario final.
- El costo económico de operación debe ser el mínimo.

Con base en los requerimientos establecidos se llevó a cabo el planteamiento de las alternativas de solución, donde finalmente se implemento la solución que más se adaptaba a las necesidades para mejorar la eficiencia del secador solar pasivo. El sistema consta de 3 partes, la primera parte es la encargada de generar la energía eléctrica necesaria mediante paneles solares para el funcionamiento del sistema, la segunda consiste en la parte regulación y almacenamiento de la energía, y por ultimo la tercera parte del sistema encargada de utilizar la energía eléctrica para transformarla en calor dentro de la cámara de secado y hacer circular el aire, para mantener una temperatura adecuada en el proceso de secado de productos agrícolas.



**Figura 1.1:** División de las etapas funcionales del proyecto

**Fuente:** Autor.

# Capítulo 2

## Meta y Objetivos

### 2.1. Meta

- Mejorar el funcionamiento de un secador solar pasivo mediante la implementación de un sistema de paneles solares que permitan mantener una temperatura adecuada en horas críticas.

### 2.2. Objetivo general

- Implementar un sistema automatizado que permita controlar la temperatura de un secador solar pasivo mediante la energía generada por un sistema fotovoltaico en horas críticas.

### 2.3. Objetivos específicos

- Investigar el funcionamiento y requerimientos para la implementación de un sistema fotovoltaico como sistema de apoyo de energía a un secador solar pasivo.
- Diseñar el acoplamiento entre el sistema fotovoltaico y el secador solar pasivo que permita mejorar la eficiencia del secador solar pasivo.

- 
- Evaluar la eficiencia de la implementación del proyecto mediante la cuantificación de indicadores de operación del secador solar como temperatura y humedad en la cámara de secado.
  - Analizar el costo-beneficio económico de la implementación de un sistema fotovoltaico para aumentar la eficiencia de un secador solar pasivo.

# Capítulo 3

## Marco teórico

Este capítulo muestra los conceptos y teoría concernientes con el problema y la solución propuesta. Se explican los temas relacionados con el proceso a mejorar, los componentes, así como de los principios físicos y electrónicos empleados en dicha solución.

### 3.1. Descripción del proceso a mejorar

Actualmente el DOCINADE cuenta con un secador solar pasivo con el cual realizan investigación en el secado de granos, semillas, frutas y otros productos agropecuarios. Este secador funciona únicamente mediante la radiación solar incidente sobre el colector, que calienta el aire que entra a la cámara de secado por lo que durante la noche dicho secador disminuye su eficiencia.

El secador solar pasivo es una alternativa higiénica y segura para reemplazar el método tradicional de secado de granos al sol sobre un manteado o en un invernadero, donde los insectos y roedores tienen fácil acceso al producto que se le está realizando el proceso de secado. Este secador es una opción económica en comparación con secadores híbridos que cuentan con un precio más elevado y no siempre se encuentran dentro de las posibilidades económicas de los productores agrícolas.

## 3.2. Antecedentes bibliográficos

### 3.2.1. Secado de granos

El secado de granos es de gran importancia en el proceso de producción de alimentos, este proceso consiste en la extracción de humedad del grano hasta alcanzar un nivel óptimo del mismo, que evite la aparición de hongos, el deterioro durante el almacenamiento y la germinación de la semilla. Permitiendo mantener la calidad y nutrientes del grano para su posterior aprovechamiento. [6]

El proceso y tiempo de secado de un producto varia según las características como forma, tamaño, porcentaje de humedad inicial, contenido de humedad mínimo, uso final que tendrá el producto. En general para considerar un producto seco el nivel de humedad varia entre un 14 % y un 7 %. [6]

En el proceso de secado de granos de cacao es necesario tener en cuenta algunas recomendaciones, como secar los granos de cacao hasta un 7 % o un 6 % de humedad ya que si esta por debajo de un 6 % se obtienen granos quebradizos, si la humedad esta por encima de un 8 % el grano es propenso a la aparición de hongos e insectos. [7]

### 3.2.2. Inocuidad en los alimentos

La inocuidad puede definirse como el conjunto de condiciones y medidas a tomar necesarias durante el proceso de producción, elaboración, distribución y preparación de los alimentos para asegurar que al ingerir los alimentos no representen un riesgo apreciable para la salud. La inocuidad junto con los factores nutricionales, organolépticos y comerciales constituyen la calidad de los alimentos. [8]

La inocuidad en el proceso de los alimentos es de gran importancia ya que es un componente esencial de calidad, en la industria de los alimentos la inocuidad debe considerarse sin ninguna duda como la prioridad máxima. Los secadores solares brindan un alto grado de inocuidad ya que al tener una cámara hermética donde se depositan los alimentos en el proceso de secado, mantiene un estricto control contra riesgos químicos, físicos y biológicos, que pueden afectar la calidad de los alimentos, en contraste con el secado tradicional

de tendido al sol y en invernaderos, donde la protección ante estos factores es mínima. [9]

### **3.2.3. Sistemas de secado**

La clasificación los secadores solares se da de muchas maneras dentro de las principales se encuentran:

#### **3.2.3.1. Tendido al sol**

Esta técnica consiste en poner el producto directamente sobre una superficie en donde le incida directamente los rayos solares y el aire por el periodo de tiempo necesario para alcanzar la humedad necesaria para considerar el producto seco. El tendido al sol es una de las técnicas más baratas y utilizadas por pequeños productores en nuestro país. [10]

#### **3.2.3.2. Secador solar pasivo**

Los componentes principales de un secador solar pasivo son, un colector solar el cual calienta el aire que fluye a través de este, ésta es la principal fuente de energía para el proceso, una cámara de secado donde se colocan los productos que se desean secar o deshidratar, un conducto de salida del aire húmedo. Asimismo se pueden implementar ventiladores, chimeneas, fuentes auxiliares para calentar el aire, sistemas de control y de acumulación de energía. Dentro de las principales ventajas del secador solar pasivo es que tiene una temperatura moderada y uniforme en su cámara de secado, mientras que su principal desventaja es que depende del clima para poder realizar un secado adecuado ya que si no hay sol, favorece la aparición de hongos en los productos y la degradación de su calidad. [10]



**Figura 3.1:** Secador solar pasivo.

**Fuente:** DOCINANE.

### 3.2.3.3. Secador solar híbrido forzado

El secador solar híbrido se compone de una serie de colectores por donde se hace circular aire o agua, para que estos incrementen la temperatura a una mayor a la del ambiente, el aire es forzado a circular en la cámara de secado para finalmente ser recirculado por tuberías para ser llevado de nuevo hasta los colectores, por su parte el agua es circulada por tuberías dentro de la cámara de secado donde a través de una serpentina se transfiere el calor al entorno de la cámara y se procede a recircular por el colector el agua para repetir el proceso, también a este tipo de secador se le agrega un deshumidificador para mejorar la eficiencia.[10]

Este tipo de secador necesita de uno o dos sistemas auxiliares como lo son de gas o eléctrico que permitan mantener un adecuado funcionamiento ya que no siempre las condiciones climáticas son favorables para su óptimo funcionamiento. [10]



**Figura 3.2:** Secador solar híbrido forzado.

**Fuente:** DOCINADE.

## **3.3. Principios físicos y electrónicos relacionados con la solución del problema**

### **3.3.1. Paneles solares**

Un panel solar o módulo fotovoltaico es un conjunto de células conectadas eléctricamente, encapsuladas y montadas sobre una estructura de soporte. En la salida de sus conexiones proporciona una tensión continua. Se diseñan para valores de voltajes concretos (6V, 12V, 24V, 48V...), que definen la tensión a la que trabajar el sistema fotovoltaico. Los tipos de paneles solares se clasifican según la tecnología con la que son fabricados los paneles de silicio. [11]

#### **3.3.1.1. Silicio monocristalino**

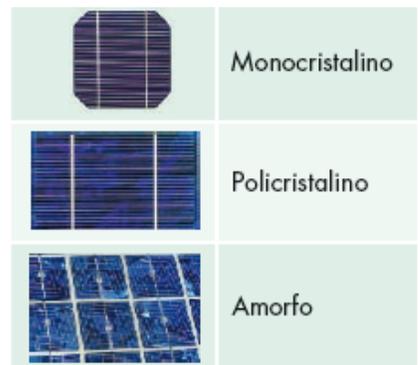
La eficiencia de esta célula es de entre un 15 % a 18 %, son típicos los azules homogéneos y las conexiones de las células individuales entre sí, se obtiene de la combinación de silicio puro dopado con boro. [11]

#### **3.3.1.2. Silicio policristalino**

Con una eficiencia de entre el 12 % a 14 %, la superficie está estructurada en cristales, contiene distintos tonos de azules, la fabricación es la misma que la del monocristalino pero con una disminución en el número de fases de cristalización. [11]

#### **3.3.1.3. Silicio amorfo**

Tiene la menor eficiencia de todas las células, no supera el 10 % de eficiencia, tiene un color homogéneo azul marrón, no se notan las conexiones entre las células, la fabricación es mediante la deposición en forma de laminas delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico. [11]



**Figura 3.3:** Tecnologías de fabricación de las células solares.

**Fuente:** McGraw-Hill, Componentes de una instalación solar fotovoltaica .

### 3.3.2. Regulador de carga

Para el correcto funcionamiento del sistema se debe utilizar un regulador de carga, su misión es regular la carga y descarga de la batería para prolongar su vida útil, por lo tanto el regulador cumple con las funciones de garantizar una carga suficiente al acumulador evitando la sobrecarga, en la descarga se ocupa de asegurar el suministro eléctrico suficiente, evitando la descarga excesiva de la batería. [11]

Debido a que la tensión nominal de los paneles solares es mayor a la de la batería, si no existiera regulador se podrían producir sobrecargas, el motivo de que la tensión nominal de los paneles sea así es para atenuar posibles disminuciones de tensión por el aumento de temperatura y asegurar la carga correcta de las baterías, por ello la tensión del panel debe ser mayor que la tensión de la batería. La hoja de datos del dispositivo nos indica el tipo de baterías que se pueden conectar, el voltaje de funcionamiento del regulador y la corriente máxima del mismo. [11]

Es de gran importancia corroborar que el regulador cumpla con las características físicas, eléctricas y normas de seguridad adecuadas para la protección de las instalaciones y del personal que manipula el equipo. En las instalaciones que utilicen corriente continua hay que tener cuidado con la polaridad, ya que una equivocación en la conexión puede provocar daños importantes. [11]

### 3.3.2.1. Regulador MPPT o maximizador

Las siglas MPPT ( Maximum Power Point Tracking) significa seguidor de punto de potencia máxima. El “punto” hace referencia a los valores óptimos para el voltaje y la corriente de salida que proporcionan la máxima potencia de salida. Este tipo de regulador incorpora un limitador de corriente, para no sobrepasar la corriente máxima tolerado por las baterías cuando la potencia de entrada sube transitoriamente. Además el regulador modula el voltaje del panel y lo adapta a las características de las baterías conectadas. Son más caros que los reguladores tipo PWM, pero consiguen un 30 % de aumento en la producción energética. [12]

### 3.3.2.2. Regulador PWM o convencional

También llamados reguladores “todo o nada”, fueron los primeros reguladores de carga que aparecieron en el mercado, realizan el control de la carga mediante la conmutación de elementos electromecánicos (relés), el regulador permite el paso de toda la corriente producida por los paneles conectados hasta que la tensión de la batería alcanza un valor predeterminado, al llegar a este valor se interrumpe el paso de la corriente a las baterías. Son una solución ideal para sistemas fotovoltaicos pequeños donde el precio puede ser un punto crítico o donde la eficiencia máxima y la potencia adicional no son realmente necesarias. [12]



**Figura 3.4:** Reguladores de carga PWM y MPPT.

**Fuente:** Autor.

### 3.3.3. Batería

La batería permite el almacenamiento de energía generada por los paneles solares para su posterior aprovechamiento en momentos críticos, donde los paneles solares no generan la energía suficiente para el funcionamiento del sistema que alimenta, como en días nublados y noches. La comercialización de las baterías se basa en la capacidad de almacenar energía y es medida en Amperios hora (Ah) [12]. Para determinar los Ah necesarios para un sistema fotovoltaico se emplea la siguiente ecuación:

$$C_{ne}(Ah) = \frac{L_{md} \times N}{V_{bat} \times P_{D,m\acute{a}x} F_{ct}} \quad (3.1)$$

Donde,

$L_{md}$  → Consumo medio de energía diario

$V_{bat}$  → Voltaje nominal del sistema

$N$  → Numero de días de autonomía

$P_{D,m\acute{a}x}$  → Porcentaje máximo de descarga de batería

$F_{ct}$  → Factor de compensación térmica = 1

En el mercado existen distintos tipos de baterías dependiendo del tipo de uso y precio se pueden escoger entre:

#### 3.3.3.1. Baterías de ciclo poco profundo

Son baterías que no pueden ser utilizadas hasta descargarse completamente, por lo que durante su utilización se están cargando y descargando de manera alterna. Son utilizadas en arranque de equipos donde no se necesite descargar mas de un 20 %, son livianas y mas baratas que las de ciclo profundo, son altamente susceptibles a daños permanentes si se excede regularmente los niveles de descargas. [12]

### 3.3.3.2. Baterías de ciclo profundo

Están diseñadas para ser utilizadas durante largos periodos de tiempo sin la necesidad de ser recargadas y sin sufrir daños por las descargas regulares. Este tipo de baterías pueden alcanzar una profundidad de descarga de 80 %, son más robustas y costosas que las baterías de ciclo poco profundo, por sus características son ideales para sistemas fotovoltaicos aislados. [12]

### 3.3.3.3. Baterías de plomo-ácido

Son baterías muy económicas, con un amplio potencial comercial. El electrolito está compuesto por diversas aleaciones de plomo en ácido sulfúrico, mientras que las placas están compuestas de una aleación de plomo con otras materias, dicha aleación depende la profundidad de descarga de la batería, se tienen baterías con placas de plomo-antimonio y plomo-calcio. El antimonio evita que se dañen las placas cuando se dan descargas a profundidad, mientras que en las baterías de plomo-calcio, el calcio reduce la auto descarga de la batería, este tipo de aleación sufre daños si las profundidades de descarga superan el 25 %. [12]

Existe otro tipo de batería plomo-ácido denominada “Gel” debido a que el electrolito es un gel, la ventaja que ofrece este tipo de batería contra las baterías de electrolito líquido es al encontrarse completamente selladas pueden trabajar en distintas posiciones evitando el derramen del electrolito o que haya fugas de gases, son utilizadas en sistemas fotovoltaicos que requieren gran cantidad de energía y que son poco ventilados.

### 3.3.3.4. Batería de níquel-cadmio

Se diferencian de las baterías de plomo-ácido ya que utilizan una base de hidróxido de potasio como electrolito en lugar de ácido. El polo positivo está compuesto con aleaciones de níquel, mientras que el polo negativo con aleaciones de cadmio. Entre sus ventajas están que soportan condiciones de altas temperaturas y de frío intenso, no son tan afectadas por sobrecargas y pueden ser descargadas totalmente sin que esto les cause daños, su desventaja es su elevado precio en comparación con las baterías de plomo-ácido. [12]

### 3.3.4. Ventilación

Para mover el aire a través de un sistema es necesario aportar energía y para ello se utilizan los ventiladores, que son las máquinas más usadas para producir movimiento de aire. Su funcionamiento se basa en la entrega de energía cinética mediante un rotor, que gira a alta velocidad y incrementa la energía cinética del flujo de aire. La selección del ventilador se basa en el caudal del aire requerido y que esté en una zona de operación estable y eficiente. [13]

### 3.3.5. Resistencia calefactora eléctrica

Son resistencias eléctricas para producir calor debido al efecto joule. Este tipo de resistencias eléctricas presentan un consumo elevado de energía que requiere una potencia importante. Son utilizadas para calentar fluidos como aire, agua y aceites entre otros.[14]

### 3.3.6. Controlador lógico programable

El controlador lógico programable es comúnmente conocido como PLC (Programmable Logic Controller), por sus siglas en inglés, es un sistema de control industrial, basado en una computadora que utiliza instrucciones de programación y mediante funciones específicas, tales como lógica secuencia, registros y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas, controla a través de entradas/salidas análogas o digitales, realiza el control de procesos electromecánicos. El campo de aplicación de los PLC es muy diverso dentro de las industrias donde es ampliamente utilizado se encuentran la construcción, aeroespacial, alimentación, producción de energía, entre otras. [15]

### 3.3.7. Termostato analógico

El termostato es un dispositivo que actúa como interruptor en un circuito ante un cambio de temperatura en el ambiente, también es conocido como interruptor de temperatura. Sirve para regular la temperatura de manera automática de forma económica, manteniendo la temperatura en el punto establecido. El termostato tipo KP 61 está provisto de un

conmutador unipolar de dos direcciones, con las conexiones de sus terminales se puede establecer el cerrar o abrir el circuito, según las necesidades del usuario. Los termostatos usados en instalaciones comerciales tienen una capacidad de entre 10 y 20 amperios, en estas instalaciones el rango de temperaturas varía entre los  $-60^{\circ}\text{C}$  a  $+40^{\circ}\text{C}$ . [16]

### 3.3.8. Adquisición de datos

Una parte muy importante en el proyecto consiste en la adquisición de datos de temperatura y humedad, dentro de la cámara de secado del secador solar pasivo, para realizar una evaluación del antes y después la implementación del proyecto. Para la adquisición de información se utilizan sensores y un micro controlador que se encargara de adquirir y almacenar los datos.

#### 3.3.8.1. Sensor humedad y temperatura

Los sensores se definen como dispositivos capaces de convertir una magnitud física en una diferencia de potencial, es decir realizan una conversión de energías suministrando información sobre el estado y tamaño de la magnitud. Como todos los instrumentos de medición estos también tienen un rango de trabajo que establece el fabricante.

El sensor de temperatura DS 18B20 es un dispositivo que se comunica de forma digital, cuenta con 3 terminales  $V_{cc}$ , GND, y pin Data. Este sensor utiliza comunicación OneWire, este protocolo permite enviar datos en un solo cable. Cuenta con un sensor digital de resolución de 9 y 12 bits, rango de operación de  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $125^{\circ}\text{C}$  y precisión de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . [17]

Sensor DHT11 tiene la capacidad para medir humedad y temperatura del entorno que lo rodea, puede medir un porcentaje de humedad relativa entre un 20 % y un 90 % con un error del  $\pm 5\%$ . Lee temperaturas entre los rangos de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $50^{\circ}\text{C}$ , con un error de  $2^{\circ}\text{C}$ . Funciona con corriente continua a un voltaje de alimentación mínimo de 3.3V, y máximo de 5.5V. El sensor envía la información a través de un pin digital. [18]

### 3.3.8.2. Arduino

Arduino es una plataforma de hardware de código abierto, cuenta con una sencilla placa circuito impreso que utiliza un microcontrolador de la marca ATMEL, cuenta con entradas y salidas, analógicas y digitales. Arduino simplifica el proceso de trabajar con microcontroladores con un lenguaje de programación *processing* de fácil aprendizaje e interpretación. [19]

Existen diferentes modelos de Arduino que varían según el tipo de aplicaciones que se deseen realizar [20], el mas común es el Arduino Uno, entre sus principales ventajas se encuentran que es un microcontrolador accesible y factible en comparación con otras plataformas de microcontroladores, multi-plataforma ya que el software de programación de Arduino es compatible en los sistemas operativos Windows, Linus y macOS, ambiente de programación sencillo y fácil de usar para el usuario, software y hardware ampliable y de código abierto. [19]



**Figura 3.5:** Tarjeta Arduino UNO.

**Fuente:** Arduino products

# Capítulo 4

## Procedimiento metodológico

En esta sección se explica las etapas seguidas en el proceso para el desarrollo de la solución que se plantea al problema, siguiendo las etapas del método de diseño de ingeniería.

### 4.1. Reconocimiento y definición del problema

La ruta que se establecida para realizar el reconocimiento del problema fue mediante una reunión con el Dr. Tomas Guzmán, quien se desempeñaba como investigador y encargado del DOCINADE, donde platea la necesidad de mejorar la eficiencia del secador solar pasivo con el cual el DOCINADE cuenta para realizar investigación, y sirve como modelo para exponerlo a los productores agropecuarios que deseen implementar dicho sistema en sus actividades productivas. En la reunión el Dr. Guzmán externa que el secador solar depende directamente de tener buenas condiciones climatológicas, que permita la incidencia de radiación solar en el panel, para calentar el aire que ingresa a la cámara del secador solar.

En la inspección al secador solar con el Ing. Guillermo Castro, profesor y investigador del DOCINADE, se identifican los componentes con los que se cuentan previamente para ser utilizados en la solución del problema, se identifica que se debe realizar un sellado de la cámara de secado para un mejor funcionamiento.

Con la ayuda del Dr. Tomas Guzmán y el Ing. Guillermo Castro se dialoga sobre las

posibles opciones que se pueden implementar para darle solución al problema. Partiendo de los componentes con los que se cuenta, el presupuesto para la compra de componentes y el tipo de usuario final, se propone una solución que utilice la energía fotovoltaica generada para ser aprovechada en forma de calor dentro de la cámara de secado, que sea una solución amigable con el ambiente y que implique un mantenimiento mínimo.

## 4.2. Obtención y análisis de información

Para indagar acerca de la información pertinente al proyecto se lee las publicaciones del DOCINADE, complementariamente se buscan documentos en medios electrónicos que tengan relevancia al respecto, con estos datos y una entrevista se procede a marcar el rumbo para una solución.

En una visita a la finca del señor Edwin Sibaja productor de cacao de la comunidad de San Luis de Upala, externa que el secador solar pasivo funciona muy bien siempre y cuando haya sol, que en los días nublados y en las noches el secador no logra llevar a cabo el proceso de secado, por lo que se comienzan a notar hongos en las semillas de cacao, por tal razón le es más factible seguir realizando el secado en tarimas dentro de un invernadero.

Se realiza una prueba de la duración de secado en el secador solar pasivo para evidenciar su funcionamiento, en dicha prueba se utiliza como producto de prueba semillas de cacao ya que fue facilitado su suministro por el señor Sibaja, con los datos obtenidos se procede a mejorar la eficiencia del secador solar pasivo. Para la recolección de la información se utiliza el microcontrolador Arduino que mediante sensores y una tarjeta SD se obtienen los datos de humedad y temperatura dentro de la cámara de secado.

Con la ayuda de la herramienta de simulación de sistemas fotovoltaicos PVGIS se estima la producción de energía eléctrica que se obtendrá con los paneles solares existentes, con PVsyst se simula el funcionamiento del sistema con los requerimientos que se establecieron previamente. Dentro de los requerimientos del sistema se encuentra tener una autonomía con un banco de baterías de 4 horas, y una temperatura en la cámara de secado superior a 30°C en promedio durante las 24 horas del día.

Para el proceso adquisiciones de los componentes que se debían comprar se realizan cotizaciones con distintas empresas buscando la mejor relación precio-calidad, que los componentes cumplan con los requerimientos del proyecto, y que el proveedor cumpla con los requisitos para que el TEC le pueda realizar compras.

### 4.3. Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

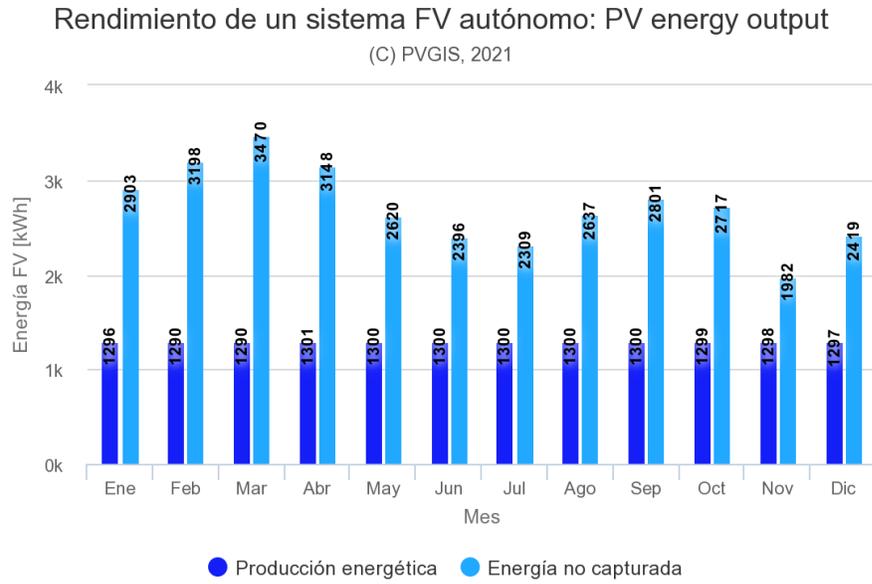
Primeramente en el diseño se debía incluir los componentes con los cuales se contaba previamente y a partir de ahí realizar la escogencia de los componentes necesarios para la realizar el proyecto, entre los componentes que se disponían están:

- 1 Batería de gel, 12V, ciclo profundo, 110AH, marca MASTERSOLAR.
- Regulador de carga MPPT, 12V/24V, 45A, QueensWing .
- 3 Paneles solares solares de 270W modelo CS6P-270P y 2 paneles solares de 255W modelo CS6P-255P, todos de la marca CanadianSolar.
- 2 Resistencias calefactoras de 12V/150W, 2 resistencias calefactoras 12V/300W.
- 20 metros de cable TGP 2x12

Para los componentes necesarios de comprar, se procedió a realizar cotizaciones con distintos proveedores donde se escogió el que proveedor que tenia los mejores precios y la disponibilidad a la mayor brevedad. Se realizó una cotización del sistema a implementar completo para tener un análisis de los costos de implementar todo el sistema desde cero. Los componentes que se compraron fueron:

- 1 Batería de gel solar 12V 100AH.
- 50 mts Cable fotovoltaico calibre 10 AWG 2kV.
- 15 Conectores MC4 para paneles solares.

Con la utilización de PVGIS se corroboran el potencial de la ubicación donde se instala el sistema fotovoltaico, que se encuentra adyacente al secador solar pasivo con lo que se obtiene los resultados de la siguiente imagen.



**Figura 4.1:** Potencial de generación eléctrica de los paneles solares a utilizar en el proyecto.

**Fuente:** Autor.

En PVSyst se procede a simular el sistema fotovoltaico dimensionado para este proyecto con lo que se obtienen los siguientes resultados:

PV Array Characteristics			
<b>PV module</b>		<b>Battery</b>	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	CS6X - 270M	Model	Solar S12/130 A
(Original PVSyst database)		Technology	Lead-acid, sealed, Gel
Unit Nom. Power	270 Wp	Nb. of units	2 in series
Number of PV modules	5 units	Discharging min. SOC	4.2 %
Nominal (STC)	1350 Wp	Stored energy	2.4 kWh
Modules	5 Strings x 1 In series	<b>Battery Pack Characteristics</b>	
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Voltage	24 V
Pmpp	1198 Wp	Nominal Capacity	104 Ah (C10)
U mpp	32 V	Temperature	Given monthly values
I mpp	38 A	<b>Battery Management control</b>	
<b>Controller</b>		Threshold commands as	Battery voltage
Manufacturer	Generic	Charging	28.9 / 25.1 V
Model	Tarom 245	Corresp. SOC	0.91 / 0.75
Technology	MP Series transistor	Discharging	21.6 / 24.4 V
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.	Corresp. SOC	0.04 / 0.45
<b>Total PV power</b>			
Nominal (STC)	1 kWp		
Total	5 modules		
Module area	9.6 m <sup>2</sup>		
Cell area	8.6 m <sup>2</sup>		

**Figura 4.2:** Características y componentes de la simulación del sistema fotovoltaico.

**Fuente:** Autor.

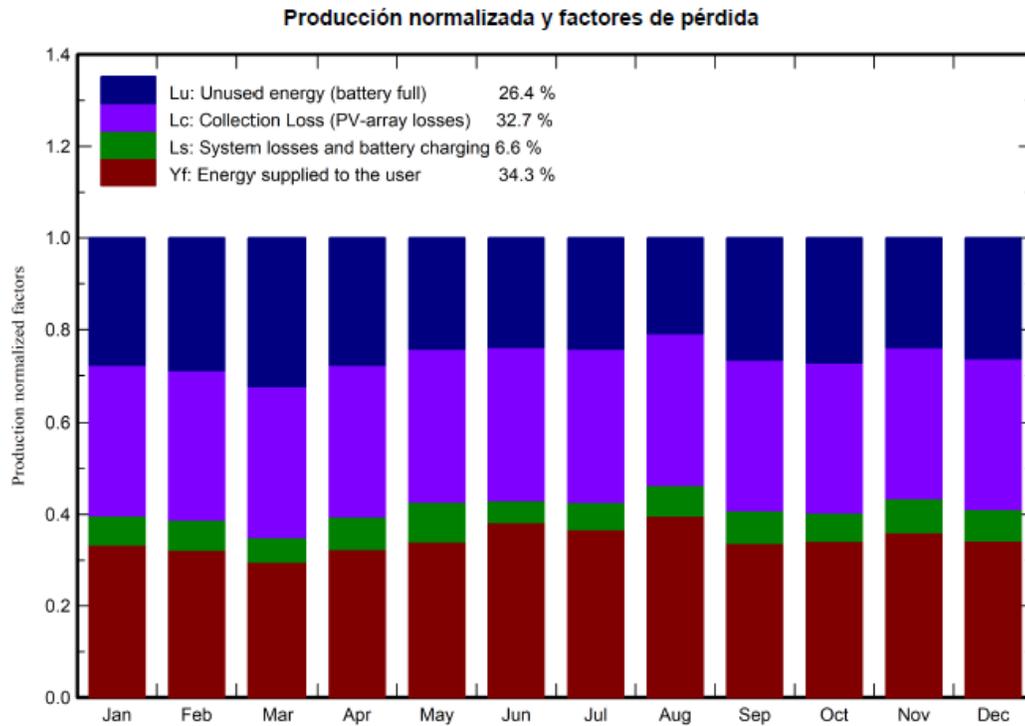


Figura 4.3: Producción normalizada y factores de pérdida de sistema fotovoltaico.

Fuente: Autor.

**Balances and main results**

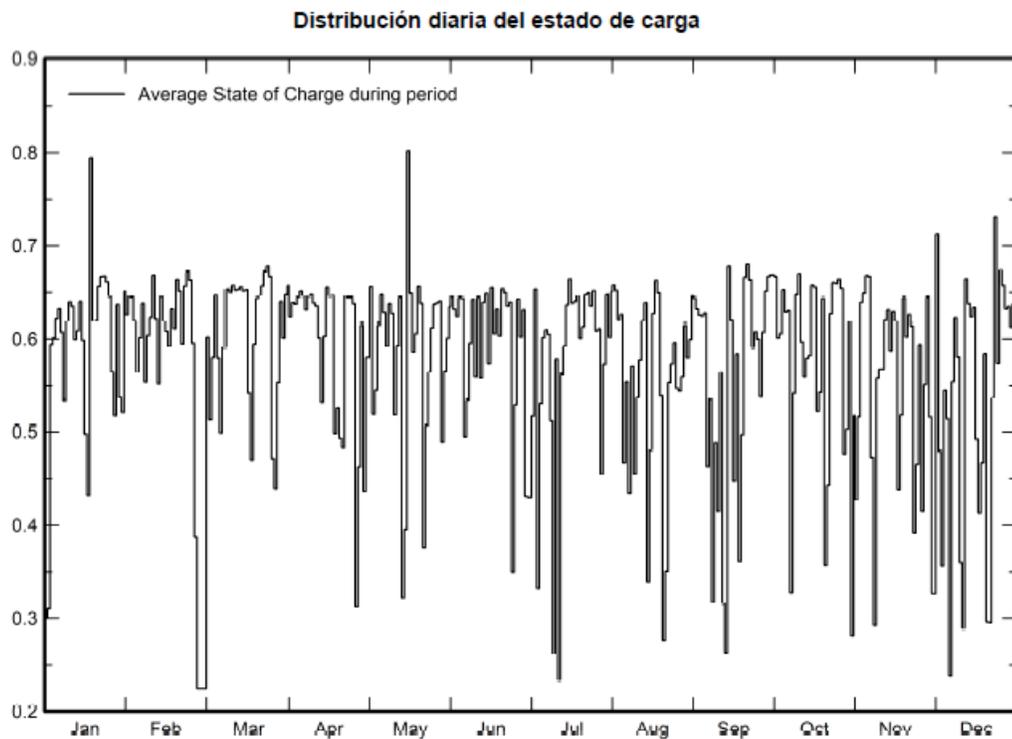
	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	138.0	149.3	139.6	57.41	7.06	68.83	75.89	0.907
February	140.8	148.7	139.1	59.47	2.30	66.24	68.54	0.966
March	176.8	176.8	164.8	79.33	3.46	72.43	75.89	0.954
April	166.2	156.9	146.4	60.39	2.88	70.56	73.44	0.961
May	165.9	149.5	139.6	50.58	5.04	70.85	75.89	0.934
June	150.4	133.2	124.5	44.45	2.30	71.14	73.44	0.969
July	151.7	135.3	126.6	45.97	6.62	69.26	75.89	0.913
August	138.8	128.6	120.4	37.40	4.78	71.11	75.89	0.937
September	144.7	140.8	131.9	52.14	7.65	65.79	73.44	0.896
October	148.0	151.7	142.2	57.40	4.08	71.81	75.89	0.946
November	123.1	130.3	122.0	43.37	8.35	65.09	73.44	0.886
December	118.2	129.3	121.1	47.33	14.55	61.34	75.89	0.808
Year	1762.5	1730.2	1618.2	635.23	69.07	824.45	893.52	0.923

**Legends**

- GlobHor Global horizontal irradiation
- GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
- E\_Avail Available Solar Energy
- EUnused Unused energy (battery full)
- E\_Miss Missing energy
- E\_User Energy supplied to the user
- E\_Load Energy need of the user (Load)
- SolFrac Solar fraction (EUsed / ELoad)

Figura 4.4: Promedios mensuales de las principales variables del sistema fotovoltaico.

Fuente: Autor.

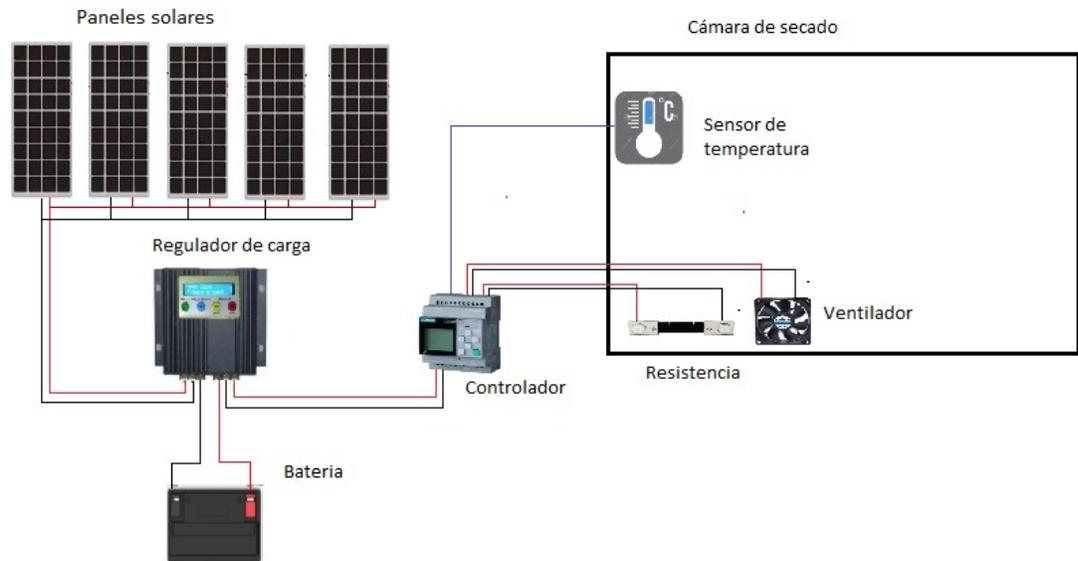


**Figura 4.5:** Distribución del estado de carga de la batería en el sistema fotovoltaico.

**Fuente:** Autor.

Con los resultados de las simulaciones queda claro que el sistema fotovoltaico tiene la capacidad de generar como mínimo 2kW de energía diarios, para el aprovechamiento en el secador solar pasivo.

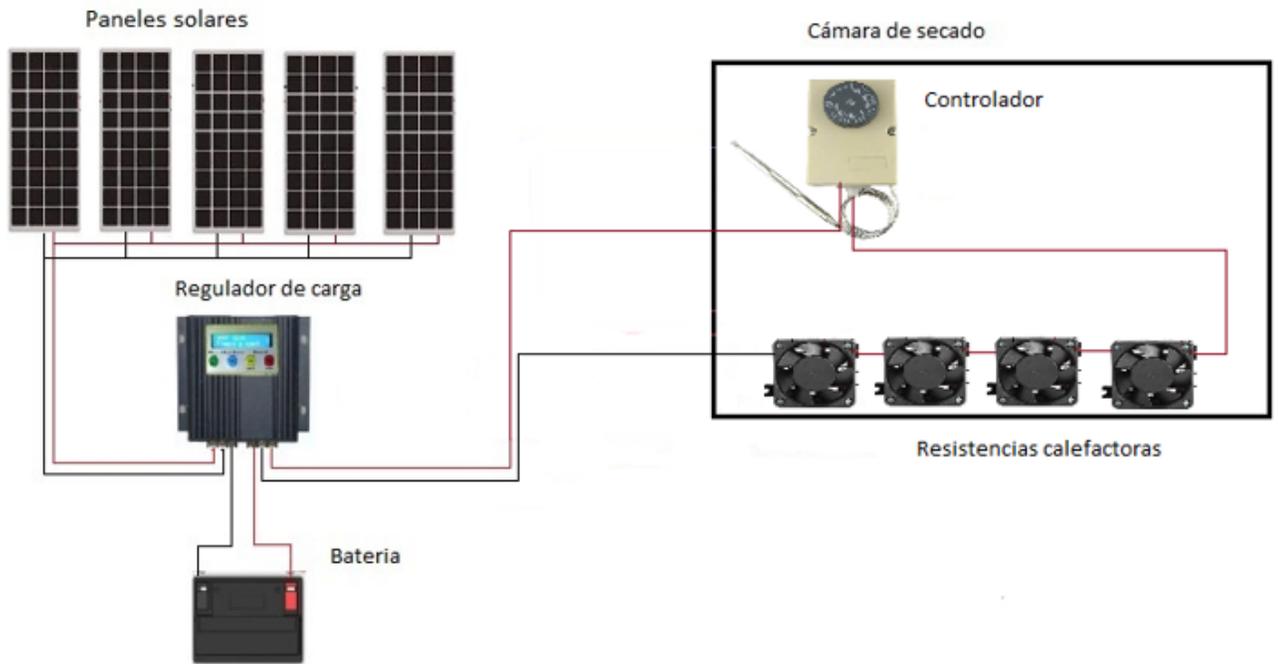
En una primera propuesta se estableció el uso de un PLC Siemens LOGO!8 para realizar el control del sistema, ya que con un PLC se podía establecer una franja horaria para el funcionamiento del sistema, ésta opción fue descartada ya que se salía del presupuesto la compra de un PLC, adicionalmente otro motivo para descartar la alternativa fue que se busca un mantenimiento y manipulación lo más simple para una persona que no tenga conocimientos en el área de la electrónica.



**Figura 4.6:** Diseño de la solución planteada inicialmente con un controlador PLC.

**Fuente:** Autor.

La segunda propuesta reemplaza el PLC por un termostato mecánico que es fácilmente manipulable para establecer la temperatura de funcionamiento, se decide utilizar el sistema a 12V con dos baterías en paralelo lo que sumaría la capacidad de las baterías para tener un almacenamiento total de 210Ah, las cargas de los ventiladores y las termo resistencias se colocan en paralelo.



**Figura 4.7:** Diseño de la solución planteada con un termostato mecánico como controlador del sistema a 12V.

**Fuente:** Autor.

#### 4.4. Implementación de la solución

Con la definición de los requerimientos y materiales a utilizar en la implementación de la solución, el procedimiento para la realización del proyecto fue el siguiente:

- Primeramente se realiza una evaluación del estado físico del secador solar pasivo, en especial de la cámara de secado la cual no se encontraba con un sellado adecuado para mantener adecuadamente el calor generado por el panel solar, se procedió a sellar las rendijas por donde se pudiera salir el calor con un material adecuado, con lo cual se empleó Duretán, que es un silicón de uso industrial que soporta altas temperaturas.
- La recolección de datos para la evaluación del sistema se realizó mediante el uso del microcontrolador Arduino, y la utilización de sensores de humedad y temperatura que se colocaron dentro de la cámara de secado. La programación de Arduino se

llevo a cabo basado en ejemplos de foros de programación, sobre la utilización de los sensores DS 18B20 y dht11, el almacenamiento de los datos se realizó en una tarjeta microSD que se le adaptó al Arduino UNO mediante el *shield* para tarjeta SD, dichos datos se guardan en formato .txt para luego exportarlos a Excel, los datos se analizaron en los software Minitab y Tableau.

- Con el equipo de adquisición de datos y la cámara de secado lista, se procedió a realizar la primer prueba de secado de granos de cacao, donde los datos obtenidos servirían como referencia del funcionamiento del secador solar pasivo con respecto al funcionamiento del secador con la mejora implementada.
- Se verificó que los paneles solares que se iban a utilizar estuvieran en buen estado, esto mediante mediciones con un multímetro. El montaje de los paneles solares se hizo en una base metálica adyacente al secador solar pasivo con una inclinación de 15° en dirección sur-este.
- La instalación del controlador y las baterías se hizo en la bodega del secador solar híbrido, que se encuentra a pocos metros del secador solar pasivo para mayor seguridad y protección de los equipos. Se procedió a realizar la conexión de los paneles, baterías, regulador, termo resistencias y ventiladores.
- Una vez implementada la mejora se efectuó la segunda prueba de secado de cacao, mientras se realizaba la prueba se detectaron corrientes elevadas superiores a 30A, por lo que se tuvo que realizar modificaciones en el sistema para corregir este error y evitar daños en los equipos.
- En corriente directa es muy peligroso para las personas que manipulan los equipos sufrir una descarga eléctrica, además los equipos no están diseñados para que haya un flujo alto de corriente. Para darle solución a este problema se tuvo que cambiar el diseño inicial del proyecto, se cambió la conexión de las baterías de paralelo a serie, con lo que se modifica el voltaje de del sistema de 12V a 24V, se cambió el empalme de las termo resistencias de paralelo a serie. Con estas variaciones se eliminó el problema de las altas corrientes y el calentamiento de los cables conductores.
- Como en el transcurso de la segunda prueba se presentaron los problemas con las

corrientes, se tuvo que desconectar el equipo antes de terminar la prueba, por lo que esta prueba no era suficiente para evaluar el funcionamiento del sistema, obligando a una tercera prueba. Sin embargo en la segunda prueba ya se podían evidenciar mejoras en la duración del tiempo de secado del cacao.

- Con los datos obtenidos de las tres pruebas de secado, se procedió a comparar y analizar los datos, para evaluar el desempeño del secador solar pasivo, con la implementación de la mejora propuesta.
- Para dar a conocer los resultados obtenidos de este trabajo, se realizará un *paper* para ser entregado al DOCINADE, donde ellos podrán publicarlo en los medios de información correspondientes.

## 4.5. Reevaluación y rediseño

Por cuestiones de presupuesto se utilizó como control del sistema un termostato, una mejor alternativa de control del sistema sería un PLC ya que permitiría establecer horarios de trabajo para el sistema, además con acceso a internet se tendría la opción de ver en tiempo real las condiciones de temperatura y humedad, así como encender o apagar el sistema, ya que los PLC modernos tienen la opción de ser accedidos y monitoreados mediante aplicaciones para teléfonos inteligentes.

Utilizar un banco de baterías de mayor capacidad sería una buena alternativa para mejorar el funcionamiento del sistema, ya que permitiría mantener el funcionamiento de las termo resistencias por mayor tiempo. Adicionalmente se podría tener la opción de utilizar un inversor y agregarle a la cámara de secado un deshumidificador para optimizar el proceso de secado de granos.

# Capítulo 5

## Descripción detallada de la solución

Este capítulo muestra detalladamente una descripción de la solución implementada, se exponen los criterios tomados en cuenta para el diseño de la solución y se describe el hardware y software implementados en la solución.

### 5.1. Adquisición de datos

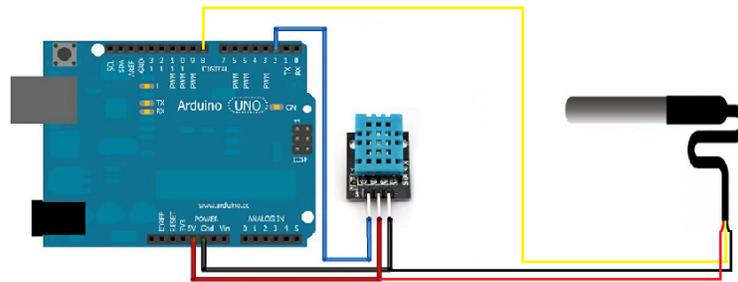
La adquisición de información es de gran relevancia en el proyecto, ya que a partir de los datos recolectados de temperatura y humedad se podrá evaluar el desempeño de la solución propuesta. Entre los puntos tomados en cuenta para la selección del microcontrolador y sensores a utilizar se encontraban, que fueran de fácil de conseguir, un funcionamiento aceptable y que tenga un buen precio.

Evaluando las opciones que se encuentran disponibles en el mercado de componentes para adquisición de datos, se selecciono el Arduino UNO como microcontrolador, sensor DS 18B20 como sensor de temperatura, el sensor DTH11 como sensor de humedad. Debido a que en el lugar donde se encuentra el secador solar pasivo no se cuenta con internet, se decide utilizar el *shield* SD *card* de Arduino con lo cual los datos se guardan en una memoria Micro SD en un archivo de texto donde después los datos son exportados a Excel.

Como se mencionó previamente el microcontrolador seleccionado para realizar la adqui-

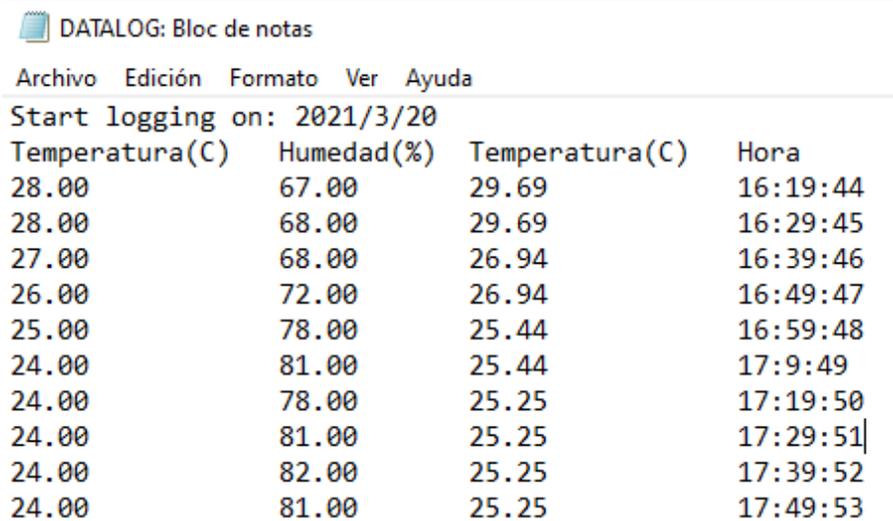
sición de datos de temperatura y humedad dentro de la cámara de secado fue el Arduino UNO, ya que es compatible con gran variedad de sensores, es de código abierto y es fácil de programar.

En la programación del Arduino se realizaron 3 funciones las cuales se basaron en ejemplos de internet. La primera función es la de adquisición de datos del sensor DHT11 donde el sensor registra la humedad y temperatura. La segunda función es del sensor DS 18B20 que censa la temperatura. La tercer función es la que se encarga de registrar los datos en la memoria microSD, concatena los datos de los dos sensores con la hora en que se registra la medicion que es cada diez minutos a partir de que se inicia el Arduino.



**Figura 5.1:** Diagrama de conexión de Arduino con los sensores DHT11 y DS 18B20.

**Fuente:** Autor.



Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
Start logging on: 2021/3/20				
Temperatura(C)	Humedad(%)	Temperatura(C)	Hora	
28.00	67.00	29.69	16:19:44	
28.00	68.00	29.69	16:29:45	
27.00	68.00	26.94	16:39:46	
26.00	72.00	26.94	16:49:47	
25.00	78.00	25.44	16:59:48	
24.00	81.00	25.44	17:9:49	
24.00	78.00	25.25	17:19:50	
24.00	81.00	25.25	17:29:51	
24.00	82.00	25.25	17:39:52	
24.00	81.00	25.25	17:49:53	

**Figura 5.2:** Visualización de los datos registrados en el archivo de texto.

**Fuente:** Autor.

## 5.2. Sistema fotovoltaico

La implementación del sistema fotovoltaico se da a partir de componentes previamente adquiridos por el DOCINADE para investigación, como lo son 2 paneles solares de 255W, 3 paneles solares de 270W, 1 batería 12V de ciclo profundo de gel de 110AH , controlador de carga de 45A y cable TGP 2x10.

La potencia máxima que se tiene con los paneles solares es de 1320W, dependiendo de la época del año se tendrá disponible entre 4kWh y 5.48kWh de energía generada por el sistema fotovoltaico, esto acorde con los resultados de las simulaciones realizadas que se evidencian en la figura 4.4, estos son valores teóricos, ya en la práctica dependerá de la radiación solar disponible diariamente.

Para optimizar el funcionamiento del sistema en la solución final, se decide trabajar el sistema fotovoltaico a 24V para mejorar el desempeño del sistema, para ello como se contaba con 2 baterías de 12V, se colocan en serie para logra los 24V del sistema. Al controlador no se le realiza ningún cambio, esté reconoce el voltaje de la batería y comprende el voltaje de trabajo del sistema estableciendo las condiciones precargadas de trabajo a ese voltaje, donde el controlador desconecta la carga de la batería cuando el voltaje de la misma es de 26.3V.

Para evitar el deterioro del sistema se establece el porcentaje de descarga máximo de las baterías a un 50 %, con base en la ecuación 3.1, donde partiendo que se tiene 100AH, se calcula la potencia con la que el sistema dispondrá para utilizar, con un voltaje nominal del sistema de 24V, autonomía de 1 día, porcentaje máximo de descarga de 0.5, con estos datos la potencia que se podrá disponer es de 1200W diarios para ser utilizados por los componentes del sistemas.

El controlador de carga de 45A es capaz de trabajar con los 5 paneles solares instalados, ya que la corriente máxima que estos pueden generar es de 43.11A. La conexión entre los paneles es en paralelo para evitar altas corrientes, además de que para realizar arreglos serie-paralelo, lo mejor es trabajar con paneles solares de la misma potencia y que el sistema sea balanceado.

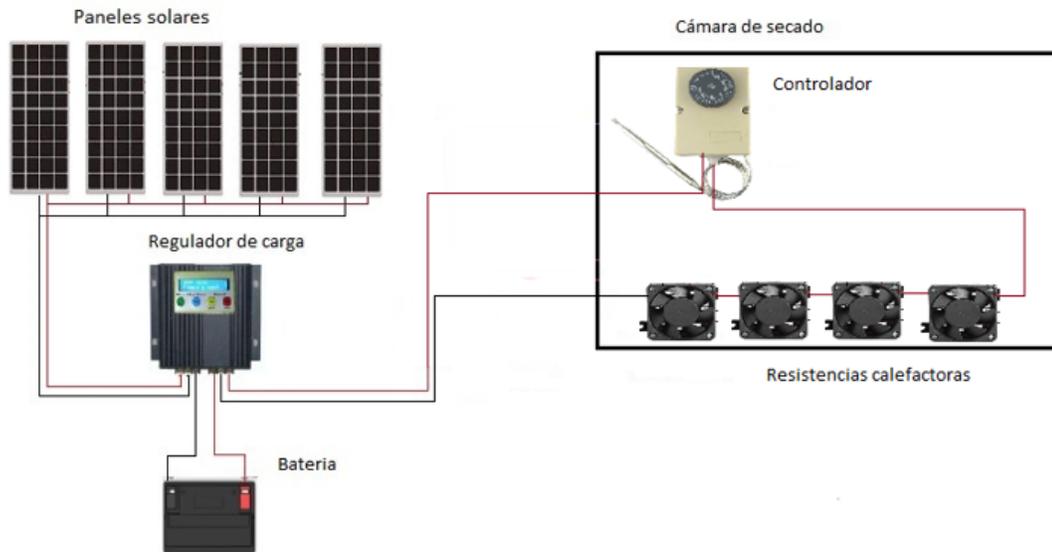
### 5.3. Sistema de calefacción

La calefacción dentro de la cámara del secador solar pasivo busca mantener una temperatura adecuada para el secado de productos agrícolas, en este caso semillas de cacao, también se debe tener en cuenta que la temperatura de secado varia dependiendo del tipo de producto. Para este proyecto se busca mantener la temperatura promedio diaria dentro de la cámara de secado por encima de los 30 grados celcius, para ello en la solución se implementan dos resistencias calefactoras de 300W y dos de 150W.

Entre las opciones para el control de temperatura del sistema se encontraban un PLC y el termostato. La selección final fue el termostato por precio y practicidad en la implementación, ya que la opción del PLC se salía del presupuesto, sin embargo es una muy buena alternativa ya que con el PLC se podrían establecer horarios de trabajo durante el día para aprovechar la energía excedente generada por los paneles solares que las baterías no pueden almacenar por estar llenas. El termostato por su parte cumple adecuadamente el control del sistema a partir de la temperatura que se establezca para el encendido o apagado.

Las resistencias calefactoras se colocaron en la parte inferior de la cámara de secado, para que el flujo de aire caliente sea ascendente entre las bandejas donde se coloca el

producto a secar o deshidratar, dentro de la cámara de secado se coloca el termostato con una temperatura de encendido de  $35^{\circ}\text{C}$ , lo que indica que al bajar la temperatura de este punto el sistema entra en funcionamiento y se apaga al llegar de nuevo a  $35^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 5.3:** Diagrama de la solución final implementada a 24V.

**Fuente:** Autor.

## 5.4. Beneficio económico

El proyecto se diseña e implementa partiendo de que ya se cuenta con el secador solar pasivo, que a manera de construirlo tiene un valor cercano a 1 000 000 de colones. El costo del proyecto se realizó con base en el presupuesto disponible por el DOCINADE, además de que ya se contaba con algunos de los componentes a utilizar, se cotizó el total de los componentes necesarios para implementar esta mejora.

La mejora busca aprovechar la utilización de energías amigables con el ambiente en el proceso de secado de granos, en donde el gasto por concepto de operación y mantenimiento sea el mínimo, para ello en la solución planteada se utiliza energía eléctrica generada por un sistema fotovoltaico, que requiere de mantenimiento aproximadamente cada 2 meses, el cual consiste en lavar los paneles con agua y una esponja para remover suciedad.

Con la implementación de esta solución, se podría contar prácticamente con energía suficiente para el funcionamiento del sistema todo el año, para llevar a cabo el proceso

de secado de granos, muchas veces los pequeños agricultores tienen variedad de cultivos en sus fincas como cacao, pimienta, maíz y frijoles entre otros productos, por lo que la implementación de este sistema les serviría en el secado de diferentes productos.

Determinar matemáticamente indicadores económicos como lo son el valor presente neto, tasa interna de retorno y periodo de pago, entre otros indicadores en este proyecto es difícil, porque el proyecto no es aplicado a una actividad económica en la cual se tengan los datos financieros y de producción para realizar el cálculo de estos indicadores. Con los datos obtenidos en este proyecto se puede evaluar la mejora en el funcionamiento del secador solar pasivo y con ello el productor pueda determinar si este sistema le es factible en su actividad productiva.

Componente	Cantidad	Precio unitario	Total
Bateria de gel solar EVEREXCEED 12V	2	₡ 195 000,00	₡ 390 000,00
Controlador de carga PWM 50A 12/24VDC EVEREXCEED	1	₡ 40 000,00	₡ 40 000,00
Cable fotovoltaico negro #10 AWG	50	₡ 760,00	₡ 38 000,00
MC4 Conector para panel solar	15	₡ 1 360,00	₡ 20 400,00
Panel solar JINKO 405W	3	₡ 79 630,00	₡ 238 890,00
Resistencia calefactora 250W	3	₡ 15 000,00	₡ 45 000,00
cable TGP 2x10	25	₡ 1 538,00	₡ 38 450,00
Instalacion, bases y otros gastos		₡ 220 000,00	₡ 220 000,00
Siemens LOGO 12/24 RCE	1	₡ 148 614,00	₡ 148 614,00
Termostato 16A	1	₡ 3 500,00	₡ 3 500,00
		<b>Total</b>	<b>₡1 179 354,00</b>
		<b>Total</b>	<b>₡1 034 240,00</b>

**Figura 5.4:** Costo de los componentes y mano de obra de la mejora al secador solar pasivo.

**Fuente:** Autor.

# Capítulo 6

## Análisis de resultados

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos de las 3 pruebas que se realizaron en el secador solar pasivo, donde la primera prueba corresponde al sistema sin ninguna modificación, la segunda y tercera prueba corresponden a las pruebas con la mejora implementada.

En las pruebas realizadas se utilizaron las siguientes cantidades de cacao, primera prueba 2,940 kg, segunda prueba 6,420 kg, tercera prueba 9,995 kg. Las muestras de cacao fermentado fueron facilitadas por el señor Edwin Sibaja productor de cacao, vecino de San Luis de Upala.

El cacao se colocó en bandejas donde se dividieron en muestras de 0,500 kg, las cuales fueron medidas mediante la utilización de una romana digital antes de ingresar al secador, diariamente durante los días de las pruebas se registraba el peso de las muestras, el cacao se extraía de la cámara de secado cuando alcanzaba un porcentaje de humedad inferior al 8 %, para ello se utilizó el medidor de humedad de granos G600i.

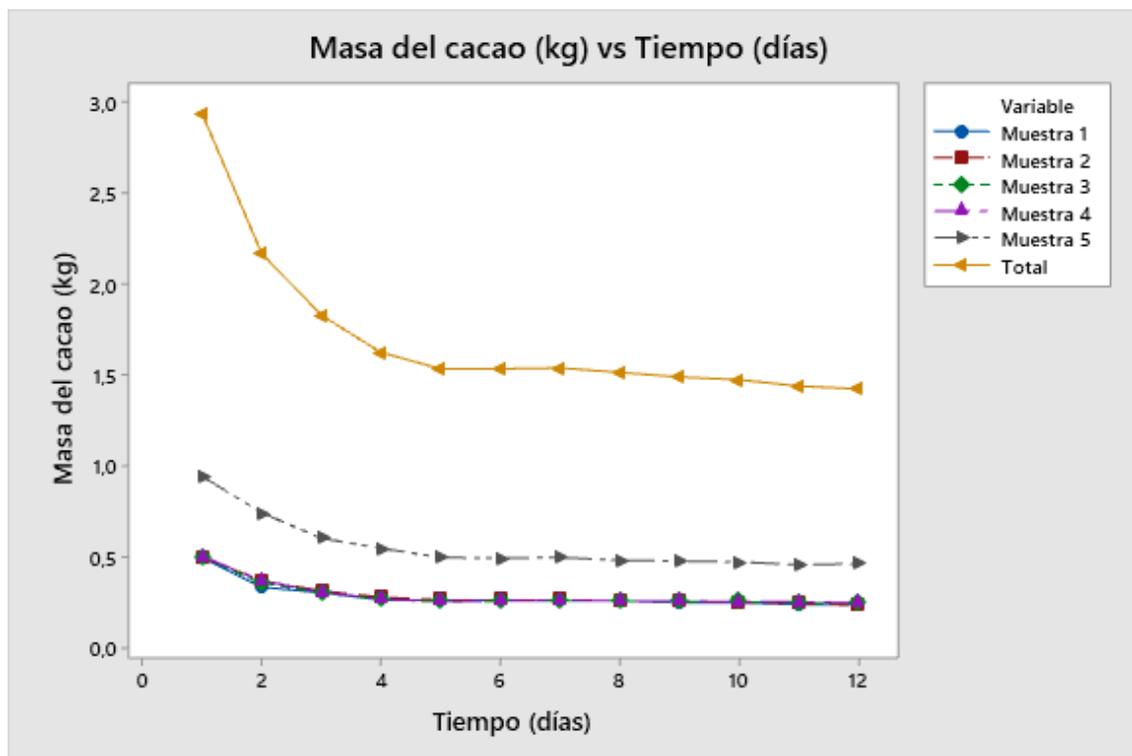
## 6.1. Resultados

### 6.1.1. Resultados sin la implementación de la mejora

Previo a la implementación de la mejora del secador solar pasivo se realizó la primera prueba para observar el funcionamiento del secador solar, mediante la distribución en bandejas de cuatro muestras de 0,500kg y una 0,940kg, se introducen en la cámara de secado. Se efectuó las mediciones de temperatura y humedad dentro de la cámara de secado, así como la medición de la masa de las muestras diariamente.

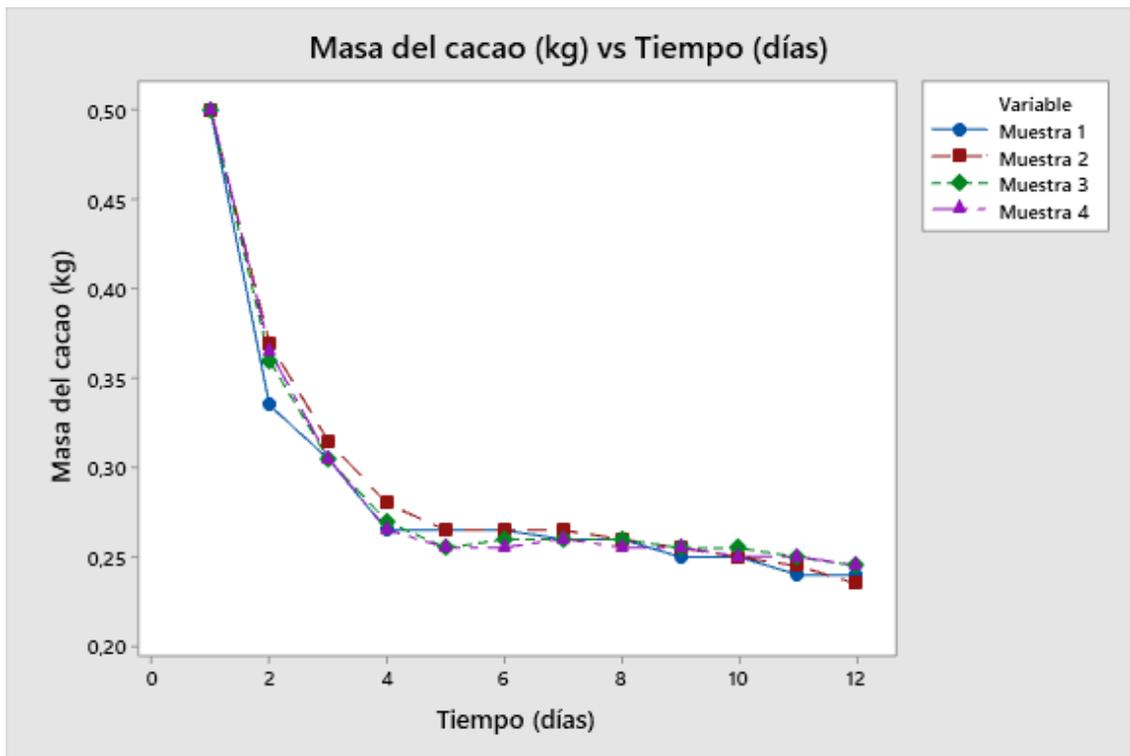
**Tabla 6.1:** Masa de las muestras de granos de cacao durante la prueba 1.

Fecha	21/5/2021	22/5/2021	23/5/2021	24/5/2021	25/5/2021	26/5/2021	27/5/2021	28/5/2021	29/5/2021	30/5/2021	31/5/2021	1/6/2021
	Masa (kg)											
Muestra 1	0,500	0,335	0,305	0,265	0,265	0,265	0,260	0,260	0,250	0,250	0,240	0,240
Muestra 2	0,500	0,370	0,315	0,280	0,265	0,265	0,265	0,260	0,255	0,250	0,245	0,235
Muestra 3	0,500	0,360	0,305	0,270	0,255	0,260	0,260	0,260	0,255	0,255	0,250	0,245
Muestra 4	0,500	0,365	0,305	0,265	0,255	0,255	0,260	0,255	0,255	0,250	0,250	0,245
Muestra 5	0,940	0,740	0,600	0,545	0,495	0,490	0,495	0,480	0,475	0,470	0,455	0,460
Total	2,940	2,170	1,830	1,625	1,535	1,535	1,540	1,515	1,490	1,475	1,440	1,425



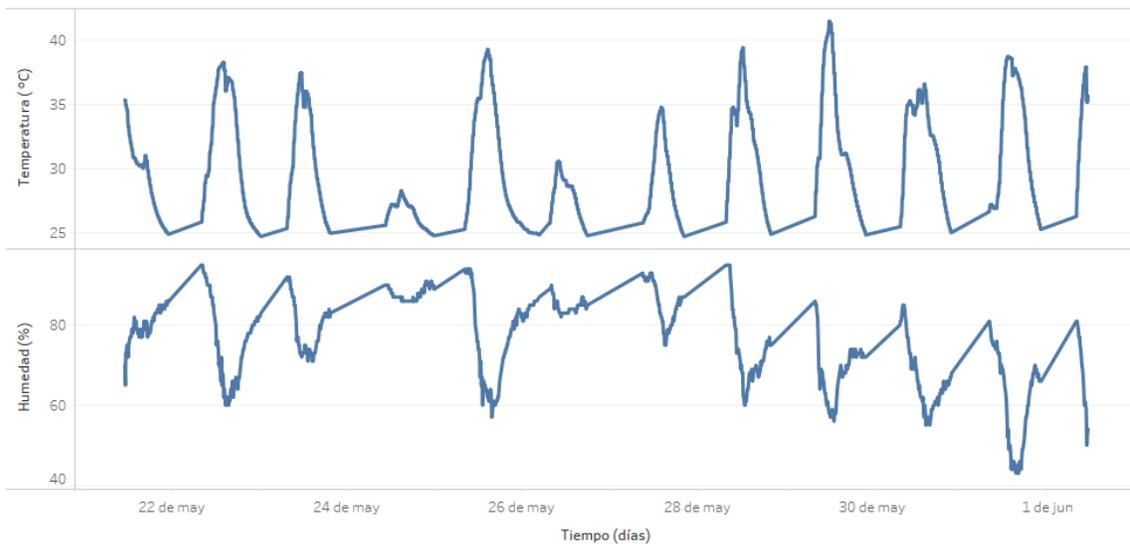
**Figura 6.1:** Variación del proceso de secado de las muestras de 0,500kg y el total de la muestra de granos de cacao en la prueba 1.

**Fuente:** Autor.



**Figura 6.2:** Variación del proceso de secado de las muestras de granos de cacao de 0,500kg en la prueba 1.

**Fuente:** Autor.



**Figura 6.3:** Comportamiento de la temperatura y humedad en la cámara de secado durante la prueba 1.

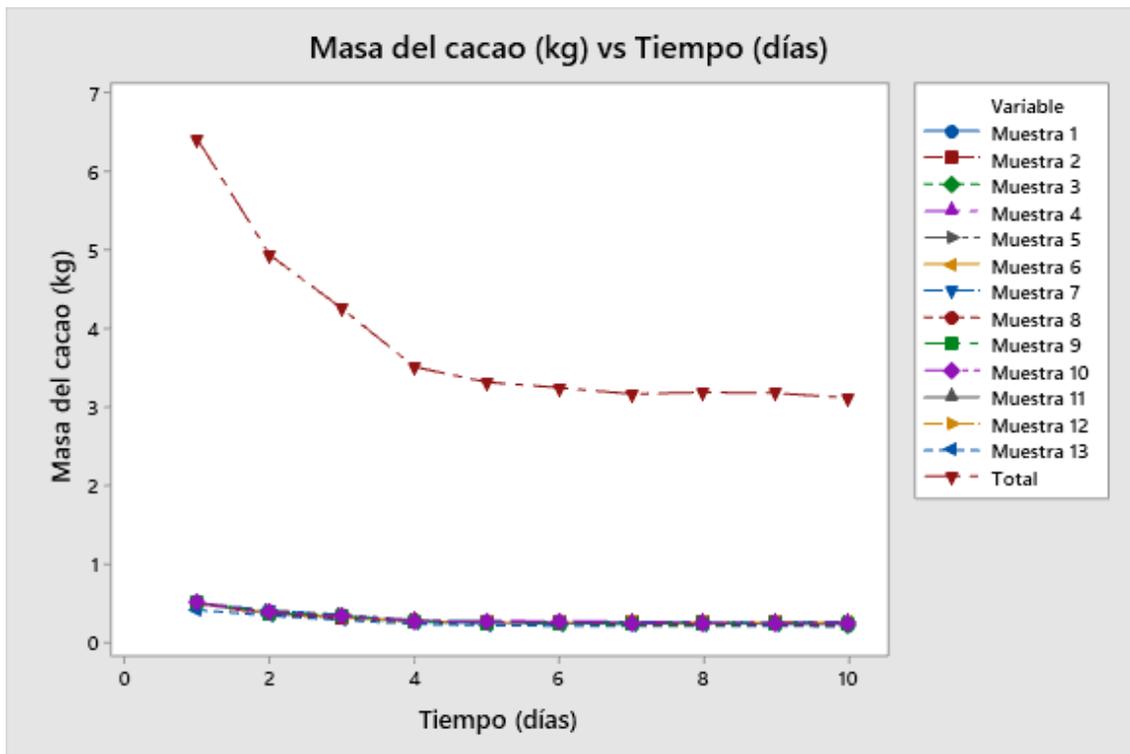
**Fuente:** Autor.

## 6.1.2. Resultados con la implementación de la mejora

### 6.1.2.1. Prueba con la carga del sistema fotovoltaico en paralelo

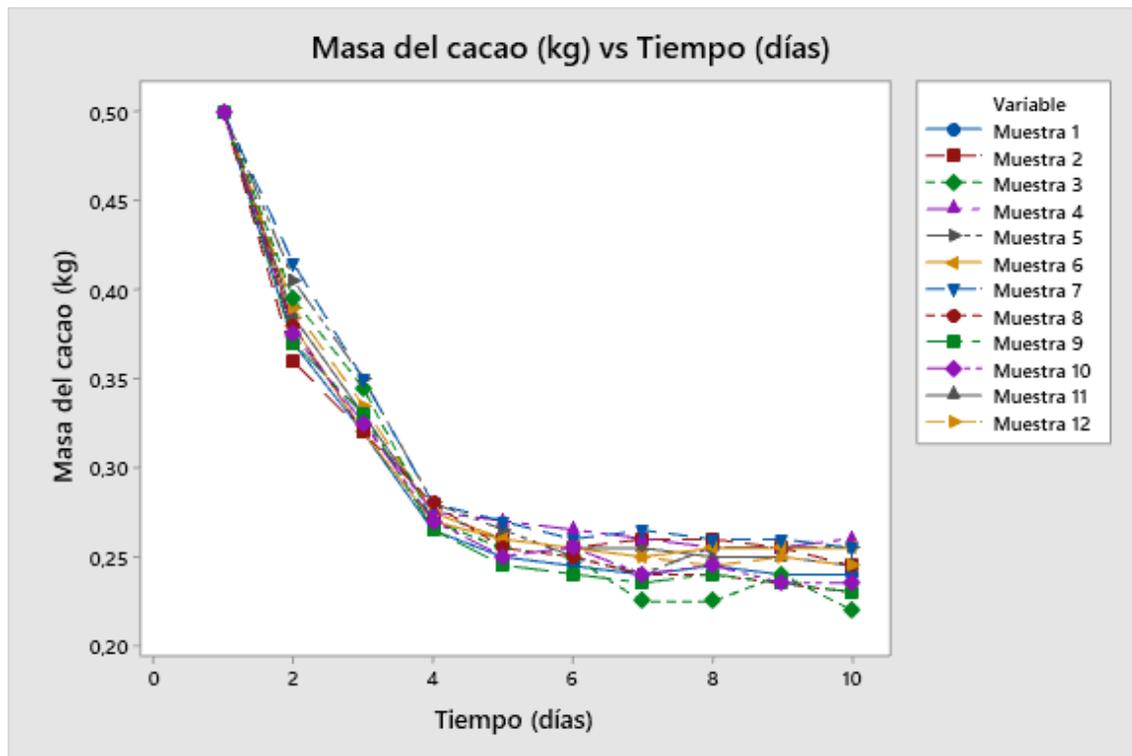
**Tabla 6.2:** Masa de las muestras de granos de cacao durante la prueba 2.

Fecha	4/6/2021	5/6/2021	6/6/2021	7/6/2021	8/6/2021	9/6/2021	10/6/2021	11/6/2021	12/6/2021	13/6/2021
	Masa (kg)									
Muestra 1	0,500	0,370	0,320	0,265	0,250	0,245	0,240	0,245	0,240	0,240
Muestra 2	0,500	0,360	0,320	0,270	0,260	0,255	0,260	0,260	0,255	0,245
Muestra 3	0,500	0,395	0,345	0,270	0,255	0,250	0,225	0,225	0,240	0,220
Muestra 4	0,500	0,375	0,325	0,275	0,270	0,265	0,260	0,255	0,255	0,260
Muestra 5	0,500	0,405	0,350	0,280	0,265	0,250	0,240	0,255	0,255	0,255
Muestra 6	0,500	0,380	0,320	0,270	0,260	0,255	0,250	0,255	0,255	0,255
Muestra 7	0,500	0,415	0,350	0,280	0,270	0,260	0,265	0,260	0,260	0,255
Muestra 8	0,500	0,380	0,320	0,280	0,255	0,250	0,240	0,240	0,235	0,230
Muestra 9	0,500	0,370	0,330	0,265	0,245	0,240	0,235	0,240	0,235	0,230
Muestra 10	0,500	0,375	0,325	0,270	0,250	0,255	0,240	0,245	0,235	0,235
Muestra 11	0,500	0,385	0,330	0,275	0,260	0,255	0,255	0,250	0,250	0,245
Muestra 12	0,500	0,390	0,335	0,275	0,260	0,255	0,250	0,245	0,250	0,245
Muestra 13	0,420	0,345	0,290	0,240	0,220	0,215	0,210	0,215	0,215	0,205
Total	6,420	4,945	4,260	3,515	3,320	3,250	3,170	3,190	3,180	3,120



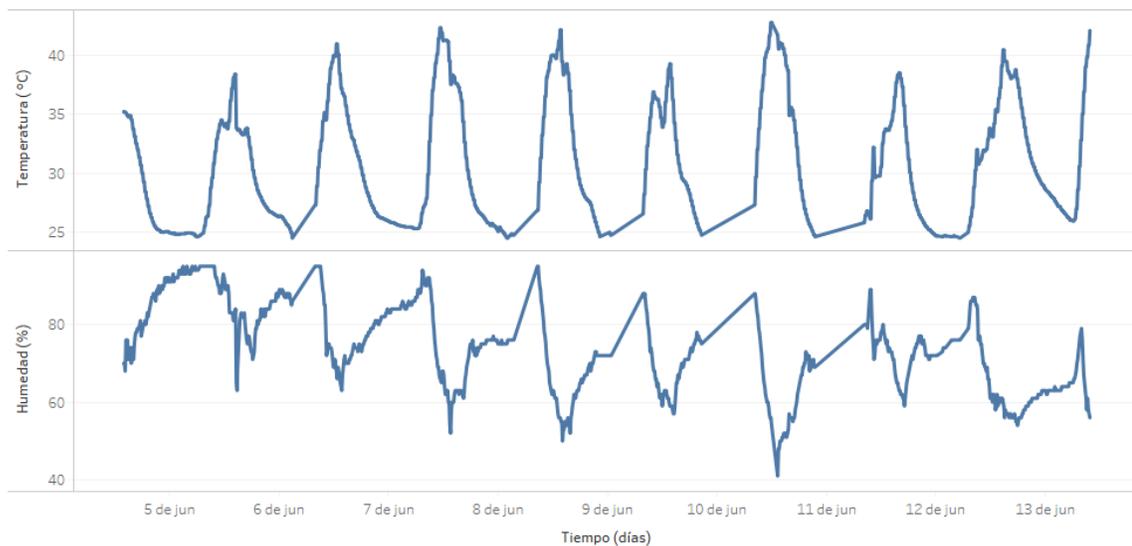
**Figura 6.4:** Variación del proceso de secado de las muestras de 0,500kg y el total de la muestra de granos de cacao en la prueba 3.

**Fuente:** Autor.



**Figura 6.5:** Variación del proceso de secado de las muestras de granos de cacao de 0,500kg en la prueba 2.

**Fuente:** Autor.



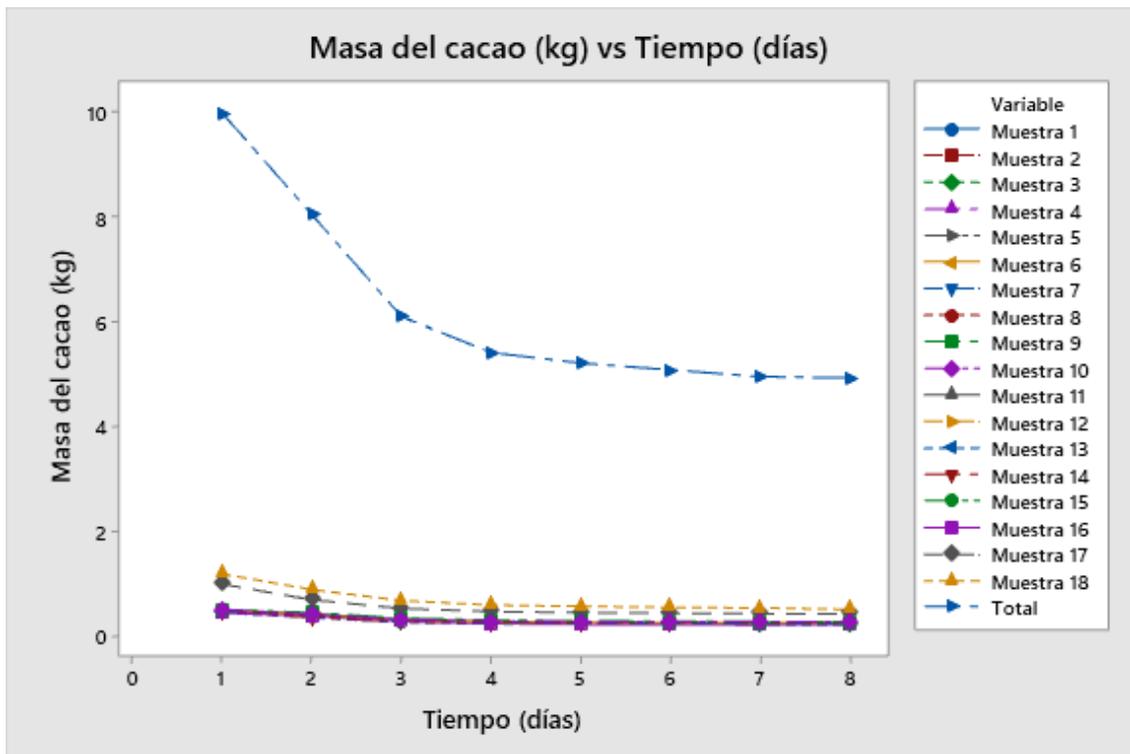
**Figura 6.6:** Comportamiento de la temperatura y humedad en la cámara de secado durante la prueba 2.

**Fuente:** Autor.

### 6.1.2.2. Prueba con la carga del sistema fotovoltaico en serie

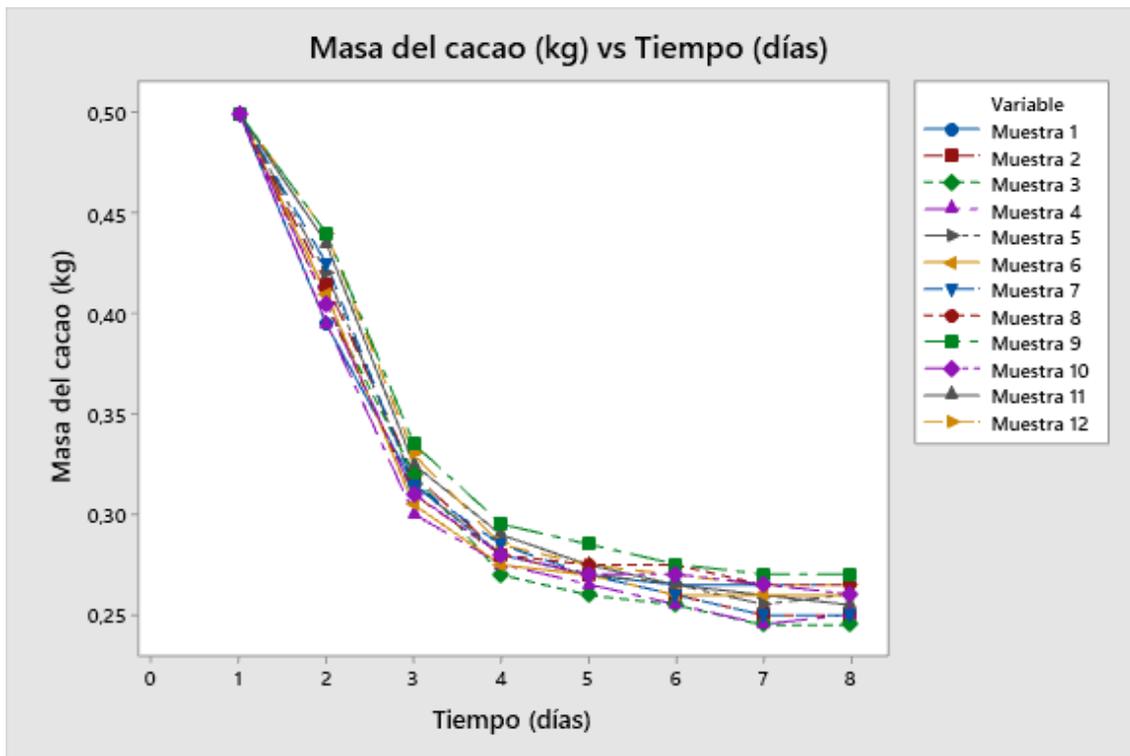
**Tabla 6.3:** Masa de las muestras de granos de cacao durante la prueba 3.

Fecha	17/6/2021	18/6/2021	19/6/2021	20/6/2021	21/6/2021	22/6/2021	23/6/2021	24/6/2021
	Masa (kg)							
Muestra 1	0,500	0,395	0,315	0,280	0,270	0,265	0,265	0,265
Muestra 2	0,500	0,415	0,320	0,280	0,270	0,260	0,250	0,250
Muestra 3	0,500	0,405	0,320	0,270	0,260	0,255	0,245	0,245
Muestra 4	0,500	0,395	0,300	0,275	0,265	0,255	0,245	0,250
Muestra 5	0,500	0,420	0,315	0,280	0,270	0,265	0,255	0,260
Muestra 6	0,500	0,410	0,305	0,275	0,270	0,260	0,260	0,260
Muestra 7	0,500	0,425	0,315	0,285	0,270	0,260	0,250	0,250
Muestra 8	0,500	0,405	0,310	0,280	0,275	0,275	0,265	0,265
Muestra 9	0,500	0,440	0,335	0,295	0,285	0,275	0,270	0,270
Muestra 10	0,500	0,405	0,310	0,280	0,270	0,270	0,265	0,260
Muestra 11	0,500	0,435	0,325	0,290	0,275	0,265	0,260	0,255
Muestra 12	0,500	0,440	0,330	0,285	0,275	0,270	0,265	0,265
Muestra 13	0,450	0,360	0,265	0,240	0,235	0,230	0,220	0,220
Muestra 14	0,450	0,345	0,260	0,235	0,230	0,225	0,220	0,215
Muestra 15	0,450	0,375	0,275	0,245	0,235	0,230	0,220	0,220
Muestra 16	0,450	0,390	0,285	0,245	0,230	0,225	0,220	0,230
Muestra 17	1,000	0,700	0,535	0,475	0,455	0,445	0,435	0,435
Muestra 18	1,195	0,895	0,685	0,600	0,575	0,550	0,545	0,515
Total	9,995	8,055	6,105	5,415	5,215	5,085	4,955	4,930



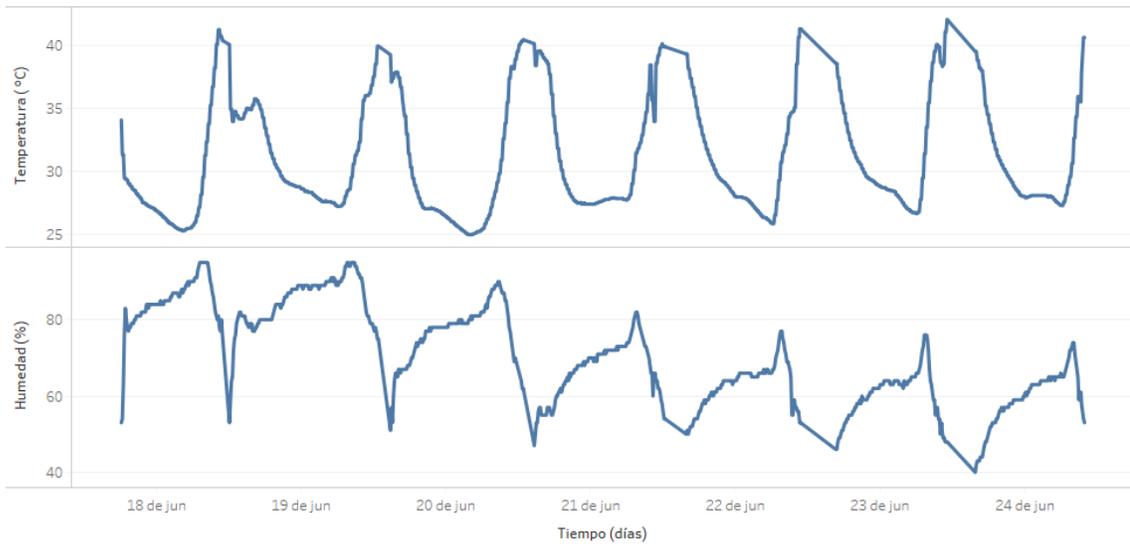
**Figura 6.7:** Variación del proceso de secado de las muestras de 0,500kg y el total de la muestra de granos de cacao en la prueba 3.

**Fuente:** Autor.



**Figura 6.8:** Variación del proceso de secado de las muestras de granos de cacao de 0,500kg en la prueba 3.

**Fuente:** Autor.



**Figura 6.9:** Comportamiento de la temperatura y humedad en la cámara de secado durante la prueba 3.

**Fuente:** Autor.

## 6.2. Análisis de resultados

En este proyecto se propuso mejorar el funcionamiento del secador solar pasivo del DO-CINADE, mediante el desarrollo de un sistema que permitiera controlar la temperatura dentro de la cámara de secado en horas críticas del día donde la temperatura desciende considerablemente, favoreciendo la absorción de humedad del producto que se está procesando, para ello se establecieron objetivos que permitieran llevar a cabo una solución eficiente en el funcionamiento, y factible económicamente .

En la solución inicial se planteó el funcionamiento a 12V del sistema, con una disponibilidad de energía de 1200W, partiendo de los resultados de las simulaciones donde se estimaban pérdidas del 6,6% ,se tenía calculado una autosuficiencia del sistema de 4 horas, sin embargo los problemas presentados por altas corrientes redujeron este tiempo a la mitad. Al estar el sistema funcionado en el día debido a que la temperatura en la cámara de secado estaba por debajo de los 35°C, se consume la energía almacenada en las baterías, por lo que el sistema no podrá trabajar en las noches, esto hace que no se cumpla con el objetivo de controlar la temperatura del sistema en horas críticas como la noche.

La solución final implementada (Figura 5.3.), está basada en la utilización de un sistema fotovoltaico, que genera la energía por medio de 5 paneles solares con una potencia máxima de 1320W. Esta energía eléctrica es almacenada en un banco de baterías de 100Ah a 24VDC, para finalmente ser aprovechada en las resistencias calefactoras que se encargan de generar calor dentro de la cámara de secado. Con los cambios realizados se conservan los 1200W de energía disponibles para funcionamiento del sistema. Se incrementa la autonomía a 12 horas, con lo que la mejora podría funcionar durante lapsos del día y tener energía disponible para ser usada en la noche.

Evidenciando el funcionamiento de la mejora se observa que el consumo de corriente máximo del sistema es de 6.5A, lo cual es muy bueno, ya que no hay sobre corrientes a la hora de que el sistema funciona, permitiendo prologar la vida útil de los componentes. Adicional a esto, en corriente directa es peligroso para los usuarios y componentes tener corrientes altas ya que puede provocar accidentes.

Con los datos obtenidos en la primera prueba, se evidencia el funcionamiento del secador solar pasivo, donde el período de secado de la muestra de cacao tuvo una duración de 12 días para alcanzar un nivel de humedad por debajo del 8 %, el registro de la variación del peso de la muestra se observa en la Tabla 6.1., y en la Figura 6.1 la gráfica de la masa con respecto al tiempo de secado en días. La humedad promedio registrada fue de 78,22 %, la mínima de 43 % y máxima de 95 %, con respecto a las temperaturas se tuvo un promedio de 27,59°C, mínima de 20,75°C y máxima de 41,44°C, en la Figura 6.3 se evidencia el comportamiento de la temperatura y humedad durante la prueba, estos datos son la base para comparar el funcionamiento de la mejora implementada.

Con la implementación de la mejora inicial propuesta, se realiza la segunda prueba, en donde se usaron 6,420Kg de cacao para evaluar el funcionamiento del secador, obteniendo una duración en el tiempo de secado de 10 días con una temperatura promedio de 29,42°C y humedad promedio de 74,02 %, estos datos se evidencian en la Figura 6.6. En esta prueba el sistema se desconectó por problemas con altas corrientes.

Analizando el sistema se detecta que las altas corrientes se están produciendo por la conexión de las resistencias calefactoras en paralelo. Para corregir el problema se modifica la conexión de paralelo a serie, se cambia el voltaje del sistema de 12V a 24V, con estos cambios el problema se soluciona, permitiendo el funcionamiento adecuado.

En la tercer prueba de secado se emplearon 9,995Kg de cacao, se obtuvo un tiempo de secado de 8 días, en esta prueba se logró una temperatura promedio de 31,93°C y una humedad promedio de 68,85 %, en la Tabla 6.3 se observan los cambios diarios del peso de cacao en la prueba.

Con base en los resultados obtenidos en las pruebas realizadas, se evidencia una mejora en el funcionamiento del secador solar de 16,66 % de la segunda prueba con respecto a la primera, y de 33,33 % de la tercer prueba a la primera, con respecto a los tiempos de secado de cacao, lo cual indica que se logra el objetivo de mejorar el funcionamiento del secador solar pasivo.

La mejora implementada permitió incrementar la temperatura promedio de la cámara de secado por encima de 30°C, lo que permite un secado más rápido del cacao con respecto al secador solar pasivo sin la mejora realizada, al aumentar la temperatura se reduce la

humedad dentro de la cámara de secado, esto se puede observar en (Figura 6.3., Figura 6.6., Figura 6.9.), donde la humedad al incrementar la temperatura disminuye, y al disminuir la temperatura la humedad aumenta. Para determinar la viabilidad de implementar la mejora en el secador solar pasivo, se consultó con el señor Edwin Sibaja quien cuenta con un secador solar igual al del DOCINADE, el señor Sibaja cuenta con un área en producción de cacao de 2,5 hectáreas, en el año 2020 registro una producción de 4855 kg de cacao fermentado con un costo de producción de 440 colones por kilogramo, con pérdidas del 20 % en el proceso de secado, un precio de venta de 2200 colones el kilogramo de cacao seco, el rendimiento del cacao fermentado a seco es del 49 %, el costo de producción por cada kilogramo de cacao seco es de 1200 colones.

Con base en estos datos se tiene:

- El 20 % de la producción que se pierde al año se traducen en 971 kg de cacao fermentado, lo cual serían 475,79 kg de cacao seco.
- El no aprovechamiento de los 971 kg de cacao significan 427 240 colones de gastos de producción, y se deja de percibir ganancias por un monto de 475 790 colones.

Consultando en la cooperativa Copelecheros RL sobre la tasa de interés de prestamos de los fondos para banca para el desarrollo se tiene una tasa fija del 10 % a un plazo de hasta 5 años. Para realizar la mejora planteada en este proyecto el monto de dinero necesario es de 1 034 240 colones, si se plantea un préstamo bajo las condiciones anteriormente mencionadas a un plazo de 3 años la cuota mensual sería de 33 372 colones. La inversión en el sistema se pagaría con el aprovechamiento de ese 20 % que actualmente son pérdidas, adicionalmente quedarían ganancias por un monto de 75 326 colones anuales.

El costo-beneficio de implementar ésta mejora en un secador solar pasivo, dependerá del volumen de producto que se debe procesar, este secador tiene una capacidad de 250 kg de producto en su cámara de secado, con lo que con la implementación del sistema de apoyo podría procesar 500 kg de cacao mensuales para un total de 6000 kg al año, ya para cantidades mayores de cacao se recomendaría un secador solar híbrido, cabe destacar que la producción de cacao no se da de forma lineal durante el año, hay épocas donde se tienen picos en la producción.

Con una mejora de este tipo, el secador solar pasivo no dependerá completamente de tener un buen día de sol para funcionar eficientemente, teniendo tiempos fijos de secado se puede programar mejor las actividades que se deben llevar a cabo en el proceso de un determinado producto, por ejemplo el cacao se cosecha y debe esperar una semana mientras se de el fermentado de la semilla, después de esa semana comienza el proceso de secado, que en un invernadero dura alrededor de 15 días con buenas condiciones climáticas, si al cabo de esos 15 días no se pudo secar bien el cacao, la producción se atrasa incurriendo en posibles pérdidas, que se podrían evitar teniendo un sistema de secado eficiente.

# Capítulo 7

## Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo se exponen las conclusiones obtenidas con el desarrollo del proyecto y las recomendaciones para futuras mejoras a implementar.

### 7.1. Conclusiones

- Se logra la implementación de un sistema de apoyo al secador solar pasivo, para mejorar la eficiencia del mismo con la utilización de la energía generada por un sistema fotovoltaico.
- El sistema alcanza las condiciones de temperatura adecuadas para el secado de semillas de cacao.
- El sistema obtiene un secado homogéneo de la semilla de cacao evitando la aparición de hongos.
- La implementación del sistema es viable económicamente para una actividad productiva donde el uso del secador solar pasivo sea frecuente y un estudio económico respalde su puesta en marcha.
- La solución implementada puede ser reproducida en otros secadores solares pasivos debido a que no realiza modificaciones en sus estructuras.

## 7.2. Recomendaciones

- Investigar sobre la factibilidad de acoplarle un deshumidificador al sistema para la extracción de humedad dentro de la cámara de secado.
- Realizar una prueba del sistema con el secador solar pasivo con la máxima capacidad de la cámara de secado para corroborar el funcionamiento bajo estas condiciones.
- Realizar la limpieza de los paneles solares y el colector solar cada dos meses para maximizar la eficiencia del sistema.
- Revisar periódicamente los componentes electrónicos para verificar su buen funcionamiento.
- Implementar un controlador lógico programable (PLC) como control del sistema, con lo que se pueda establecer horarios de trabajo del sistema.

# Bibliografía

- [1] Ministerio de la Presidencia de Costa Rica, *Meta de carbono neutralidad para el 2021 se mantiene y fortalece*, 3/04/2021. dirección: <https://www.presidencia.go.cr/comunicados/2016/09/meta-de-carbono-neutralidad-para-el-2021-se-mantiene-y-fortalece/>.
- [2] T. Guzmán y J. Obando, *Uso de tecnología solar en actividades agropecuarias de la Región Huetar Norte de Costa Rica, II Parte*, 2019.
- [3] JA Solar, *Data Sheet JAM 78S10 435-45/MR*. dirección: <https://www.jasolar.com/uploadfile/2020/0508/20200508101149946.pdf>.
- [4] J. Arancibia, *Análisis de confiabilidad condicional y vida remanente esperada en paneles solares fotovoltaicos para la aplicación de modelo de mantenimiento basado en condición*, Chile, 2019.
- [5] T. Guzmán, F. Araya, M. Rivero, G. Castro, J. Obando y J. Ortega, *Uso de tecnología solar en actividades agropecuarias de la Región Huetar Norte de Costa Rica, Parte I*, 2016.
- [6] Organización de Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, *Secado de los granos*, 3/04/2021. dirección: <http://www.fao.org/3/x5027s/x5027S05.htm>.
- [7] R. Liendo, *El secado de cacao*, Venezuela, 2005.
- [8] E. Lucas, *Alimentos y inocuidad. Su importancia para los países de América Latina y el Caribe*, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2020.

- [9] M. Tapia e I. Arispe, *Inocuidad y calidad: requisitos indispensables para la protección de la salud de los consumidores*, Universidad de los Andes, Venezuela, 2007.
- [10] T. Guzmán, F. Araya, N. Arce, G. Castro, J. Obando, J. Ortega y D. Rodríguez, *Aplicación de Tecnologías Solares Térmicas Híbridas para la deshidratación y secado de productos agrícolas en la Región Huetar Norte*, Ventana, 2017.
- [11] McGraw-Hill, *Componentes de una instalación solar fotovoltaica*, 2018.
- [12] L. Suarez y W. Eduardo, *Propuesta de Diseño de un Sistema de Energía Solar Fotovoltaica. Caso de Aplicación en Casa Comunal de Cooperativa Los Paracaidistas en la Ciudad de Guayaquil*, 2020.
- [13] S. Camacho y O. Ramírez, *Diseño de un secador para café mediante el calentamiento del aire en dos etapas utilizando energía solar*, Universidad de Costa Rica, 2015. dirección: <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/3125/1/38678.pdf>.
- [14] E. Vela, *Estudio experimental de la eficiencia energética de calefactores cerámicos dopados*, Universidad Politécnica de Valencia, España, 2014.
- [15] H. Martínez, *Modulo didactico para practicas de laboratorio con controladores lógicos programables*, Universidad Autónoma de Nuevo León, 2015.
- [16] V. Hernández, *Implementación y monitoreo de un sistema Anticongelante para una celda dinamométrica*, Instituto Politécnico Nacional, México, 2010.
- [17] L. Sierra, *Diseño del sistema de medición y despliegue de temperatura con el sensor DS18B20 mediante el protocolo de transmisión 1-wire*, Universidad San Carlos de Guatemala, 2017.
- [18] S. Lazcano, *Sistema de control y monitoreo para evitar hipertermia y deshidratación en las personas que realizan actividad física*, Universidad Técnica de Ambito, Ecuador, 2017.
- [19] C. Tapia y H. Manzano, *Evaluación de la plataforma arduino e implementación de un sistema de control de posiciones horizontal*, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, 2013.
- [20] Arduino, *Arduino Products*, 24/02/2021. dirección: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>.

- 
- [21] How to Mechatronics, *Arduino SD Card and Data Logging Tutorial*, 27/02/2021. dirección: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-sd-card-data-logging-excel-tutorial/>.
- [22] Arduino, *How to use dht11 with Arduino*, 27/02/2021. dirección: <https://create.arduino.cc/projecthub/pibots555/how-to-connect-dht11-sensor-with-arduino-uno-f4d239>.
- [23] HETPRO, *Sensor de temperatura DS18B20 con Arduino*, 27/02/2021. dirección: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/sensor-de-temperatura-ds18b20/>.

# Apéndice A

## Glosario, abreviaturas y simbología

### Glosario

- **Sistema solar de termosifón:** Instalación solar que utiliza los cambios de densidad del aire o agua para conseguir su circulación entre el captador y el acumulador, o entre el captador y el intercambiador de calor.
- **Relés electromagnéticos:** Es un interruptor accionado por un electroimán. La corriente pasa por la bobina generando una fuerza electromotriz, que permite abrir o cerrar los contactos del relé.
- **Efecto Joule:** Se conoce como efecto Joule al fenómeno por el cual si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor y debido a los choques que sufren con los átomos del material del conductor, se elevando la temperatura del mismo.
- **Tarjeta de memoria SD:** Es una tarjeta de memoria flash extraíble que se utiliza para almacenar información en dispositivos portátiles.

### Abreviaturas

- **DOCINADE:** Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo.
- **PLC:** Controlador lógico programable

Simbología

- **A:** Amperios
- **AH:** Amperios hora
- **V:** Voltios
- **VDC:** Voltaje de corriente directa
- **W:** Watts
- **Wp:** Watts pico
- **HSP:** Horas de sol pico
- **°C:** Grados celsius
- **kg:** Kilogramos

# Apéndice B

## Cálculos matemáticos de la viabilidad económica de la implementación de la solución planteada

### B.1. Datos de la unidad productiva

- 2.5 hectáreas en producción de cacao
- Producción anual de 4855 kg de cacao fermentado
- Perdidas del 20% (971 kg)
- Costo de producción por kilogramo de cacao seco de 1200 colones
- precio de venta del cacao seco 2200 colones

## **B.2. Cálculos matemáticos**

$(971)(440) = 427\,240$  colones de costo de producción de cacao fermentado.

$(971)(0,49) = 475,79$  kg de cacao seco al aprovechar el 20 % que se tiene de perdidas.

$(475,79)(1200) = 570\,948$  colones de costo de producción de 475,79 kg de cacao seco.

$(475,79)(2200) = 1\,046\,738$  colones de posibles ingresos al aprovechar el 20 % que se tiene de perdidas.

$(1\,046\,738) - (570\,948) = 475\,790$  colones de posibles ganancias antes del pago del préstamo al aprovechar el 20 % que se tiene de perdidas.

$(33\,372)(12) = 400\,464$  colones de cuota anual del préstamo a 3 años.

$(475\,790) - (400\,464) = 75\,326$  colones de posibles ganancias anuales después del pago del préstamo al aprovechar el 20 % que se tiene de perdidas.

# Apéndice C

## Componentes instalados



**Figura C.1:** Conexión del regulador de carga y las baterías.

**Fuente:** Autor.



**Figura C.2:** Paneles solares utilizados en el proyecto.

**Fuente:** Autor.



**Figura C.3:** Cámara de secado con la impremeditación de la mejora.

**Fuente:** Autor.



**Figura C.4:** Muestras de cacao fermentado listo para el proceso de secado.

**Fuente:** Autor.



**Figura C.5:** Muestra de cacao con el proceso de secado finalizado.

**Fuente:** Autor.



**Figura C.6:** Medidor de humedad de granos G600i.

**Fuente:** Autor.

## Apéndice D

Código de programación para la  
medición de humedad y temperatura  
en el microcontrolador Arduino

```
#include <OneWire.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"

////////

#include <dht.h>
dht DHT;
#define DHT11_PIN 2

////////

const int chipSelect = 10; //cs or the save select pin from the sd shield is connected to 10.
RTC_DS1307 RTC;
float celsius, fahrenheit;

OneWire ds(8); // temperature sensor on pin 8 (a 4.7K resistor is necessary) //

File dataFile;
DateTime now;

void setup(void) {
  Serial.begin(9600);
  //setup clock
  Wire.begin();
  RTC.begin();
  //check or the Real Time Clock is on
  if (! RTC.isrunning()) {
    Serial.println("RTC is NOT running!");
    // following line sets the RTC to the date & time this sketch was compiled
    // uncomment it & upload to set the time, date and start run the RTC!
    RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
  }
  //setup SD card
  Serial.print("Initializing SD card...");

  // see if the SD card is present and can be initialized:
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.println("Card failed, or not present");
    // don't do anything more:
    return;
  }
  Serial.println("card initialized.");

  //write down the date (year / month / day          prints only the start, so if the logger runs for :
  now = RTC.now();
  dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
  dataFile.print("Start logging on: ");
  dataFile.print(now.year(), DEC);
  dataFile.print('/');
  dataFile.print(now.month(), DEC);
  dataFile.print('/');
  dataFile.print(now.day(), DEC);
  dataFile.println(" ");
  dataFile.println("Temperatura(C)  Humedad(%)  Temperatura(C)  Hora");
  dataFile.close();
}
```

Figura D.1: Código del programa de adquisición de datos en Arduino

Fuente: [21], [22], [23].

```
void loop(void) {
  DHT.read11(DHT11_PIN);///// lectura sensor dht

  // read temperature
  pickUpTemperature();
  //read the time
  now = RTC.now();

  //open file to log data in.
  dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);

  // if the file is available, write to it:
  // log the temperature and time.
  if (dataFile) {
    dataFile.print(DHT.temperature);///temperatura
    dataFile.print("      ");
    dataFile.print(DHT.humidity);/// humedad
    dataFile.print("      ");
    dataFile.print(celsius);
    dataFile.print("      ");

    dataFile.print(now.hour(),DEC);
    dataFile.print(":");
    dataFile.print(now.minute(),DEC);
    dataFile.print(":");
    dataFile.println(now.second(),DEC);

    dataFile.close();
    // print to the serial port too:
    Serial.println("data stored");
  }
  // if the file isn't open, pop up an error:
  else {
    Serial.println("error opening datalog.txt");
  }
  delay(600000); // this will log the temperature every 10 minutes.
}
```

**Figura D.2:** Código del programa de adquisición de datos en Arduino.

**Fuente:** [21], [22], [23].

```
// fuction with check the temperature sensor and update the teperature.
void pickUpTemperature() {
    byte i;
    byte present = 0;
    byte type_s;
    byte data[12];
    byte addr[8];

    if ( !ds.search(addr) ) {
        //Serial.println("No more addresses.");
        //Serial.println();
        ds.reset_search();
        delay(250);
        return;
    }

    //Serial.print("ROM =");
    for( i = 0; i < 8; i++) {
        // Serial.write(' ');
        // Serial.print(addr[i], HEX);
    }

    if (OneWire::crc8(addr, 7) != addr[7]) {
        Serial.println("CRC is not valid!");
        return;
    }
}
```

**Figura D.3:** Código del programa de adquisición de datos en Arduino.

**Fuente:** [21], [22], [23].

```

Serial.println();

// the first ROM byte indicates which chip
switch (addr[0]) {
  case 0x10:
    // Serial.println(" Chip = DS18S20"); // or old DS1820
    type_s = 1;
    break;
  case 0x28:
    // Serial.println(" Chip = DS18B20");
    type_s = 0;
    break;
  case 0x22:
    // Serial.println(" Chip = DS1822");
    type_s = 0;
    break;
  default:
    // Serial.println("Device is not a DS18x20 family device.");
    return;
}

ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0x44, 1); // start conversion, with parasite power on at the end

delay(1000); // maybe 750ms is enough, maybe not
// we might do a ds.depower() here, but the reset will take care of it.

present = ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0xBE); // Read Scratchpad
for ( i = 0; i < 9; i++) { // we need 9 bytes
  data[i] = ds.read();
  // Serial.print(data[i], HEX);
  // Serial.print(" ");
}
int16_t raw = (data[1] << 8) | data[0];
if (type_s) {
  raw = raw << 3; // 9 bit resolution default
  if (data[7] == 0x10) {
    // "count remain" gives full 12 bit resolution
    raw = (raw & 0xFFF0) + 12 - data[6];
  }
} else {
  byte cfg = (data[4] & 0x60);
  // at lower res, the low bits are undefined, so let's zero them
  if (cfg == 0x00) raw = raw & ~7; // 9 bit resolution, 93.75 ms
  else if (cfg == 0x20) raw = raw & ~3; // 10 bit res, 187.5 ms
  else if (cfg == 0x40) raw = raw & ~1; // 11 bit res, 375 ms
  //// default is 12 bit resolution, 750 ms conversion time
}
celsius = (float)raw / 16.0;
fahrenheit = celsius * 1.8 + 32.0;
Serial.print(" Temperature = ");
Serial.print(celsius);
Serial.print(" Celsius, ");
Serial.print(fahrenheit);
Serial.println(" Fahrenheit");
}

```

Figura D.4: Código del programa de adquisición de datos en Arduino.

Fuente: [21], [22], [23].

# Apéndice E

## Medición de temperatura y humedad en la cámara de secado

Tabla E.1: Mediciones de temperatura y humedad durante la prueba 1.

Fecha	T1 (C)	H (%)	T2 (C)
21/5/2021 11:01	34,00	70,00	35,31
21/5/2021 12:05	33,00	75,00	33,25
21/5/2021 13:05	31,00	79,00	31,44
21/5/2021 14:05	30,00	81,00	30,62
21/5/2021 15:05	30,00	78,00	30,19
21/5/2021 16:06	29,00	79,00	30,00
21/5/2021 17:06	30,00	80,00	30,56
21/5/2021 18:06	28,00	79,00	28,62
21/5/2021 19:06	27,00	82,00	27,25
21/5/2021 20:06	26,00	84,00	26,31
21/5/2021 21:06	25,00	84,00	25,69
21/5/2021 22:06	25,00	85,00	25,25

21/5/2021 23:06	25,00	86,00	24,87
22/5/2021 00:06	24,00	87,00	24,56
22/5/2021 01:06	24,00	86,00	24,19
22/5/2021 02:07	24,00	86,00	23,87
22/5/2021 03:07	23,00	87,00	23,69
22/5/2021 04:07	23,00	88,00	23,50
22/5/2021 05:07	23,00	89,00	23,44
22/5/2021 06:07	23,00	89,00	23,44
22/5/2021 07:07	24,00	91,00	24,12
22/5/2021 08:07	25,00	95,00	25,81
22/5/2021 09:07	27,00	92,00	28,87
22/5/2021 10:07	29,00	90,00	29,81
22/5/2021 11:07	31,00	85,00	33,19
22/5/2021 12:08	34,00	75,00	36,25
22/5/2021 13:08	36,00	69,00	37,88
22/5/2021 14:08	36,00	62,00	38,25
22/5/2021 15:07	35,00	62,00	36,44
22/5/2021 16:07	36,00	64,00	36,81
22/5/2021 17:07	34,00	65,00	35,50
22/5/2021 18:07	31,00	66,00	32,13
22/5/2021 19:07	28,00	72,00	28,94
22/5/2021 20:07	27,00	76,00	26,94
22/5/2021 21:07	26,00	78,00	26,06
22/5/2021 22:08	25,00	80,00	25,50

22/5/2021 23:08	25,00	81,00	25,12
23/5/2021 00:08	24,00	82,00	24,81
23/5/2021 01:08	24,00	83,00	24,44
23/5/2021 02:08	24,00	84,00	24,19
23/5/2021 03:08	24,00	85,00	24,00
23/5/2021 04:08	24,00	86,00	23,94
23/5/2021 05:08	24,00	86,00	23,94
23/5/2021 06:08	24,00	87,00	24,00
23/5/2021 07:08	24,00	89,00	24,62
23/5/2021 08:09	26,00	92,00	27,69
23/5/2021 09:09	29,00	87,00	30,06
23/5/2021 10:09	33,00	76,00	34,81
23/5/2021 11:09	35,00	73,00	37,38
23/5/2021 12:09	34,00	73,00	34,75
23/5/2021 13:09	34,00	71,00	35,81
23/5/2021 14:09	33,00	73,00	34,13
23/5/2021 15:09	30,00	73,00	30,69
23/5/2021 16:09	28,00	77,00	28,69
23/5/2021 17:09	27,00	81,00	27,06
23/5/2021 18:10	25,00	83,00	25,81
23/5/2021 19:10	25,00	82,00	25,06
23/5/2021 20:10	24,00	85,00	24,62
23/5/2021 21:10	24,00	84,00	24,37
23/5/2021 22:10	24,00	84,00	24,12

23/5/2021 23:10	24,00	84,00	23,94
24/5/2021 00:10	24,00	84,00	23,81
24/5/2021 01:10	23,00	84,00	23,69
24/5/2021 02:10	23,00	83,00	23,56
24/5/2021 03:10	23,00	84,00	23,44
24/5/2021 04:11	23,00	84,00	23,50
24/5/2021 05:11	23,00	84,00	23,44
24/5/2021 06:11	23,00	84,00	23,37
24/5/2021 07:11	23,00	84,00	23,50
24/5/2021 08:11	24,00	85,00	23,81
24/5/2021 09:11	24,00	87,00	24,25
24/5/2021 10:11	24,00	89,00	25,06
24/5/2021 11:11	26,00	90,00	26,37
24/5/2021 12:11	27,00	88,00	27,19
24/5/2021 13:11	27,00	87,00	27,12
24/5/2021 14:12	27,00	87,00	27,50
24/5/2021 15:12	27,00	86,00	28,00
24/5/2021 16:12	27,00	86,00	27,37
24/5/2021 17:12	27,00	86,00	27,00
24/5/2021 18:12	27,00	86,00	26,81
24/5/2021 19:12	26,00	87,00	26,06
24/5/2021 20:12	25,00	88,00	25,56
24/5/2021 21:12	25,00	90,00	25,31
24/5/2021 22:12	25,00	90,00	25,12

24/5/2021 23:12	25,00	90,00	24,87
25/5/2021 00:13	24,00	90,00	24,69
25/5/2021 01:13	24,00	89,00	24,44
25/5/2021 02:13	24,00	90,00	24,25
25/5/2021 03:13	24,00	90,00	24,06
25/5/2021 04:13	24,00	89,00	24,00
25/5/2021 05:13	24,00	90,00	23,94
25/5/2021 06:03	24,00	89,00	23,94
25/5/2021 07:13	24,00	91,00	24,25
25/5/2021 08:13	25,00	94,00	25,25
25/5/2021 09:13	26,00	94,00	27,25
25/5/2021 10:14	29,00	91,00	31,25
25/5/2021 11:14	32,00	79,00	34,38
25/5/2021 12:14	34,00	72,00	35,38
25/5/2021 13:14	35,00	65,00	37,50
25/5/2021 14:14	37,00	63,00	38,94
25/5/2021 15:14	37,00	64,00	38,50
25/5/2021 16:14	35,00	61,00	35,88
25/5/2021 17:14	33,00	62,00	33,25
25/5/2021 18:14	30,00	69,00	30,44
25/5/2021 19:14	28,00	73,00	28,37
25/5/2021 20:15	27,00	77,00	27,19
25/5/2021 21:15	26,00	79,00	26,56
25/5/2021 22:15	26,00	82,00	26,06

25/5/2021 23:15	25,00	83,00	25,81
26/5/2021 00:15	25,00	81,00	25,44
26/5/2021 01:15	25,00	82,00	25,25
26/5/2021 02:15	25,00	85,00	25,00
26/5/2021 03:15	25,00	86,00	24,94
26/5/2021 04:15	24,00	86,00	24,87
26/5/2021 05:15	24,00	87,00	24,69
26/5/2021 06:16	24,00	83,00	24,44
26/5/2021 07:16	24,00	86,00	25,00
26/5/2021 08:16	26,00	88,00	27,37
26/5/2021 09:16	28,00	86,00	29,50
26/5/2021 10:16	30,00	83,00	30,44
26/5/2021 11:16	29,00	83,00	29,12
26/5/2021 12:16	28,00	83,00	28,62
26/5/2021 13:06	28,00	84,00	28,62
26/5/2021 14:16	28,00	84,00	28,06
26/5/2021 15:16	27,00	85,00	26,81
26/5/2021 16:17	26,00	87,00	25,87
26/5/2021 17:17	25,00	85,00	25,12
26/5/2021 18:17	24,00	85,00	24,50
26/5/2021 19:17	24,00	84,00	24,00
26/5/2021 20:17	24,00	85,00	23,75
26/5/2021 21:17	23,00	85,00	23,56
26/5/2021 22:17	23,00	89,00	23,44

26/5/2021 23:17	23,00	89,00	23,12
26/5/2021 00:07	23,00	90,00	22,87
27/5/2021 01:17	22,00	88,00	22,62
27/5/2021 02:18	22,00	87,00	22,31
27/5/2021 03:18	22,00	89,00	22,25
27/5/2021 04:18	22,00	88,00	22,06
27/5/2021 05:18	22,00	87,00	22,06
27/5/2021 06:18	22,00	87,00	22,06
27/5/2021 07:18	22,00	89,00	22,44
27/5/2021 08:18	24,00	95,00	24,44
27/5/2021 09:18	25,00	92,00	26,00
27/5/2021 10:18	26,00	91,00	26,56
27/5/2021 11:18	27,00	93,00	28,81
27/5/2021 12:18	29,00	90,00	31,69
27/5/2021 13:18	32,00	85,00	34,13
27/5/2021 14:18	33,00	81,00	34,56
27/5/2021 15:18	31,00	75,00	31,37
27/5/2021 16:18	29,00	79,00	29,62
27/5/2021 17:18	28,00	82,00	27,56
27/5/2021 18:18	26,00	85,00	26,25
27/5/2021 19:19	25,00	86,00	25,31
27/5/2021 20:19	25,00	87,00	24,69
27/5/2021 21:19	24,00	86,00	24,37
27/5/2021 22:19	24,00	86,00	24,06

27/5/2021 23:19	24,00	86,00	23,81
28/5/2021 00:19	24,00	87,00	23,69
28/5/2021 01:19	23,00	88,00	23,50
28/5/2021 02:19	23,00	89,00	23,37
28/5/2021 03:19	23,00	90,00	23,37
28/5/2021 04:19	23,00	90,00	23,19
28/5/2021 05:20	23,00	89,00	23,12
28/5/2021 06:20	23,00	88,00	23,12
28/5/2021 07:20	23,00	91,00	24,25
28/5/2021 08:20	27,00	95,00	29,00
28/5/2021 09:20	31,00	88,00	34,63
28/5/2021 10:20	33,00	79,00	34,50
28/5/2021 11:20	33,00	73,00	36,44
28/5/2021 12:20	37,00	68,00	39,38
28/5/2021 13:20	35,00	61,00	35,25
28/5/2021 14:20	33,00	68,00	34,25
28/5/2021 15:21	31,00	68,00	32,13
28/5/2021 16:21	31,00	69,00	30,87
28/5/2021 17:21	29,00	71,00	28,75
28/5/2021 18:21	27,00	73,00	26,81
28/5/2021 19:21	26,00	76,00	25,50
28/5/2021 20:21	24,00	76,00	24,62
28/5/2021 21:21	24,00	77,00	24,06
28/5/2021 22:21	23,00	76,00	23,50

28/5/2021 23:21	23,00	75,00	23,00
28/5/2021 00:21	22,00	75,00	22,37
29/5/2021 01:22	22,00	75,00	21,94
29/5/2021 02:22	21,00	74,00	21,50
29/5/2021 03:22	21,00	75,00	21,12
29/5/2021 04:22	21,00	76,00	21,00
29/5/2021 05:22	21,00	77,00	20,81
29/5/2021 06:22	21,00	76,00	21,06
29/5/2021 07:22	22,00	85,00	23,44
29/5/2021 08:22	25,00	85,00	28,19
29/5/2021 09:22	29,00	68,00	30,75
29/5/2021 10:22	34,00	66,00	37,94
29/5/2021 11:23	38,00	60,00	40,19
29/5/2021 12:23	39,00	57,00	41,25
29/5/2021 13:23	37,00	56,00	37,38
29/5/2021 14:23	33,00	65,00	32,81
29/5/2021 15:23	31,00	69,00	31,06
29/5/2021 16:23	30,00	68,00	31,19
29/5/2021 17:23	30,00	70,00	30,37
29/5/2021 18:23	29,00	74,00	28,87
29/5/2021 19:23	27,00	72,00	27,44
29/5/2021 20:23	26,00	73,00	26,31
29/5/2021 21:24	25,00	72,00	25,37
29/5/2021 22:24	24,00	71,00	24,56

29/5/2021 23:24	24,00	72,00	24,06
30/5/2021 00:24	24,00	73,00	23,94
30/5/2021 01:24	24,00	72,00	23,87
30/5/2021 02:24	24,00	72,00	23,87
30/5/2021 03:24	24,00	72,00	23,94
30/5/2021 04:24	24,00	73,00	23,94
30/5/2021 05:24	24,00	74,00	23,94
30/5/2021 06:24	24,00	74,00	24,12
30/5/2021 07:25	25,00	80,00	25,44
30/5/2021 08:25	27,00	85,00	29,87
30/5/2021 09:25	32,00	77,00	34,88
30/5/2021 10:25	34,00	72,00	34,94
30/5/2021 11:25	33,00	71,00	34,13
30/5/2021 12:25	34,00	66,00	36,06
30/5/2021 13:25	34,00	62,00	35,06
30/5/2021 14:25	35,00	58,00	36,06
30/5/2021 15:25	33,00	56,00	33,13
30/5/2021 16:25	32,00	59,00	32,50
30/5/2021 17:26	31,00	61,00	31,50
30/5/2021 18:26	30,00	63,00	29,62
30/5/2021 19:26	28,00	66,00	27,62
30/5/2021 20:26	26,00	66,00	26,06
30/5/2021 21:26	25,00	67,00	25,00
30/5/2021 22:26	24,00	69,00	24,37

30/5/2021 23:26	24,00	67,00	23,81
31/5/2021 00:26	23,00	68,00	23,44
31/5/2021 01:26	23,00	69,00	23,00
31/5/2021 02:26	23,00	69,00	22,50
31/5/2021 03:37	22,00	70,00	22,25
31/5/2021 04:27	22,00	71,00	22,06
31/5/2021 05:27	22,00	71,00	22,06
31/5/2021 06:27	22,00	71,00	22,44
31/5/2021 07:27	23,00	80,00	25,12
31/5/2021 08:27	26,00	77,00	27,19
31/5/2021 09:27	27,00	75,00	27,00
31/5/2021 10:27	28,00	73,00	27,94
31/5/2021 11:27	32,00	69,00	32,94
31/5/2021 12:27	35,00	63,00	37,81
31/5/2021 13:27	37,00	50,00	38,63
31/5/2021 14:27	36,00	44,00	37,19
31/5/2021 15:27	36,00	44,00	37,44
31/5/2021 16:38	36,00	44,00	36,25
31/5/2021 17:28	34,00	51,00	34,81
31/5/2021 18:28	31,00	60,00	31,62
31/5/2021 19:28	29,00	66,00	29,06
31/5/2021 20:28	27,00	70,00	27,37
31/5/2021 21:28	26,00	67,00	26,06
31/5/2021 22:28	24,00	66,00	24,87

31/5/2021 23:28	24,00	67,00	24,00
1/6/2021 00:28	23,00	66,00	23,44
1/6/2021 01:28	23,00	67,00	22,87
1/6/2021 02:29	22,00	68,00	22,62
1/6/2021 03:29	22,00	69,00	22,44
1/6/2021 04:29	22,00	68,00	22,44
1/6/2021 05:29	22,00	69,00	22,44
1/6/2021 06:29	22,00	68,00	22,37
1/6/2021 07:29	24,00	80,00	24,50
1/6/2021 08:29	28,00	77,00	30,50
1/6/2021 09:29	33,00	69,00	35,31
1/6/2021 10:09	35,00	61,00	37,31
1/6/2021 10:59	34,00	54,00	35,63

**Tabla E.2:** Mediciones de temperatura y humedad durante la prueba 2.

Fecha	T1 (C)	H(%)	T2 (C)
4/6/2021 13:46	34,00	70,00	35,19
4/6/2021 14:46	34,00	71,00	34,75
4/6/2021 15:46	34,00	72,00	33,75
4/6/2021 16:47	32,00	79,00	32,00
4/6/2021 17:47	30,00	78,00	30,00
4/6/2021 18:47	28,00	81,00	27,81
4/6/2021 19:47	26,00	86,00	26,25
4/6/2021 20:47	25,00	86,00	25,37
4/6/2021 21:47	25,00	89,00	25,06

4/6/2021 22:47	25,00	92,00	25,06
4/6/2021 23:47	25,00	92,00	24,94
5/6/2021 00:47	25,00	91,00	24,94
5/6/2021 01:47	25,00	93,00	24,81
5/6/2021 02:48	25,00	95,00	24,87
5/6/2021 03:48	25,00	94,00	24,94
5/6/2021 04:48	25,00	95,00	24,87
5/6/2021 05:48	25,00	94,00	24,62
5/6/2021 06:48	24,00	95,00	24,87
5/6/2021 07:48	25,00	95,00	26,25
5/6/2021 08:48	27,00	95,00	28,75
5/6/2021 09:48	30,00	93,00	31,81
5/6/2021 10:48	32,00	88,00	34,13
5/6/2021 11:48	33,00	92,00	33,94
5/6/2021 12:49	33,00	88,00	34,38
5/6/2021 13:49	35,00	81,00	38,06
5/6/2021 14:44	33,00	68,00	33,63
5/6/2021 15:44	33,00	82,00	33,25
5/6/2021 16:44	33,00	76,00	33,81
5/6/2021 17:44	32,00	73,00	31,19
5/6/2021 18:44	29,00	79,00	29,06
5/6/2021 19:44	28,00	82,00	28,00
5/6/2021 20:44	27,00	82,00	27,25
5/6/2021 21:44	27,00	84,00	26,75

5/6/2021 22:45	27,00	86,00	26,50
5/6/2021 23:45	26,00	88,00	26,31
6/6/2021 00:45	26,00	88,00	26,12
6/6/2021 01:45	26,00	88,00	25,56
6/6/2021 02:45	25,00	86,00	24,50
6/6/2021 03:45	23,00	88,00	23,25
6/6/2021 04:45	22,00	90,00	22,31
6/6/2021 05:45	22,00	92,00	22,06
6/6/2021 06:45	22,00	95,00	23,75
6/6/2021 07:45	25,00	95,00	27,31
6/6/2021 08:46	29,00	95,00	31,94
6/6/2021 09:46	32,00	85,00	35,13
6/6/2021 10:46	34,00	75,00	37,56
6/6/2021 11:46	37,00	69,00	39,94
6/6/2021 12:46	38,00	69,00	40,06
6/6/2021 13:46	36,00	67,00	36,75
6/6/2021 14:46	35,00	70,00	34,88
6/6/2021 15:46	33,00	72,00	33,00
6/6/2021 16:46	32,00	74,00	31,87
6/6/2021 17:46	31,00	74,00	30,44
6/6/2021 18:47	29,00	76,00	28,81
6/6/2021 19:47	28,00	78,00	27,62
6/6/2021 20:47	27,00	80,00	26,75
6/6/2021 21:47	26,00	80,00	26,31

---

6/6/2021 22:47	26,00	82,00	26,12
6/6/2021 23:47	26,00	83,00	25,94
7/6/2021 00:47	26,00	84,00	25,81
7/6/2021 01:47	26,00	84,00	25,62
7/6/2021 02:47	26,00	85,00	25,50
7/6/2021 03:47	25,00	84,00	25,44
7/6/2021 04:48	25,00	85,00	25,44
7/6/2021 05:48	25,00	87,00	25,31
7/6/2021 06:48	25,00	88,00	25,75
7/6/2021 07:48	27,00	91,00	27,37
7/6/2021 08:48	29,00	92,00	32,69
7/6/2021 09:48	34,00	79,00	38,06
7/6/2021 10:48	38,00	69,00	41,38
7/6/2021 11:48	39,00	68,00	41,19
7/6/2021 12:48	39,00	63,00	41,13
7/6/2021 13:49	37,00	60,00	38,31
7/6/2021 14:49	36,00	63,00	37,56
7/6/2021 15:49	36,00	63,00	36,13
7/6/2021 16:49	32,00	67,00	31,31
7/6/2021 17:49	29,00	75,00	28,81
7/6/2021 18:49	27,00	72,00	27,25
7/6/2021 19:49	26,00	74,00	26,62
7/6/2021 20:49	26,00	75,00	26,19
7/6/2021 21:49	26,00	76,00	25,75

7/6/2021 22:49	26,00	77,00	25,56
7/6/2021 23:50	25,00	75,00	25,06
8/6/2021 00:50	25,00	75,00	25,06
8/6/2021 01:50	25,00	75,00	24,50
8/6/2021 02:50	25,00	76,00	24,87
8/6/2021 03:50	24,00	76,00	24,00
8/6/2021 04:50	23,00	77,00	22,69
8/6/2021 05:50	22,00	77,00	22,06
8/6/2021 06:50	22,00	79,00	21,87
8/6/2021 07:50	23,00	86,00	24,12
8/6/2021 08:50	27,00	92,00	29,19
8/6/2021 09:51	32,00	81,00	34,75
8/6/2021 10:51	35,00	69,00	38,63
8/6/2021 11:51	38,00	63,00	40,00
8/6/2021 12:51	38,00	59,00	40,44
8/6/2021 13:51	39,00	55,00	39,44
8/6/2021 14:51	37,00	54,00	39,25
8/6/2021 15:51	36,00	56,00	34,94
8/6/2021 16:51	31,00	61,00	31,19
8/6/2021 17:51	29,00	65,00	29,00
8/6/2021 18:51	28,00	67,00	28,00
8/6/2021 19:52	28,00	69,00	27,56
8/6/2021 20:52	27,00	71,00	26,31
8/6/2021 21:52	25,00	72,00	25,00

8/6/2021 22:52	24,00	73,00	24,00
8/6/2021 23:52	24,00	72,00	24,62
9/6/2021 00:52	24,00	72,00	24,50
9/6/2021 01:52	24,00	71,00	23,56
9/6/2021 02:52	23,00	73,00	22,87
9/6/2021 03:52	23,00	73,00	22,62
9/6/2021 04:52	22,00	73,00	22,31
9/6/2021 05:53	22,00	74,00	21,94
9/6/2021 06:53	22,00	77,00	22,81
9/6/2021 07:53	25,00	87,00	28,19
9/6/2021 08:53	31,00	79,00	33,44
9/6/2021 09:53	34,00	69,00	36,88
9/6/2021 10:53	35,00	65,00	36,25
9/6/2021 11:53	34,00	59,00	33,88
9/6/2021 12:53	35,00	62,00	37,38
9/6/2021 09:53	34,00	69,00	36,88
9/6/2021 10:53	35,00	65,00	36,25
9/6/2021 11:53	34,00	59,00	33,88
9/6/2021 12:53	35,00	62,00	37,38
9/6/2021 13:49	37,00	59,00	38,06
9/6/2021 14:49	33,00	62,00	32,81
9/6/2021 15:49	30,00	68,00	30,06
9/6/2021 16:40	29,00	70,00	29,37
9/6/2021 17:40	28,00	71,00	28,62

9/6/2021 18:40	27,00	74,00	27,19
9/6/2021 19:40	25,00	77,00	25,75
9/6/2021 20:41	24,00	75,00	24,44
9/6/2021 21:41	24,00	74,00	23,50
9/6/2021 22:41	23,00	74,00	22,94
9/6/2021 23:41	23,00	74,00	22,62
10/6/2021 00:41	22,00	75,00	22,44
10/6/2021 01:41	22,00	76,00	22,31
10/6/2021 02:41	22,00	76,00	21,94
10/6/2021 03:41	22,00	77,00	21,56
10/6/2021 04:32	21,00	77,00	21,31
10/6/2021 05:32	21,00	77,00	20,94
10/6/2021 06:32	21,00	78,00	20,69
10/6/2021 07:32	22,00	87,00	23,06
10/6/2021 08:32	27,00	85,00	29,69
10/6/2021 09:32	33,00	74,00	35,50
10/6/2021 10:32	36,00	62,00	39,75
10/6/2021 11:32	39,00	56,00	41,63
10/6/2021 12:32	41,00	53,00	44,06
10/6/2021 13:32	38,00	48,00	40,50
10/6/2021 14:33	39,00	52,00	40,56
10/6/2021 15:33	38,00	53,00	38,69
10/6/2021 16:33	35,00	55,00	35,31
10/6/2021 17:33	32,00	62,00	32,19

10/6/2021 18:33	28,00	67,00	28,50
10/6/2021 19:33	26,00	72,00	26,50
10/6/2021 20:33	25,00	70,00	25,44
10/6/2021 21:33	24,00	68,00	24,62
10/6/2021 22:33	24,00	67,00	24,12
10/6/2021 23:33	24,00	67,00	23,87
11/6/2021 00:34	24,00	68,00	23,62
11/6/2021 01:34	23,00	69,00	23,50
11/6/2021 02:34	23,00	70,00	23,31
11/6/2021 03:34	23,00	71,00	23,19
11/6/2021 04:34	23,00	70,00	23,00
11/6/2021 05:34	23,00	70,00	22,94
11/6/2021 06:34	23,00	69,00	23,00
11/6/2021 07:34	23,00	78,00	24,25
11/6/2021 08:34	25,00	80,00	26,44
11/6/2021 09:39	26,00	89,00	26,12
11/6/2021 10:39	29,00	75,00	29,62
11/6/2021 11:40	29,00	76,00	29,75
11/6/2021 12:40	32,00	77,00	33,44
11/6/2021 13:40	33,00	74,00	33,63
11/6/2021 14:40	34,00	71,00	35,19
11/6/2021 15:40	36,00	64,00	38,31
11/6/2021 16:40	36,00	61,00	37,31
11/6/2021 17:40	32,00	66,00	32,56

11/6/2021 18:40	29,00	72,00	29,12
11/6/2021 19:40	27,00	75,00	27,25
11/6/2021 20:40	26,00	77,00	26,25
11/6/2021 21:41	25,00	72,00	25,56
11/6/2021 22:41	25,00	72,00	25,19
11/6/2021 23:41	25,00	72,00	24,81
12/6/2021 00:41	24,00	72,00	24,62
12/6/2021 01:41	24,00	74,00	24,69
12/6/2021 02:41	24,00	75,00	24,69
12/6/2021 03:41	24,00	76,00	24,62
12/6/2021 04:41	24,00	76,00	24,62
12/6/2021 05:41	24,00	77,00	24,44
12/6/2021 06:41	24,00	76,00	24,50
12/6/2021 07:42	26,00	86,00	26,31
12/6/2021 08:42	28,00	85,00	30,25
12/6/2021 09:42	30,00	75,00	31,06
12/6/2021 10:48	31,00	69,00	31,87
12/6/2021 11:48	33,00	61,00	33,81
12/6/2021 12:48	33,00	61,00	34,19
12/6/2021 13:48	35,00	60,00	36,31
12/6/2021 14:49	39,00	59,00	40,44
12/6/2021 15:49	38,00	57,00	38,63
12/6/2021 16:49	38,00	56,00	38,13
12/6/2021 17:49	37,00	54,00	38,00

12/6/2021 18:49	35,00	57,00	35,50
12/6/2021 19:49	33,00	59,00	33,06
12/6/2021 20:49	31,00	60,00	31,31
12/6/2021 21:49	30,00	61,00	30,19
12/6/2021 22:49	29,00	62,00	29,37
12/6/2021 23:49	29,00	63,00	28,75
13/6/2021 00:50	28,00	63,00	28,31
13/6/2021 01:50	28,00	63,00	27,87
13/6/2021 02:50	27,00	63,00	27,19
13/6/2021 03:50	27,00	64,00	26,81
13/6/2021 04:50	26,00	64,00	26,31
13/6/2021 05:50	26,00	65,00	26,00
13/6/2021 06:50	26,00	70,00	27,00
13/6/2021 07:50	32,00	79,00	32,81
13/6/2021 08:50	37,00	61,00	39,00
13/6/2021 09:50	40,00	55,00	42,06

**Tabla E.3:** Mediciones de temperatura y humedad durante la prueba 3.

Fecha	T1 (C)	H(%)	T2 (C)
17/6/2021 18:02	34,00	53,00	34,06
17/6/2021 19:02	29,00	78,00	29,31
17/6/2021 20:02	28,00	79,00	28,56
17/6/2021 21:02	28,00	81,00	28,00
17/6/2021 22:02	27,00	82,00	27,44
17/6/2021 23:02	27,00	84,00	27,12

18/6/2021 00:03	27,00	84,00	26,81
18/6/2021 01:03	27,00	84,00	26,37
18/6/2021 02:03	26,00	85,00	25,87
18/6/2021 03:03	26,00	87,00	25,56
18/6/2021 04:03	26,00	88,00	25,31
18/6/2021 05:03	26,00	90,00	25,44
18/6/2021 06:03	26,00	90,00	25,69
18/6/2021 07:03	27,00	95,00	27,12
18/6/2021 08:03	30,00	95,00	31,25
18/6/2021 09:08	35,00	87,00	36,69
18/6/2021 10:08	39,00	81,00	41,25
18/6/2021 11:08	40,00	74,00	40,25
18/6/2021 12:08	36,00	59,00	34,94
18/6/2021 13:09	34,00	79,00	34,44
18/6/2021 14:09	34,00	81,00	34,19
18/6/2021 15:09	34,00	78,00	34,94
18/6/2021 16:09	35,00	77,00	35,75
18/6/2021 17:09	35,00	80,00	34,88
18/6/2021 18:09	33,00	80,00	32,81
18/6/2021 19:09	31,00	81,00	31,00
18/6/2021 20:09	30,00	84,00	30,00
18/6/2021 21:09	29,00	86,00	29,19
18/6/2021 22:09	29,00	87,00	28,94
18/6/2021 23:10	29,00	88,00	28,75

19/6/2021 00:10	29,00	88,00	28,56
19/6/2021 01:10	28,00	88,00	28,31
19/6/2021 02:10	28,00	89,00	28,00
19/6/2021 03:10	28,00	89,00	27,62
19/6/2021 04:10	28,00	90,00	27,56
19/6/2021 05:10	28,00	90,00	27,50
19/6/2021 06:10	27,00	90,00	27,19
19/6/2021 07:10	28,00	94,00	28,00
19/6/2021 08:10	29,00	95,00	29,50
19/6/2021 09:11	31,00	93,00	31,62
19/6/2021 10:11	34,00	88,00	35,63
19/6/2021 11:11	36,00	80,00	36,19
19/6/2021 12:11	38,00	78,00	38,50
19/6/2021 13:11	41,00	72,00	41,69
19/6/2021 14:11	42,00	67,00	43,00
19/6/2021 15:11	37,00	60,00	37,38
19/6/2021 16:11	37,00	67,00	37,44
19/6/2021 17:11	34,00	67,00	34,38
19/6/2021 18:11	31,00	70,00	30,31
19/6/2021 19:12	28,00	73,00	28,37
19/6/2021 20:12	27,00	75,00	27,12
19/6/2021 21:12	27,00	78,00	27,00
19/6/2021 22:12	27,00	78,00	26,94
19/6/2021 23:12	27,00	78,00	26,69

20/6/2021 00:12	26,00	78,00	26,31
20/6/2021 01:12	26,00	79,00	25,94
20/6/2021 02:12	26,00	80,00	25,50
20/6/2021 03:12	25,00	79,00	25,12
20/6/2021 04:12	25,00	80,00	24,94
20/6/2021 05:13	25,00	81,00	25,19
20/6/2021 06:13	25,00	82,00	25,44
20/6/2021 07:13	26,00	86,00	26,50
20/6/2021 08:13	28,00	89,00	28,37
20/6/2021 09:13	30,00	87,00	30,87
20/6/2021 10:13	34,00	81,00	35,44
20/6/2021 11:13	37,00	69,00	38,13
20/6/2021 12:13	39,00	65,00	40,06
20/6/2021 13:13	40,00	59,00	40,81
20/6/2021 14:13	42,00	55,00	43,69
20/6/2021 15:14	39,00	56,00	39,50
20/6/2021 16:14	38,00	55,00	39,00
20/6/2021 17:14	37,00	56,00	37,69
20/6/2021 18:14	33,00	60,00	33,00
20/6/2021 19:14	30,00	62,00	30,06
20/6/2021 20:14	28,00	64,00	28,56
20/6/2021 21:14	28,00	67,00	27,69
20/6/2021 22:14	28,00	68,00	27,50
20/6/2021 23:14	28,00	69,00	27,37

21/6/2021 00:14	28,00	70,00	27,37
21/6/2021 01:15	28,00	71,00	27,50
21/6/2021 02:15	28,00	72,00	27,69
21/6/2021 03:15	28,00	72,00	27,81
21/6/2021 04:15	28,00	73,00	27,81
21/6/2021 05:15	28,00	73,00	27,81
21/6/2021 06:15	28,00	74,00	27,81
21/6/2021 07:15	29,00	81,00	30,06
21/6/2021 08:15	32,00	77,00	32,25
21/6/2021 09:15	34,00	72,00	34,69
21/6/2021 10:15	35,00	60,00	35,63
21/6/2021 11:16	38,00	62,00	39,19
21/6/2021 12:16	39,00	54,00	39,88
21/6/2021 13:16	40,00	49,00	40,50
21/6/2021 14:16	41,00	49,00	41,38
21/6/2021 15:16	41,00	48,00	41,81
21/6/2021 16:16	38,00	51,00	38,13
21/6/2021 17:16	36,00	54,00	35,94
21/6/2021 18:16	34,00	57,00	33,56
21/6/2021 19:16	32,00	59,00	31,75
21/6/2021 20:17	30,00	60,00	30,50
21/6/2021 21:17	29,00	62,00	29,50
21/6/2021 22:17	29,00	64,00	29,06
21/6/2021 23:17	29,00	64,00	28,44

22/6/2021 00:17	28,00	65,00	27,94
22/6/2021 01:17	28,00	66,00	27,87
22/6/2021 02:17	28,00	66,00	27,62
22/6/2021 03:17	27,00	65,00	27,06
22/6/2021 04:17	26,00	66,00	26,50
22/6/2021 05:17	26,00	67,00	26,19
22/6/2021 06:18	26,00	67,00	25,81
22/6/2021 07:18	28,00	76,00	29,25
22/6/2021 08:18	32,00	71,00	32,06
22/6/2021 09:18	34,00	55,00	34,63
22/6/2021 10:23	38,00	56,00	40,63
22/6/2021 11:25	40,00	49,00	41,94
22/6/2021 12:25	41,00	47,00	41,50
22/6/2021 13:25	41,00	45,00	41,63
22/6/2021 14:25	41,00	45,00	41,81
22/6/2021 15:25	41,00	42,00	42,31
22/6/2021 16:26	40,00	46,00	39,69
22/6/2021 17:26	36,00	50,00	36,38
22/6/2021 18:26	34,00	54,00	33,81
22/6/2021 19:26	32,00	56,00	31,87
22/6/2021 20:26	31,00	58,00	30,75
22/6/2021 21:26	30,00	59,00	29,87
22/6/2021 22:26	29,00	61,00	29,31
22/6/2021 23:26	29,00	62,00	28,94

23/6/2021 00:26	29,00	63,00	28,69
23/6/2021 01:26	29,00	64,00	28,50
23/6/2021 02:27	28,00	64,00	28,37
23/6/2021 03:27	28,00	63,00	27,75
23/6/2021 04:27	27,00	63,00	27,06
23/6/2021 05:27	27,00	65,00	26,69
23/6/2021 06:27	27,00	67,00	26,75
23/6/2021 07:27	30,00	76,00	31,37
23/6/2021 08:27	36,00	63,00	37,13
23/6/2021 09:27	39,00	57,00	40,06
23/6/2021 10:33	38,00	49,00	38,50
23/6/2021 11:33	41,00	46,00	42,63
23/6/2021 12:34	41,00	40,00	42,63
23/6/2021 13:34	41,00	38,00	42,13
23/6/2021 14:34	41,00	38,00	42,13
23/6/2021 15:34	40,00	38,00	40,63
23/6/2021 16:34	38,00	44,00	38,19
23/6/2021 17:34	35,00	48,00	35,19
23/6/2021 18:34	33,00	53,00	33,00
23/6/2021 19:34	31,00	55,00	31,19
23/6/2021 20:34	30,00	57,00	30,19
23/6/2021 21:35	29,00	58,00	29,37
23/6/2021 22:35	29,00	59,00	28,56
23/6/2021 23:35	28,00	59,00	28,00

---

24/6/2021 00:35	28,00	61,00	27,94
24/6/2021 01:35	28,00	63,00	28,06
24/6/2021 02:35	28,00	64,00	28,06
24/6/2021 03:35	28,00	64,00	28,06
24/6/2021 04:35	28,00	65,00	27,94
24/6/2021 05:35	28,00	65,00	27,44
24/6/2021 06:35	28,00	66,00	27,56
24/6/2021 07:36	29,00	72,00	29,56
24/6/2021 08:36	33,00	67,00	34,31
24/6/2021 09:42	37,00	54,00	40,63