

**Diseño de un prototipo funcional para el mejoramiento y optimización del secado de  
café por medio de energía solar fotovoltaica**

German José Duarte Rozo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Básicas de Tecnología e Ingeniería - ECBTI

Programa de Ingeniería Industrial

CEAD Ibagué

2021

**Diseño de un prototipo funcional para el mejoramiento y optimización del secado de  
café por medio de energía solar fotovoltaica**

**German José Duarte Rozo**

**Proyecto de Investigación para optar al título de Ingeniero Industrial**

**Director:**

**Ing. Guillermo Manjarrez**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD**

**Escuela de Ciencias Básicas de Tecnología e Ingeniería - ECBTI**

**Programa de Ingeniería Industrial**

**CEAD Ibagué**

**2021**

## **Dedicatoria**

Este trabajo se lo dedico a Dios ya que fue la voluntad de él tenerme hasta el día de hoy, dándome sabiduría y entendimiento. A él sea la gloria y el reconocimiento Colosenses 3:23. A mi esposa por su compañía amor y paciencia y a mis hijos que fueron mi motivación y motor para cada día seguir sin desfallecer a mis padres que me engendraron y me dieron la vida.

## **Agradecimientos**

Mis más sinceros agradecimientos a mi familia que ha estado presente y acompañando cada uno de mis pasos.

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD por permitirme llevar a cabo mis estudios además de tener a profesores altamente calificados en su institución. A mi tutora Angela María Ospina que, sin su orientación, apoyo invaluable y constante no hubiese sido posible haber culminado este trabajo a mi tutor director del proyecto Guillermo Manjarrez por su muy diligente acompañamiento y orientación en este proceso.

A mis compañeros Diego Fernando Pineda Carmona por su excelente e invaluable ayuda en el desarrollo electrónico del proyecto y su apoyo moral, ante todo. A John Rojas por su colaboración incondicional en el proyecto. A el ingeniero Agrónomo Emerson rojas por su total acompañamiento en el tema del beneficio del café.

A quienes de otra manera me guiaron y me apoyaron para el progreso y perfeccionamiento de mi trabajo.

A todos los que han contribuido de una u otra manera en mi proyecto muchas gracias.

## Resumen

El presente proyecto se presenta para generar una alternativa en la forma de cómo se realiza el beneficio del café y en particular uno de sus últimos procesos el secado en las fincas cafeteras de nuestro país. El secado de café, aunque se realiza con la luz del sol directamente con los cambios abruptos del clima en periodo de secado puede generar lluvias durante muchos días por esta razón los caficultores se ven obligados a vender el café húmedo a menor precio o se demora el secado más del tiempo esperado. Definitivamente hay muchas variables que inciden en el secado del café. Está demostrado que se puede secar mediante unas estructuras diseñadas para este fin. Las marquesinas son estructuras diseñadas para el secado de café la mayoría son mecánicas por así decirlo solo reciben la luz del sol directamente para secar el café y un plástico protege el café de la inclemencia del tiempo (lluvia). El mismo plástico sirva para guardar la temperatura al interior de la marquesina. Con el diseño de la planta generadora de energía eléctrica y el diseño de la marquesina para el secado del café se pretende mejorar algunas variables de secado del café.

El proyecto contempla ciertas etapas para su desarrollo en la primera se caracterizan los requerimientos para satisfacer la necesidad para definir el diseño, en la segunda se diseña la marquesina con sus elementos de secado mediante un programa de diseño CAD. En la tercera se diseña la planta generadora de energía al final se ensambla los diseños de marquesina y planta en el programa de diseño CAD. Todos estos elementos del programa de diseño quedan tabulados para presentar el presupuesto para su posterior construcción si es necesario.

Palabras clave: Solar, café, secado, beneficio, fotovoltaico, humedad

## **Abstract**

This project is presented to generate an alternative in the way the benefit of coffee is made and in particular one of its latest drying processes in the coffee farms of our country. Drying coffee, although done in sunlight directly with abrupt changes in the climate during drying period can generate rains for many days for this reason coffee growers are forced to sell wet coffee at a lower price, or it delays drying more than the expected time. There are definitely many variables that affect the drying of coffee. It has been shown that it can be dried by structures designed for this purpose. Canopies are structures designed for drying coffee most are mechanical so to speak they only receive sunlight directly to dry coffee and a plastic protects coffee from inclement weather (rain). The same plastic is used to store the temperature inside the canopy. With the design of the electric power generating plant and the design of the canopy for coffee drying it is intended to improve some coffee drying variables.

The project contemplates certain stages for its development in the first one characterizes the requirements to satisfy the need to define the design, in the second is designed the marquee with its drying elements through a CAD design program. In the third, the power generation plant is designed at the end, the marquee and plant designs are assembled in the CAD design program. All these elements of the design program are tabulated to present the budget for further construction if necessary.

**Keywords:** Solar, coffee, drying, profit, photovoltaic, humidity

## Contenido

<i>Introducción</i> .....	10
<i>Planteamiento del problema</i> .....	11
<i>Pregunta de investigación</i> .....	12
<i>Alternativa 1</i> .....	13
<i>Alternativa 2</i> .....	14
<i>Objetivo general</i> .....	14
<i>Objetivos específicos</i> .....	14
<i>Justificación</i> .....	19
<i>Marco conceptual y teórico</i> .....	20
<i>Antecedentes</i> .....	20
<i>Bases teóricas</i> .....	21
<i>Conceptos básicos</i> .....	23
<i>Metodología</i> .....	27
<i>Tipo de investigación</i> .....	27
<i>Presupuesto</i> .....	32
<i>Resultados o productos</i> .....	36
<i>Conclusiones</i> .....	37
<i>Recomendaciones</i> .....	38
<i>Bibliografía</i> .....	39
<i>Anexo 1</i> .....	41
<i>Entrevista semi estructurada</i> .....	41

<i>Anexo 2 .....</i>	<b>42</b>
<i>Diseño de prototipo en software cad SolidWorks.....</i>	<b>42</b>
<i>Anexo 3 .....</i>	<b>46</b>
<i>Elementos del control electrónico de secado del café.....</i>	<b>46</b>
<i>Anexo 4 .....</i>	<b>47</b>
<i>Imágenes de la construcción de la secadora de café .....</i>	<b>47</b>
<i>Anexo 5 .....</i>	<b>49</b>
<i>Formato de observación para proceso de secado de café.....</i>	<b>49</b>

#### *Lista de tablas*

<i>Tabla 1: Nota: Matriz de Marco Lógico para el proyecto autor (2021).....</i>	<b>18</b>
<i>Tabla 2: Cronograma de actividades autor (2021) .....</i>	<b>32</b>

#### *Lista de figuras*

<i>Figura: 1 Nota: árbol de problemas autor (2021).....</i>	<b>12</b>
<i>Figura: 2 Nota: árbol de objetivos Autor (2021).....</i>	<b>13</b>
<i>Figura: 3 Nota: Identificación de alternativas autor (2021).....</i>	<b>13</b>
<i>Figura: 4 Nota: proceso beneficio del café Autor (2021).....</i>	<b>26</b>

*Título del proyecto*

*Diseño de un Prototipo funcional para el mejoramiento y optimización del secado de café por medio de energía solar fotovoltaica*

## ***Introducción***

El presente proyecto se presenta para generar una alternativa en la forma de cómo se realiza el beneficio del café y en particular uno de sus últimos procesos el secado en las fincas cafeteras de nuestro país. El secado de café, aunque se realiza con la luz del sol directamente con los cambios abruptos del clima en periodo de secado puede generar lluvias durante muchos días por esta razón los caficultores se ven obligados a vender el café húmedo a menor precio o se demora el secado más del tiempo esperado. Definitivamente hay muchas variables que inciden en el secado del café. Está demostrado que se puede secar mediante unas estructuras diseñadas para este fin. Las marquesinas son estructuras diseñadas para el secado de café la mayoría son mecánicas por así decirlo solo reciben la luz del sol directamente para secar el café y un plástico protege el café de la inclemencia del tiempo (lluvia). El mismo plástico sirva para guardar la temperatura al interior de la marquesina. Con el diseño de la planta generadora de energía eléctrica y el diseño de la marquesina para el secado del café se pretende mejorar algunas variables de secado del café.

El proyecto contempla ciertas etapas para su desarrollo en la primera se caracterizan los requerimientos para satisfacer la necesidad para definir el diseño, en la segunda se diseña la marquesina con sus elementos de secado mediante un programa de diseño CAD. En la tercera se diseña la planta generadora de energía al final se ensambla los diseños de marquesina y planta en el programa de diseño CAD. Todos estos elementos del programa de diseño quedan tabulados para presentar el presupuesto para su posterior construcción si es necesario.

## **Planteamiento del problema**

El café después de que es recogido su fruto este se somete a un proceso denominado beneficio y una de las acciones finales es el secado del grano. En nuestro país el secado del grano del café se hace en su mayor parte de manera tradicional el cual es secar los granos con los rayos del sol de forma directa. El departamento del Tolima tercer productor de café en Colombia y en particular el cañón del combeima de la ciudad de Ibagué sigue este procedimiento de manera artesanal desde hace más de un siglo. Aunque entramos en la cuarta revolución industrial este proceso no ha cambiado mucho por que el 90% de los caficultores solo conocen el procedimiento que pasa de generación en generación.

El comité de cafeteros de Colombia se consolidó en el año 1927 como un gremio sin ánimo de lucro, como toda empresa innovadora creó su departamento de investigación desarrollo e innovación CENICAFE. Cabe destacar que los resultados en mejoramiento del arbusto de café en sus variedades han tenido grandes avances en la parte de cultivo crecimiento y maduración para las cosechas. Pero en la parte del secado no se ha logrado tecnificar o innovar en una tecnología que todos los caficultores sobre todo los pequeños logren incorporar al interior de sus cultivos para realizar el proceso secado del grano de café de una manera no artesanal. Así mismo no podemos desconocer el efecto del cambio climático en nuestro territorio lo que dificulta en muchas ocasiones el secado del café porque en época de beneficio hay periodos de lluvia que atrasan el secado del grano y puede ocasionar perdidas para los pequeños caficultores. Por otro lado, los pequeños caficultores que desean incursionar en la producción de cafés especiales necesitan de elementos que mejoren el beneficio de este para su mejor calidad en la tasa final y poder comercializarlo con el fin de obtener buenas ganancias. Se requiere de un proceso de

secado de granos de café que tenga prestaciones en el orden de innovación desarrollo y que se ajuste al presupuesto de los pequeños caficultores para mejorar el secado del café.

***Pregunta de investigación.***

¿Cómo se puede mejorar y optimizar el proceso de beneficio del café en particular en el secado de los granos?

**Árbol de problemas Proceso de secado del café**

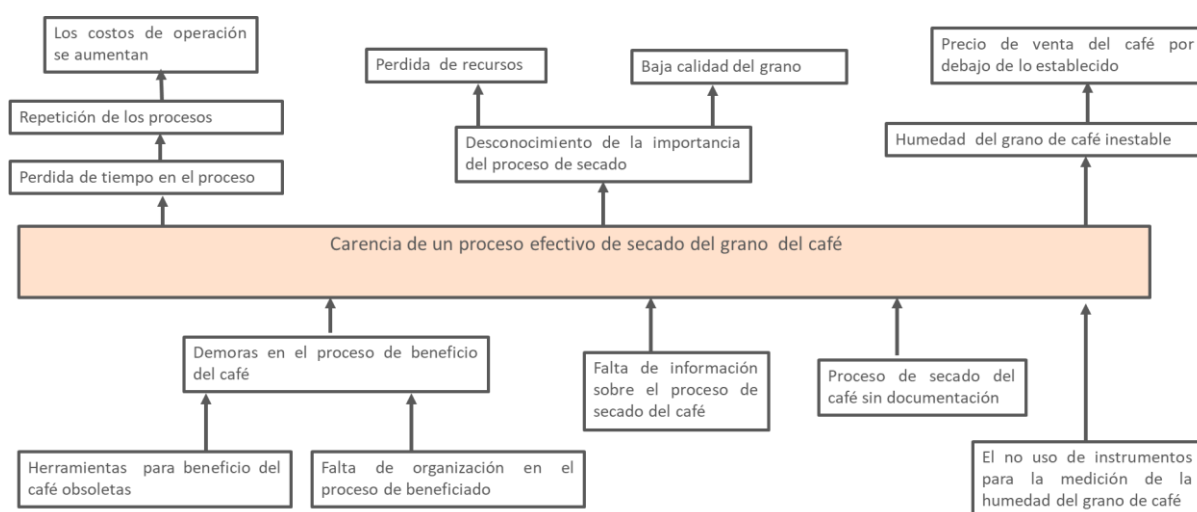


Figura: 1 Nota: árbol de problemas autor (2021)

### Árbol de Objetivos, Proceso de secado del café en la vereda Berlín de Ibagué

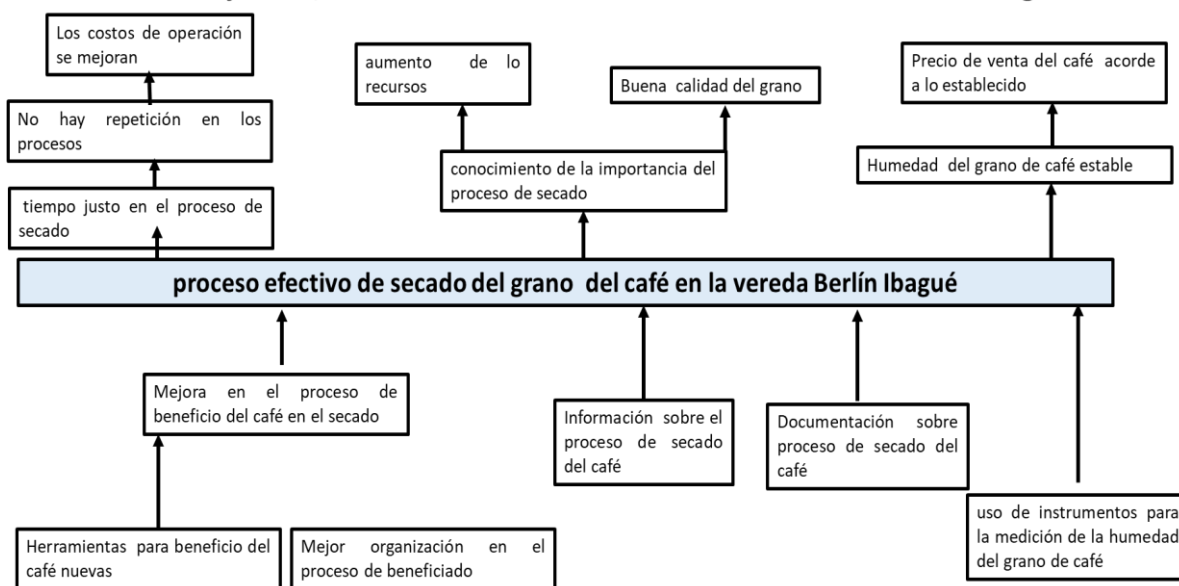


Figura: 2 Nota: árbol de objetivos Autor (2021)

### Acciones e identificación de alternativas

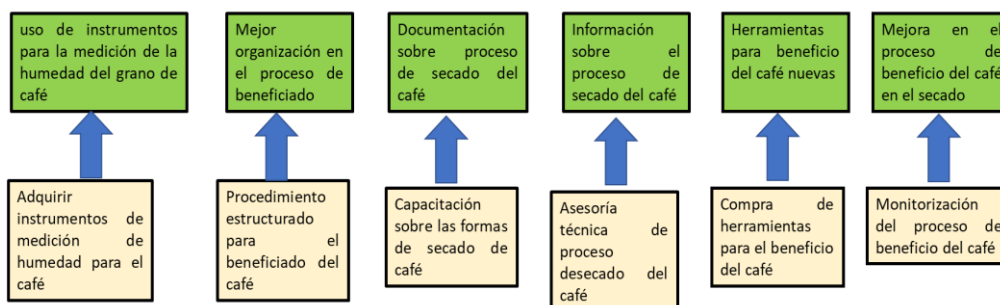


Figura: 3 Nota: Identificación de alternativas autor (2021)

### Alternativa 1

Diseñar un programa de capacitación para los caficultores de la vereda Berlín sobre el proceso de beneficiado del café en especial el proceso de secado.

## **Alternativa 2**

Diseñar un prototipo que sea efectivo en el proceso del secado de café para mejorar la calidad la tasa del grano como el precio en la venta.

### ***Objetivo general***

Diseñar un prototipo funcional con el uso de energía solar fotovoltaica para el mejoramiento y optimización del secado de granos de café

### ***Objetivos específicos***

1. Caracterizar los requerimientos para desarrollo del diseño del prototipo de secado del café
2. Diseñar el prototipo de secado de café mediante software CAD, empleando una metodología de producto
3. Diseñar la planta generadora solar fotovoltaica que permita entregar el suministro energético a todo el sistema.

	OBJETIVO S	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACION	SUPUESTOS
FIN	Diseñar un prototipo funcional para secado de café por medio de energía solar fotovoltaica	<p>1 Al poner en funcionamiento el prototipo se mejora el proceso de secado del grano de café</p> <p>2 esta mejora entrega grano de café de mejor calidad el cual es vendido a un muy buen precio resaltando la calidad del proceso de secado</p>	<p>1 Registro fotográfico del proceso de secado del café por medio del prototipo funcional</p> <p>2 recolección de datos durante el proceso</p>	Diseñar un prototipo funcional para secado de café por medio de energía solar fotovoltaica

<p><b>PROPOS</b></p> <p><b>ITO</b></p>	<p>Proceso</p> <p>efectivo de secado del grano del café en la vereda Berlín Ibagué</p>	<p>1 Con un procedimiento estructurado para el beneficiado del café se mejora el proceso de secado</p> <p>2 Con la adquisición del sistema de secado de café con energía solar mejora el grano en tasa y calidad</p> <p>3 El precio de venta del café al final del proceso es alto</p>	<p>1 Documento sobre el proceso de secado del café de forma parabólica con energía solar fotovoltaica</p> <p>2 Registro del proceso en bitácoras para medir el tiempo de secado y la humedad final del grano</p> <p>3 Precio en el mercado en comparación con la calidad del grano seco</p>	<p>Los cambios en la cultura de trabajo generando estrategias y elementos para la mejora de los procesos de producción enlazado con la intencionalidad de los protagonistas de mejorar su estilo de trabajo y al final su estilo de vida es muy importante</p>
<p><b>COMPO</b></p> <p><b>NENTES</b></p>	<p>1 Desarrollo de los planos de</p>	<p>1 Planos de diseño verificados en medidas y</p>	<p>1 Planos de fabricación</p> <p>2. inspección de la capacidad</p>	<p>se diseñó construyó y validó los sistemas teniendo en cuenta los</p>

	<p>construcción</p> <p>2 construcción de la marquesina para el secado del café</p> <p>3 construcción de la planta generadora de energía eléctrica fotovoltaica</p> <p>4 Ensamble final del prototipo</p> <p>5 Pruebas y validación del sistema estructural eléctrico</p>	<p>elementos para la construcción</p> <p>2 Planta solar ensamblada y validado su funcionamiento</p> <p>3 Marquesina construida lista para su funcionamiento</p> <p>4 ensamble de planta y marquesina para validación de todo el sistema</p>	<p>de entrega de corriente de la planta solar mediante Revisión del controlador de carga</p> <p>3 inspección del sistema de la marquesina mediante planos y normativa vigente en tamaño y forma</p> <p>4 verificación de los sistemas ensamblados mediante lista de chequeo</p>	<p>planos de diseño los componentes de calidad las normas y políticas y ambientales como también el comportamiento del sistema ensamblado que garantiza el funcionamiento del prototipo</p>
--	--	---	---	---

<b>ACTIVIDADES</b>	1 Diseñar del prototipo	1 \$ 50.000	1 comunicación directa con el encargado del diseño	Revisión de los precios en la cotización y luego en la compra de los componentes
	2 Elaborar presupuesto para la compra de los componentes	2 \$ 40.000	2 Supervisión del gerente del proyecto	Alistamiento de los elementos para la construcción del prototipo según diseño de programa CAD
	3 presentar cronograma	3 \$1.775.000	3 Revisión del inventario a la entrega de los componentes del prototipo	
	4 Comprar los elementos del prototipo			

Tabla 1: Nota: Matriz de Marco Lógico para el proyecto autor (2021)

### *Justificación*

El café (*Coffea arabica*) en Colombia es uno de los principales productos de exportación, esto genera rentabilidad para el estado y a los caficultores en particular. Actualmente en el mundo se habla de la optimización de los sistemas de producción mediante la industrialización en tecnología de innovación y desarrollo, el café no es ajeno a este respecto. En algunas partes de nuestro país se han implementado algunas formas para secar el café, pero estas tecnologías no han hecho avances tecnológicos en la forma en que se realizan estos procesos, algunas veces se utilizan generadores eléctricos de combustión interna para generar electricidad que mueva resistencias de calor; ventiladores y motores para realizar el trabajo de secar el café entre otros varios, pero, estos son sistemas electromecánicos que no cuidan de que la humedad mínima del café se quede en este para que su calidad (tasa) no se pierda, sin contar el hecho de que estas técnicas son poco amigables con el medio ambiente. Por tal razón se hace necesario revisar cuales nuevas tecnologías pueden proteger el medio ambiente y ayudar a la mejora en el proceso de beneficio del café en Colombia. El comité de cafeteros tiene el Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFE) el cual es un departamento de desarrollo biotecnológico enfocado netamente en la investigación y mejora del café desde perspectivas de modificación genética, manejo de suelos y agroecología para promover el crecimiento de la planta de café.

Es sabido que ya hay métodos que se realizan con energías alternativas los cuales son sistemas de secado que utilizan la luz solar, eólica para el secado del café. Uno de estos sistemas de energía alternativa es la energía solar fotovoltaica. La energía solar fotovoltaica es una energía que es amigable con el medio ambiente y se pretende utilizar en el diseño de nuestro proyecto. Diseñar un sistema de secado de café mediante un prototipo que utiliza energía

eléctrica, se implementa una planta de generación de energía para que sea conectada con una marquesina tipo invernadero o marquesina de tipo cerrada y resistencias eléctricas monitoreadas por un sistema que mantenga la temperatura de secado al interior de la marquesina para que el secado del café sea constante y uniforme

### *Marco conceptual y teórico*

#### *Antecedentes*

En base a la revisión efectuada, se encontró la siguiente bibliografía:

Fernández, V. F., Rodríguez, J. A., Fonseca, S. F., Enríquez, J. P., Ten, A. T., Ricardo, C. B., ... & Duharte, G. I. (2000). Análisis de opciones para el secado solar de café. Parte 2. Aspectos energéticos, de rendimiento y económicos. *Tecnología Química*, 20(1), 52-57.

En donde concluyeron que Los secadores solares multipropósito y de tambor rotatorio están sobredimensionados respecto a los requerimientos energéticos del proceso de secado de café en las variantes experimentadas en este trabajo. Los costos del proceso de secado solar de café pueden disminuirse por dos vías diferentes, que pueden hacerse converger: - dimensionando correctamente las instalaciones, aproximando estructuralmente los secadores a la plazoleta tradicional, pero conservando la idea de proteger al grano de la acción de los agentes externos.

Oliveros Bedoya, M. D. M., & Riascos Vanegas, S. Caracterización del proceso de secado del café en secadores solares.

La conclusión del autor narra que, con el método de regresión se observó que para mejorar la tasa del café la temperatura en el secado del grano debe estar por encima de los 26 grados Celsius con esto la calidad de la taza del café puede superar el 85%. La investigación demuestra con el método que al realizar el proceso como lo recomienda el método mejora la parte

económica porque hay más valor monetario en la venta del café.

Hernández Delgado, R. A., & Ramírez Cañas, A. E. (2016). Diseño de un sistema de secado de café, mediante la utilización de un fluido geotérmico de baja entalpia como fuente térmica (Doctoral disertación, Universidad de El Salvador).

Como conclusión de la investigación se dice que los intercambiadores de calor cualquiera que sea su naturaleza de construcción sirven como elemento importante en el proceso de secado del grano de café. la energía Geotérmica de baja entalpia es decir de menos de 100 grados Celsius es eficaz para el proceso de secado del grano de café lo que puede mejorar el proceso de secado del grano aprovechando energías alternativas con un medio de aprovechamiento de forma mecánica.

### ***Bases teóricas***

El mejoramiento genético del café se basa en el conocimiento del germoplasma para la selección de los progenitores. El germoplasma contiene todas las variedades cultivadas en el mundo, los materiales silvestres de Etiopía y las especies diploides (*Coffea canephora* y *C. liberica* , entre otras). Las evaluaciones realizadas han permitido identificar dentro del germoplasma muchas características de interés como resistencia a la roya, CBD y nematodos, entre otras (Castillo y Parra, 1973;Castillo 1995; Moreno et al., 2000).

“El grano una vez alcanza su madurez se debe cosechar y beneficiar inmediatamente. Una de las operaciones más importantes es el secado, que consiste en eliminar parte del agua del grano, desde 55% b.h de contenido de humedad inicial, hasta un 10 a 12% b.h de contenido de humedad final” (Cenicafé, 1999; Álvarez, 1978).

Ospina (1989), señaló que “utilizando un silo secador tipo Cenicafé con inversión del flujo de aire, encontró diferencias en el contenido de humedad final del grano hasta de un 4% en

algunos experimentos; y de 6 a 15% de diferencia entre las diferentes subcapas del grano cuando el flujo de aire permanece en una sola dirección durante todo el proceso de secado”.

“Las características que diferencian a los cafés especiales son el producto de la combinación de diferentes factores, entre los cuales se encuentra la variedad, el suelo, el clima, las prácticas de producción, las prácticas de cosecha y postcosecha, la torrefacción, entre otras” (Escarramán et al., 2007).

“Con base a lo postulado por Bakker-Arkema et al., 1974; Brooker et al., 1992; Parra, 1990; Rossi & Roa, 1980; Thompson et al., 1968 se ha demostrado universalmente que la simulación matemática del secado es una alternativa viable, tanto tecnológica como económicamente, razón por la cual se realizó esta investigación, con el propósito de generar conocimientos para la operación eficiente de los secadores mecánicos de café utilizados en Colombia”.

### **Variedades de café en Colombia**

#### **Variedad Colombia**

Es la primera variedad compuesta liberada por Cenicafe. Se obtuvo a partir del cruzamiento de caturra por el híbrido Timor, y se entregó a los caficultores en 1980, 3 años antes de llegada de la roya al país (Castillo y Moreno, 1987).

#### **Variedad Castillo**

Es una variedad compuesta, con 29 progenies, resistente a la roya, desarrollada a partir del cruzamiento de Caturra por el Híbrido de Timor. Posee diversidad genética para resistencia a la roya, que se traduce en estabilidad de la misma. Permite su siembra tanto en zonas donde la roya del cafeto reduce la producción, como en aquellas donde la enfermedad no tiene mayor incidencia. En estas regiones los productores se benefician por la mayor producción, en mayor tamaño del grano y de la tolerancia a la enfermedad de las cerezas del café, en caso de su llegada

al país (Alvarado et al.,2005).

### **Variedad Tabí**

Es una variedad compuesta resistente a la roya proveniente de la selección de progenies de los cruzamientos entre las variedades Típica Y Borbón y el híbrido Timor, cuyo nombre en el dialecto guambiano significa “bueno” (Moreno, 2002).

### **Variedad Caturra**

Se origino por una mutación espontanea observada por primera vez en el estado de Minas Gerais (Brasil), en una plantación de Borbón(krug et al.,1949). Se destaca por el porte bajo de sus plantas, característica controlada por un gen dominante (Ct/Ct), que acorta la longitud de los entrenudos del tallo y de las ramas )Krug y Carvalho, 1951). Fue introducido a Colombia en 1952 y se difundió a partir de 1970 (Castillo,1990).

### ***Conceptos básicos***

#### **Secado de café**

#### **Secado solar del café**

El sol es la fuente central de energía en el sistema solar. La energía solar que llega a la tierra es una pequeña fracción de la generada por el sol, permitiendo la vida y todas las manifestaciones como corrientes de aire, actividad fotosintética, ciclos hídricos y corrientes oceánicas, entre otras. La energía que llega hasta el suelo es la resultante de la radiación directa, mientras que la difusa lo hace en días nublados. En el secado solar del café en Colombia, en días de mayor flujo de cosecha, se aprovecha principal mente la radiación difusa y la energía del aire.

En el secado solar se aprovechan la energía natural del medio ambiente y la radiación solar, que inciden directamente sobre la superficie de los granos. Los secadores solares para café de estos existen dos tipos:

**Secadores parabólicos:** es una estructura con cubierta parabólica, con piso en concreto o en malla soportado por una estructura en guadua. El plástico utilizado es agro plas N calibre 6.

De ese modelo de secador hay diferentes modelos.

**Secador solar tipo túnel:** ese secador consta de un piso en malla, soportado en una estructura construida en madera o en tubos de hierro, a 0,8 m del suelo, con cubierta plástica para proteger al café de la lluvia. Son utilizados en Brasil para el secado del café en fruto y lavado, con o sin utilizar la cubierta plástica, denominados pisos elevados

#### **Secado mecánico del café:**

En gran parte de las regiones cafeteras las condiciones climáticas en la época de cosecha no son favorables para el secado solar del café, aun en pequeña escala, por la baja temperatura, la alta humedad relativa y el bajo brillo solar que se presentan, condiciones que aumentan el tiempo en el proceso de secado, con riesgo para la calidad e inocuidad del producto. Debido a ello, en los últimos años se ha incentivado el uso de secadores de baja capacidad estática (desde 94 kg de c.p.s.) como complemento del secado solar, secado combinado o como única alternativa. De igual manera, en presencia del evento del fenómeno de La Niña las condiciones son desfavorables para el secado solar del café en gran parte de las zonas cafeteras, por el incremento en las precipitaciones de 20% a 40% con relación a los valores esperados (Jaramillo y Arcila, 2009).

#### **Disponibilidad de agua y energía en las regiones cafeteras**

Disponibilidad de agua y energía en las regiones cafeteras y su interacción con los

factores genéticos (por ejemplo, unas variedades de café), nutricionales y hormonales, determinan que el ritmo y la cantidad de crecimiento de los diferentes órganos y tejidos de la planta de café varíen en las distintas épocas del año (Trojer, 1968; Jaramillo, 2005).

### **Durante su ciclo de vida**

Durante su ciclo de vida, la planta destina una parte de éste a la formación de estructuras no reproductivas como las raíces, las ramas, los nudos y las hojas, actividad denominada desarrollo vegetativo (Dedecca, 1957).

### **Estructura de la raíz**

Una raíz típica de una angiosperma presenta la siguiente estructura funciona (Raven et al., 1999):

La caliptra o cofia. Órgano apical que cubre la punta de la raíz protegiendo a los posibles daños en su recorrido por el suelo. A medida que la raíz penetra en las células más extremas de esta cubierta se desgarran iban formando una capa mucilaginoso que facilita el paso de la raíz por los poros del suelo. Las células desprendían son reemplazadas por nuevas células, originadas en el meristema radical la cofia también desempeña un papel en la respuesta a la raíz a la gravedad ya que en el centro de ella se encuentra el sitio de res percepción al gravitropismo (posiblemente amiloplastos).

### **Otras tecnologías**

Existen otras tecnologías basadas en el uso de combustibles fósiles: secadoras con quemadores de Diesel o de gas natural, o con gases de combustión de la cascarilla de café (Santoyo et al., 1994; Oti-Boateng y Axtell, 1998).

### **La energía solar**

La energía solar ha sido aprovechada en secadores para diversos productos agrícolas – maíz (*Zea mays*), aguacate (*Persea americana*), jitomate (*Lycopersicon esculentum*), ciruela

(*Prunus domestica*), manzana (*Malus sp.*) y mango (*Mangifera indica*), entre otros— (Almanza y Muñoz, 1994);

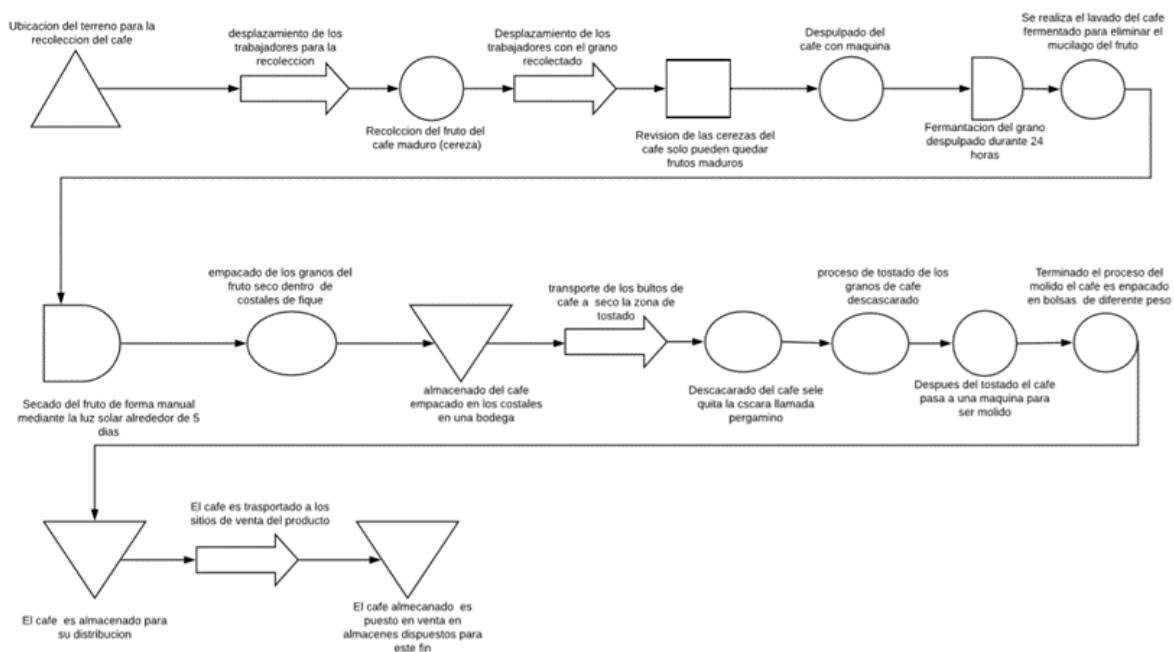


Figura: 4 Nota: proceso beneficio del café Autor (2021)

## ***Metodología***

### ***Tipo de investigación.***

Para Murillo (2008), la investigación aplicada recibe el nombre de “investigación práctica o empírica”, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación. El uso del conocimiento y los resultados de investigación que da como resultado una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad.

Con el fin de ofrecer un referente comprensible de la expresión “investigación aplicada”, se exponen algunas de las ideas de Padrón (2006) al respecto, para quien la expresión se propagó durante el siglo XX para hacer referencia, en general, a aquel tipo de estudios científicos orientados a resolver problemas de la vida cotidiana o a controlar situaciones prácticas, haciendo dos distinciones

a. La que incluye cualquier esfuerzo sistemático y socializado por resolver problemas o intervenir situaciones. En ese sentido, se concibe como investigación aplicada tanto la innovación técnica, artesanal e industrial como la propiamente científica.

b. La que sólo considera los estudios que explotan teorías científicas previamente validadas, para la solución de problemas prácticos y el control de situaciones de la vida cotidiana.

Partiendo de la premisa de que este proyecto es de investigación aplicada, ya que se trata de una investigación que tiene como finalidad solucionar un problema donde se aplican conocimientos científicos y tecnológicos que solucionan un problema pragmático de inmediatez, modificando una realidad en concreto.

### **Nivel de investigación.**

El nivel de la presente investigación es propositivo, y tiene la característica de proponer una innovación, que se expresa en la caracterización de un proceso, orientado a resolver el

problema denominado cual es la efectividad en el proceso del secado de café de la vereda Berlín en la ciudad de Ibagué.

### **Población de estudio**

#### **Población.**

La población de estudio para esta investigación son 18 fincas que equivalen a 18 caficultores de la vereda Berlín de la ciudad de Ibagué.

### **Muestra**

La muestra en esta investigación se va a realizar de forma aleatoria, es decir se seleccionará a los miembros de la población objeto de estudio sin tener en cuenta como es su proceso de beneficio del café dentro de sus fincas

Para poder obtener la muestra debemos utilizar una formula estándar que se aplica para este proceso.

Formula:

$$poblacion\ finita: n = Z^2 p * q \frac{N}{e^2} (N - 1) + Z^2 p * q$$

Donde:

n= tamaño de la muestra

N= Población o universo

Z= nivel de confianza

p = probabilidad a favor

q= probabilidad en contra

e= error muestral

### **Técnicas de recolección de datos**

La técnica que se utilizará en la recolección de datos será la entrevista

Se utilizará una entrevista semiestructurada que esta diseñada e incluida al final de este documento

### **Análisis estadísticos de datos**

los equipos básicos de la toma utilizados para terminar los datos son.

1. Termómetro para medir la temperatura de secado del café
2. Elemento para la circulación del aire dentro de la marquesina
3. Instrumento de medición de la humedad del café durante el secado

Construido el conjunto del prototipo que es la marquesina, la planta de energía solar y el control electrónico de secado se realizaran las acciones pertinentes para observar el trabajo que realizara el sistema electrónico en el secado de los granos de café. Se utilizará un termostato electrónico el cual después de determinar a que temperatura se deben encender las resistencias para generar la temperatura estipulada para el calentamiento de los granos de café quienes internamente tienen un embrión que es el que no se debe dañar durante el secado. El higrómetro al inicio del secado de los granos toma la temperatura la cual después de colocar los granos en la marquesina puede mostrar una humedad del 80 al 90 %. El termostato controla la temperatura de encendido y apagado de las resistencias esta temperatura al interior de la marquesina no puede superar los 40 grados Celsius que es la temperatura máxima para no dañar los embriones del grano. El higrómetro también tendrá un control sobre el sistema que es el siguiente al llegar al tope mínimo de humedad de los granos de café 12% el higrómetro anula el encendido de las resistencias comandado por el termostato. Todo este trabajo de secado se realizará durante la noche para aumentar la velocidad de secado de los granos sin atentar contra su tasa y calidad que





es lo mas importante de los granos de café al final de este proceso de beneficio. Además, el sistema de control de secado controla también un ventilador para circular el aire al interior de la marquesina. El sistema es un prototipo funcional para el secado de los granos de café.



<b>TIEMPO EN SEMANAS</b>		<b>AÑO: 2021</b>			
	<b>Semana</b>	<b>Semana</b>	<b>Semana</b>	<b>Semana</b>	<b>Semana</b>
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Realizar la planeación y presupuesto en el proceso de secado del café por medio del prototipo.					
Planificación de insumos.					
Análisis de la cantidad de producto que se va a producir con el prototipo.					
Instalación del nuevo prototipo para secado del grano café por medio de energía solar fotovoltaica					

Secado por medio de energía solar fotovoltaica					
--	--	--	--	--	--

Tabla 2: Cronograma de actividades autor (2021)

**Presupuesto.**

PRESUPUESTO ELEMENTOS DEL PROTOTIPO				
ELEMENTO	IMAGEN	CANTIDAD	PRECIO	PRECIO
			UNIDAD	TOTAL
Panel solar 100 watts		1	300.000	300.000
Inversor corriente CC a AC		1	200.000	200.000
Controlador de carga		1	100.000	100.000
Batería ciclo profundo 12v 20 a		1	300.000	300.000

cable calibre 12 rojo		15 m	40.000	40.000
cable calibre 12 verde		15m	40.000	40.000
listón de madera 10x3x300		10 unidades	10.000	100.000
puntilla pulgada y media		2 cajas	5.000	10.000
plástico invernadero calibre 8		2 m	20.000	40.000
listón de madera 5x5x300		10 unidades	10.000	100.000
malla marquesina		3 m	18.000	18.000
grapadora industrial		1	60.000	60.000
grapas		1 caja	30.000	30.000

martillo		1	25.000	25.000
segueta completa		1	25.000	25.000
hoja segueta		10	1.000	10.000
pegante madera		1	10.000	10.000
Tubo 1/2 X 6m Presión Rde 13.5-315 Psi		6	12.000	72.000
resistencia eléctrica de 100 vatios		2	50.000	100.000
amarres plásticos		100	200	20.000
silicona en barra		6	2.700	16.000
pistola silicona		1	20.000	20.000

ventilador		1	40.000	40.000
cautil soldadura		1	35.000	35.000
crema para soldar estaño		1	10.000	10.000
soldadura estaño		1	30.000	30.000
codos PVC 1/2		20	600	12.000
T PVC 1/2		20	600	12.000
			<b>TOTAL</b>	<b>1.775.000</b>

Tabla 3: Presupuesto proyecto, autor (2021)

***Resultados o productos.***

1. Planta generadora de energía solar fotovoltaica para secado de café
2. Control electrónico del secado del café
3. Marquesina para secado del grano de café
4. Proceso de secado de café documentado

### ***Conclusiones.***

1. Se logra fusionar las tecnologías de generación de energía la eléctrica y solar fotovoltaica para producir calor suficiente para el secado del café de forma rápida y uniforme sin perder su calidad en la humedad al poder controlarla y permitir que llegue máximo al 12%.
2. Se Implementa un diseño flexible, ergonómico, modular y funcional para la distribución de los elementos de secado ventilación y transformación de energía solar por radiación en energía eléctrica para las funciones de trabajo.
3. Desmitifica los conceptos complejos de la generación y transformación de energía, en energías renovables, alternativas con sistemas fotovoltaicos para dar pertinencia en lo técnico y costes de producción.

### ***Recomendaciones***

Los sistemas de secado de café solares tienen diferentes modelos para este proceso se debe determinar cuál es el óptimo para utilizar energía solar fotovoltaica

Tener en cuenta el tiempo de desarrollo de los proyectos de esta naturaleza puesto que se dan en el año solo dos eventos de cosecha una grande y una pequeña, pero también de presentan pequeñas recolecciones durante el año

Los elementos para medición de carácter electrónico como sensores, resistencias; se deben obtener con tiempo debido a que se hace necesario a veces importarlos

## **Bibliografía**

- PUERTA Q, G. I. (1995). El beneficio y la calidad del café. *Manizales: Cenicafé*.
- OLIVEROS, C., SANZ, J., RAMIREZ, C., ALVAREZ, J., ROA, G., & ALVAREZ, J. (1995). *Desmucilagadores mecánicos de café*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).
- Puerta, G. I. (2015). *Buenas prácticas para la prevención de los defectos de la calidad del café: Fermento reposado fenólico y mohoso*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).
- Wintgens, J. (1994). Influencia del beneficiado sobre la calidad del café. *USA Nestlé SA*.
- PUERTA, G. Título: Buenas prácticas de manufactura, programa de saneamiento y plan HACCP para el proceso de café en la finca.. Editado en: Manizales (Colombia), Universidad de Caldas. Facultad de Ingeniería, 2001.. 360 p.. Notas: 119 Ref. Esp. (Tesis: Especialización en Gestión de Calidad e Inocuidad de Alimentos).
- Rathinavelu, R., & Graziosi, G. (2005). Posibles usos alternativos de los residuos y subproductos del café. *Organización Internacional del Café, ITA*.
- Fontal, E. M. L. (2006). Secado de café en lecho fluidizado. *Ingeniería e Investigación*, 26(1), 25-29.
- Henaó Arismendy, J. (2015). Evaluación del proceso de secado del café y su relación con las propiedades físicas, composición química y calidad en taza. *Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos*.
- Parra-Coronado, A., Roa-Mejía, G., & Oliveros-Tascón, C. E. (2008). SECAFÉ Parte I: Modelamiento y simulación matemática en el secado mecánico de café pergamino. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, 12(4), 415-427.
- Fernández, V. R. F., Rodríguez, J. L. A., Fonseca, S. F., Enríquez, J. P., Ten, A. T., Ricardo, C. B., ... & Duharte, G. I. (2000). Análisis de opciones para el secado solar de café. Parte 2. Aspectos energéticos, de rendimiento y económicos. *Tecnología Química*, 20(1), 52-58.
- Quintanar Olguin, J., & Roa Durán, R. (2017). Evaluación térmica y financiera del proceso de secado de grano de café en un secador solar activo tipo invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(2), 321-331.
- Hernández Delgado, R. A., & Ramírez Cañas, A. E. (2016). Diseño de un sistema de secado de café, mediante la utilización de un fluido geotérmico de baja entalpia como fuente térmica (Doctoral disertación, Universidad de El Salvador).
- Oliveros Bedoya, M. D. M., & Riascos Vanegas, S. Caracterización del proceso de secado del café en

secadores solares.

Sánchez, I. J. G. (2014). *Diseño y prototipo de secador de café excelso automatizado con sistema SCADA* (Doctoral disertación, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Ingeniería en Mecatrónica).

## *Anexo 1*

### *Entrevista semi estructurada*

#### **Objetivo:**

Identificar en el caficultor que concepción tiene sobre el proceso de secado del grano de café.

La entrevista se realiza a los caficultores del área del cañón del Combeima en particular a la vereda Berlín y se dirige a identificar como es el desarrollo del secado del café en las fincas.

#### **Preguntas para la Entrevista**

entrevistado:

Caficultor cañón del combeima vereda Berlín:

Nombre del caficultor:

1. ¿Cuánto tiempo lleva realizando el proceso de secado del grano en el beneficio del café?
2. ¿De qué manera seca usted el café en la finca?
3. ¿Qué problemas ha encontrado cuando realiza el secado del café?
4. ¿Qué tiempo demora el secado el café de manera tradicional?
5. ¿Le han presentado otros procesos de secado del café?
6. ¿Cree usted que otro proceso de secado podría ser más eficiente?
7. ¿Le gustaría realizar el proceso de secado del café que mejore la calidad del grano en su tasa?

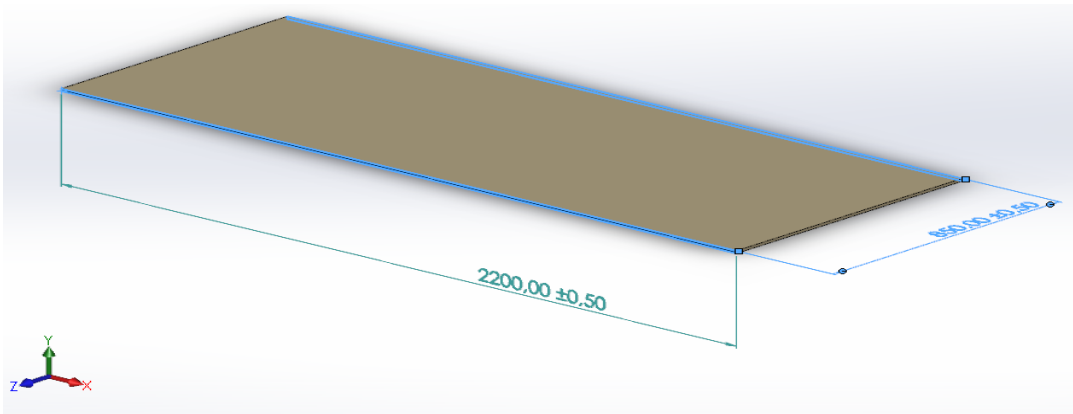
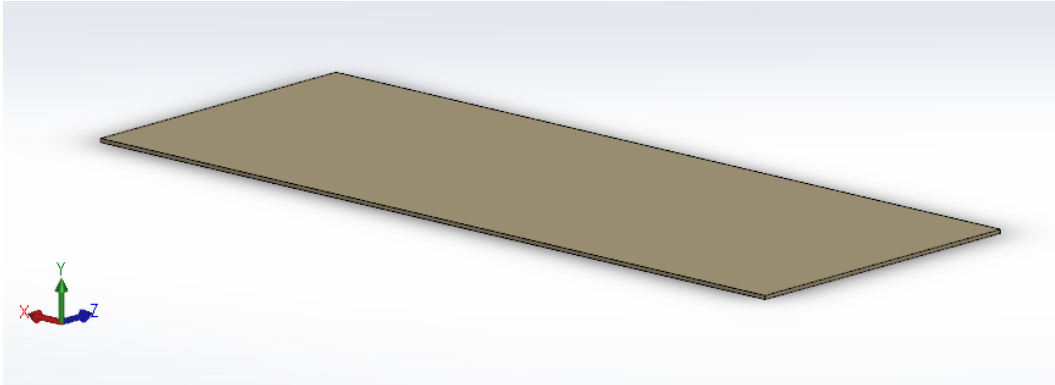
## Anexo 2

### *Diseño de prototipo en software cad SolidWorks*

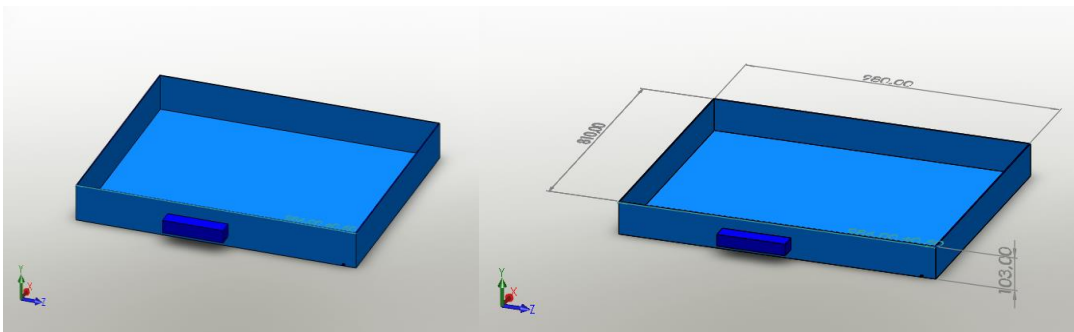
#### **Bases paseras**



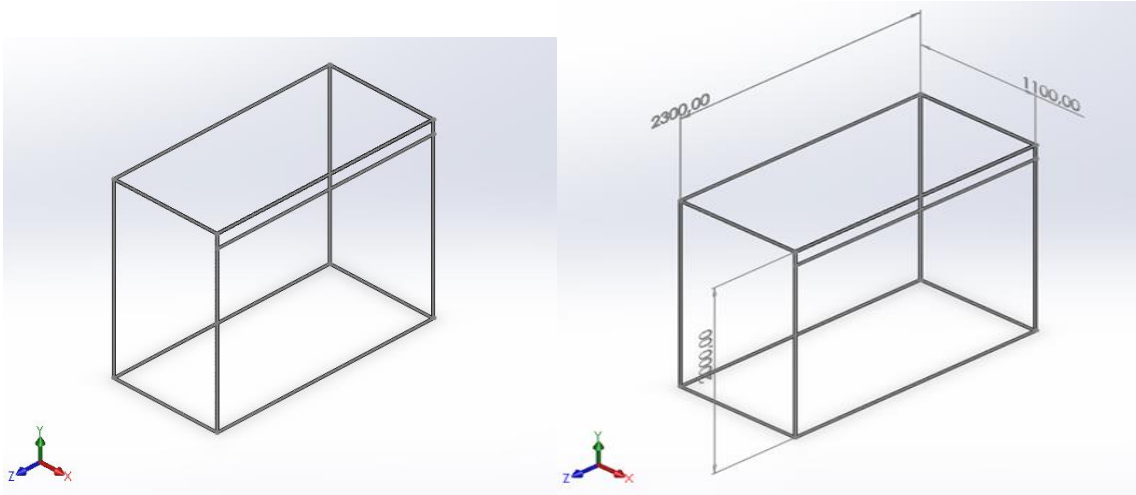
## Plataforma base paseras



## Paseras



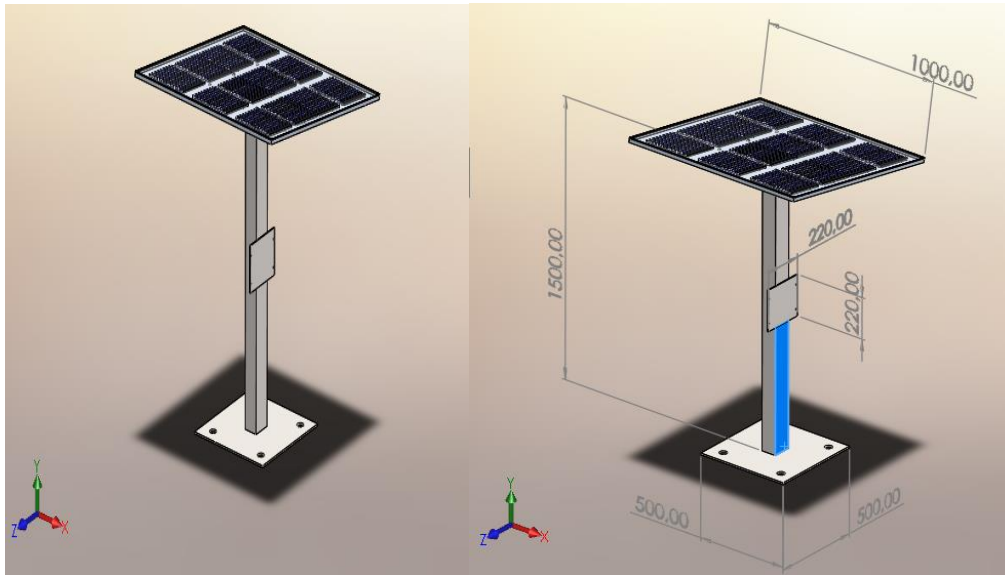
### Cubierta marquesina



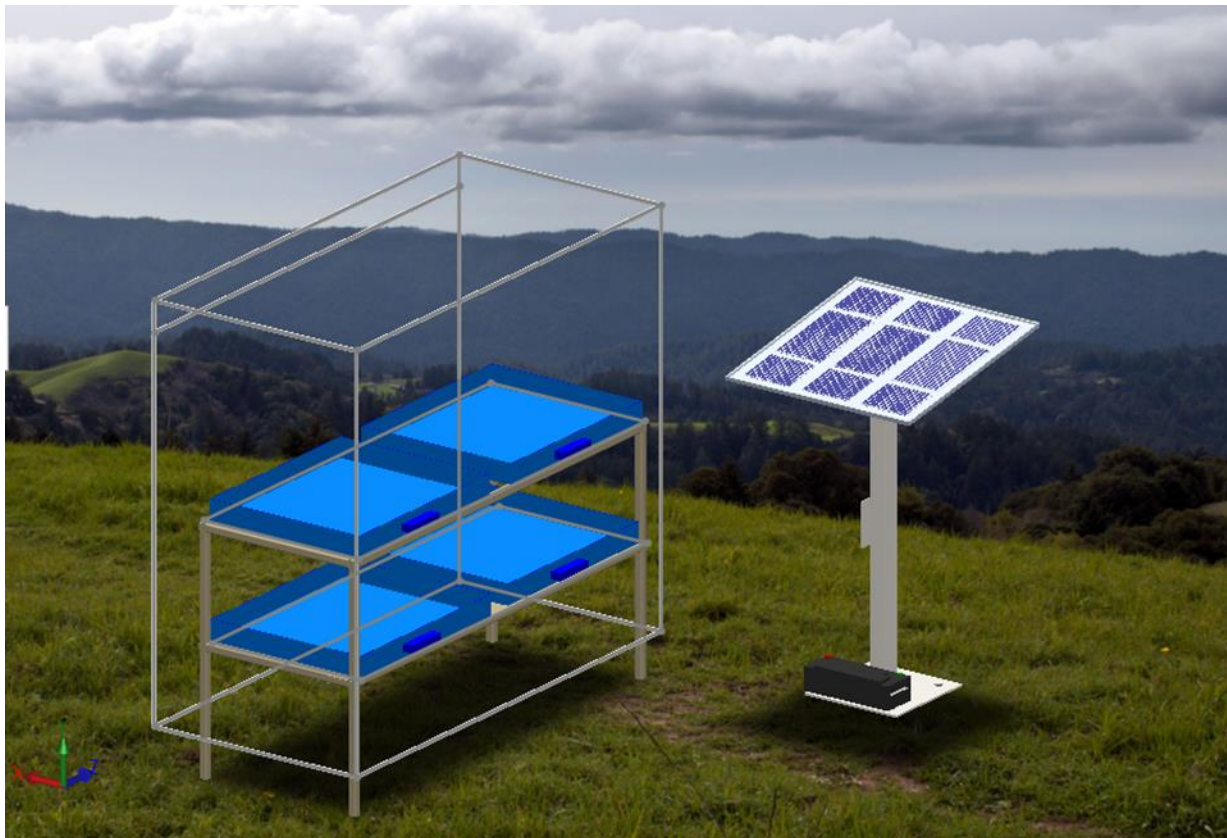
### Marquesina y cubierta



### *Panel solar*

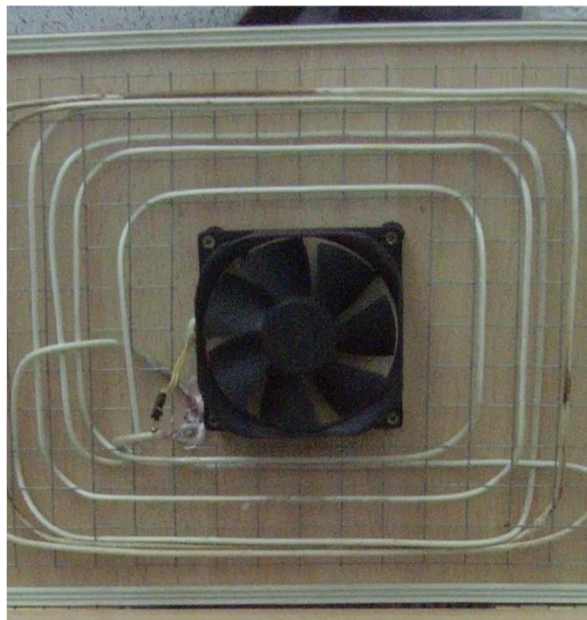
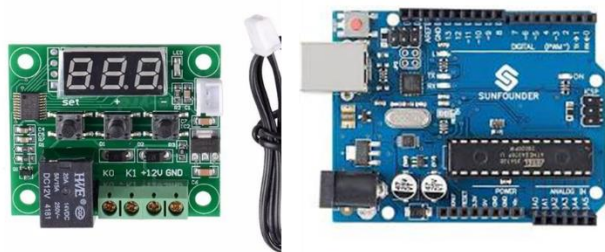
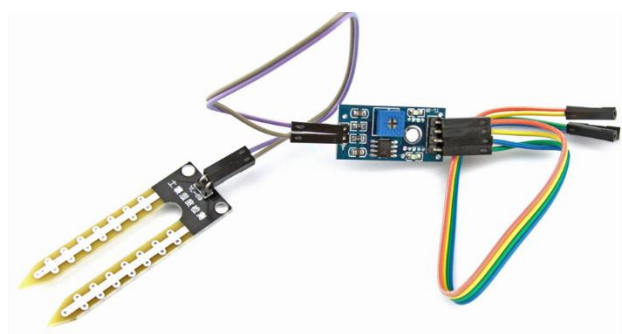


### **Ensamble completo del prototipo**



### Anexo 3

#### Elementos del control electrónico de secado del café



## Anexo 4

### Imágenes de la construcción de la secadora de café





