



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

DISEÑO DE UN SECADOR SOLAR DE CAFÉ CON FLUJO DE AIRE CONTINUÓ

PROPORCIONADO POR UN VENTILADOR ALIMENTADO POR ENERGÍA

FOTOVOLTAICA, HONDURAS

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN ENERGÍA

PRESENTADO POR:

21711212 JOAQUIN ORLANDO ESPINOZA LARA

ASESOR: ALICIA MARÍA REYES DUKE

CAMPUS SAN PEDRO SULA; OCTUBRE, 2020

DEDICATORIA

A mis abuelos, Don Joaquin Lara y Doña Teresa Melara; quienes han sido unos padres para mí, quienes me dieron su apoyo incondicional desde mis primeros días y a quienes les debo la mayor parte de mis logros y de lo que soy.

A mi madre, Liset Lara; por esos esfuerzos impresionantes, por ese amor invaluable y por qué este logro lo he alcanzado en gran parte gracias a ella.

A mi padre, Guido Espinoza; que, a pesar de no haber crecido junto a él, siempre he tenido su apoyo incondicional.

A mi hermana menor, Loany; para quien trato de ser una mejor persona cada día y hacer las cosas de la mejor manera para poder ser un ejemplo para ella.

A mi novia, Jennifer; por estar conmigo en las buenas, pero sobre todo en las malas, y por ser esa persona que siempre ha estado ahí dándome ese apoyo moral que muchas veces necesité para alcanzar este logro.

A mis compañeros y amigos; con quienes he podido compartir y aprender de ellos en esta etapa de mi vida y por estar ahí siempre que los necesito.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, a Dios, por permitirme llegar a este punto de mi carrera y por brindarme la sabiduría necesaria para realizar con éxito esta investigación.

A mi asesora metodológica, la Ing. Alicia Reyes; por dirigirme y orientarme de la mejor manera en este trabajo.

A todos los productores de café y dueños de beneficios que contribuyeron de una u otra manera a la realización de este proyecto.

RESUMEN EJECUTIVO

La actividad cafetalera representa la tercera actividad más importante para la generación de divisas en Honduras, esta actividad requiere de varios procesos para la obtención del café puro, dentro de ellos se encuentra el proceso de secado, que es uno de los más importantes debido a que es donde se reduce la humedad del café de un 50-65% a un 10-12% y esta fase es esencial para el desarrollo del sabor, es por eso que esta investigación se enfoca en una forma de agilizar el proceso de secado, esto mediante el diseño de un secador solar con flujo de aire continuo, el cual, es proporcionado por un ventilador alimentado por energía solar fotovoltaica, la presente investigación determinó la inversión inicial que implica la implementación del prototipo y también la cantidad mínima de café que debe secar un cafetalero de Ocotepeque en este prototipo para que sea rentable, asimismo se determinó la capacidad máxima de café que se puede secar de una sola vez que son 20 qq, siendo esta cantidad también la mínima que se debe de secar por temporada para que el prototipo sea rentable. El enfoque de esta investigación fue mixto debido a que se realizaron entrevistas abiertas a productores de café, y también se implementó la recopilación de datos con base en la medición numérica y se hizo uso del análisis estadístico, mediante un análisis de sensibilidad en el cual se obtuvo un 90% de probabilidad de éxito para la implementación de este prototipo.

Palabras clave: *proceso de secado, reducción de humedad, secador solar.*

ABSTRACT

The coffee activity represents the third most important activity for the generation of foreign exchange in Honduras, this activity requires several processes to obtain pure coffee, within them is the drying process, which is one of the most important because is where the humidity of the coffee is reduced from 50-65% to 10-12% and this phase is essential for the development of the flavor, that is why this research focuses on a way to speed up the drying process, this Through the design of a solar dryer with continuous air flow, which is provided by a fan powered by photovoltaic solar energy, the present investigation determined the initial investment involved in the implementation of the prototype and also the minimum amount of coffee that must be dried. a coffee grower from Ocotepeque in this prototype to make it profitable, likewise the maximum capacity of coffee that can be dried at one time was determined, which is 20 qq, this quantity being it is also the minimum that must be dried per season for the prototype to be profitable. The focus of this research was mixed because open interviews were conducted with coffee producers, and data collection was also implemented based on numerical measurement and statistical analysis was used, through a sensitivity analysis in which obtained a 90% probability of success for the implementation of this prototype.

Key words: *drying process, humidity reduction, solar dryer.*

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCION.....	1
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
2.1.	Precedentes del problema.....	2
2.2.	Definición del problema.....	4
2.3.	Justificación.....	5
2.4.	Preguntas de Investigación.....	5
2.5.	Objetivos.....	6
2.5.1.	Objetivo General.....	6
2.5.2.	Objetivos Específicos.....	6
III.	MARCO TEÓRICO.....	7
3.1.	Análisis de situación actual.....	7
3.1.1.	Análisis del Macroentorno.....	7
3.1.1.1.	África.....	7
3.1.1.2.	Asia.....	8
3.1.1.3.	Europa.....	8
3.1.2.	Análisis del Microentorno.....	9
3.1.2.1.	Costa Rica.....	9
3.1.2.2.	México.....	9
3.1.2.3.	Colombia.....	10
3.1.2.4.	Perú.....	10
3.1.2.5.	Cuba.....	11
3.1.3.	Análisis Interno.....	12
3.1.3.1.	Producción y Exportación.....	12

3.1.3.2.	Regiones Cafetaleras	13
3.1.3.3.	Proceso del Café.....	14
3.1.3.3.1.	Secado Artificial o Mecánico	16
3.1.3.3.2.	Secado Natural al Sol	16
3.2.	Teoría del sustento	16
3.2.1.	Secador Solar.....	16
3.2.1.1.	Estructura	17
3.2.1.2.	Material Semitransparente	17
3.2.1.3.	Ventanas.....	17
3.2.2.	Sistema Fotovoltaico Autónomo.....	18
3.2.2.1.	Panel solar.....	18
3.2.2.2.	Inversor	19
3.2.2.3.	Batería	19
3.2.2.4.	Controlador de Carga.....	19
IV.	METODOLOGÍA	21
4.1.	Enfoque	21
4.2.	Variables de Investigación	22
4.2.1.	Variable dependiente	22
4.2.1.1.	Ganancia por secar el café.....	22
4.2.2.	Variables independientes.....	22
4.2.2.1.	Precio del café.....	23
4.2.2.2.	Cantidad de café	23
4.2.2.3.	Disminución de peso por pérdida de humedad	23
4.2.2.4.	Penalización por humedad.....	23
4.3.	Hipótesis	23

4.3.1.	Hipótesis de la investigación (Hi).....	24
4.3.2.	Hipótesis Nula (Ho)	24
4.4.	Técnicas e Instrumentos aplicados.....	24
4.5.	Materiales.....	25
4.6.	Población y Muestra.....	26
4.7.	Metodología de Estudio	29
4.7.1.	Búsqueda de información.....	30
4.7.2.	Definición de variables.....	30
4.7.3.	Diseño del prototipo.....	30
4.7.4.	Análisis financiero	30
4.7.5.	Análisis de sensibilidad	30
4.8.	Limitantes.....	31
4.9.	Cronograma de Actividades.....	31
V.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	32
5.1.	Generalidades del secador	32
5.2.	Presupuesto.....	33
5.3.	Análisis Financiero.....	35
5.4.	Análisis de Sensibilidad.....	40
VI.	CONCLUSIONES	42
VII.	RECOMENDACIONES	43
VIII.	APLICABILIDAD / IMPLEMENTACIÓN	44
IX.	EVOLUCIÓN DE TRABAJO ACTUAL / TRABAJO FUTURO	45
	Bibliografía	46

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Histórico de los precios del café húmedo y café seco	4
Ilustración 2. Precio del café pergamino húmedo vs café pergamino seco.....	4
Ilustración 3. Exportaciones anuales en miles de sacos de 46kg. y millones de dólares	12
Ilustración 4. Mapa de regiones cafetaleras.....	14
Ilustración 5. Etapas del proceso del café	15
Ilustración 6. Partes de un secador solar.....	17
Ilustración 7. Esquema general básico de un sistema fotovoltaico autónomo	18
Ilustración 8. Panel Solar.....	18
Ilustración 9. Inversor Xantrex	19
Ilustración 10. Prototipo evaluado en la investigación	20
Ilustración 11. Afectación de variables independientes respecto a la dependiente.....	22
Ilustración 12. Secador solar visto de una perspectiva externa	26
Ilustración 13. Interior de un secador solar	26
Ilustración 14. Departamento de Ocoatepeque.....	27
Ilustración 15. Distribución porcentual de la muestra.....	29
Ilustración 16. Metodología de estudio	29
Ilustración 17. Vista lateral del prototipo evaluado.....	32
Ilustración 18. Prototipo de secador solar con flujo de aire continuo.	33
Ilustración 19. Flujo de efectivo acumulado sin financiamiento.....	37
Ilustración 20. Flujo de efectivo acumulado con financiamiento	37
Ilustración 21. Flujo de efectivo acumulado sin financiamiento.....	39
Ilustración 22. Flujo de efectivo acumulado con financiamiento	39
Ilustración 23. Previsión de la variable dependiente.....	41
Ilustración 24. Gráfico de sensibilidad.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales productores de café a nivel mundial	13
Tabla 2. Nivel de confianza con base al valor de Z.....	28
Tabla 3. Cronograma de Actividades	31
Tabla 4. Presupuesto para implementación del prototipo	34
Tabla 5. Entradas del análisis financiero para 20 qq de café	36
Tabla 6. Salidas del análisis financiero para 20 qq de café.....	37
Tabla 7. Entradas del análisis financiero para 50 qq de café	38
Tabla 8. Salidas del análisis financiero para 50 qq de café.....	39
Tabla 9. Variables para análisis de sensibilidad.....	40

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Muestra Finita	27
Ecuación 2. Muestra de la investigación.....	28

LISTA DE SIGLAS Y GLOSARIO

Despulpado: Operación que consiste en extraer la pulpa de algunos frutos.

Manteados: Lona que se emplea para diversos usos.

Propiedades organolépticas: Son las características físicas que pueden percibir los sentidos sobre un alimento.

Taza de la Excelencia: es un evento de la Alliance for Coffee Excellence (ACE) que es una organización sin fines de lucro establecida en Estados Unidos de Norte América y el Instituto Hondureño del Café es la institución encargada en Honduras de la organización y desarrollo de esta importante competencia.

Trazabilidad: Serie de procedimientos que permiten seguir el proceso de evolución de un producto en cada una de sus etapas.

I. INTRODUCCION

Honduras ocupa de los primeros lugares a nivel mundial en el ranking de producción de café, de los productores que contribuyen a que esto sea posible el 95% son pequeños productores, en un panorama general del país el 70% de los pequeños productores venden el café húmedo a intermediarios.

Vender el café húmedo les evita a los productores tener una mayor ganancia, debido a que no se le da el proceso de secado al café, este proceso por lo general se realiza exponiendo el café al sol hasta que este disminuya su humedad hasta un porcentaje deseado, por otro lado el resto de los pequeños productores de café en Honduras que si realizan el proceso de secado lo hacen mayormente en patios, y según algunos expertos en café esto no es recomendado primordialmente porque el café no se seca uniformemente, lo que conlleva a que una parte no alcanza el nivel de humedad deseado, además que al estar al aire libre este puede adquirir toxinas o malos olores, precisamente en esta investigación se diseñará un prototipo para estos productores que venden el café húmedo el cual consiste en un secador solar con flujo de aire continuo proporcionado por ventiladores los cuales estarán alimentados por energía solar fotovoltaica, y asimismo servirá como una alternativa para los productores que realizan el proceso de secado en patio, esta opción de secado de café puede traer muchos beneficios, tanto para las personas que venden el café húmedo así como también para aquellos que lo secan en patios debido a que al utilizar el método tradicional de secado en patio muchas veces el café pierde su calidad por consiguiente su precio disminuye. Por esto mismo el diseño de este prototipo presenta una alternativa a todos los productores de obtener una mayor ganancia en su producto.

Esta investigación se llevará a cabo durante los meses de julio, agosto y septiembre del año 2020 y según los resultados que se obtengan puede haber una posible implementación en los meses de octubre, noviembre y diciembre que son los meses de la temporada de café.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el siguiente apartado se presentará los precedentes y definición del problema por el cual se decidió realizar esta investigación, asimismo se presentará la justificación y las preguntas de investigación que se estudiarán a lo largo de este proceso de investigación, también se presentarán los objetivos tanto el general como los específicos que son mediante los cuales se guiará este proyecto de investigación.

2.1. PRECEDENTES DEL PROBLEMA

Durante algunos años atrás Honduras fue famosa por su producción de bananas, en 1929 este producto representó el 80% de sus exportaciones, pero con el paso del tiempo para el periodo contenido entre 1970 y 1996 la producción de café en Honduras aumentó en un 200%, y es aquí donde el café se convierte en un producto comercial, y superó a la banana como el producto líder de exportación (Zambrano, 2020), desde sus principios los pequeños productores son los que más participación han tenido en la producción de café, y estos al ser pequeños productores no tienen suficientes recursos para darles el proceso debido o para culminar su proceso hasta obtener el café oro, la mayoría de los pequeños productores a lo largo de la historia del café en Honduras así como en la actualidad venden su café húmedo debido a que no tienen donde poder secar su producto, pero esto no es para todos los productores algunos con esfuerzo y con el fin de obtener mayores ganancias han implementado diversas formas para secar el café.

En Honduras se realizan diferentes tipos de secado de café, desde los tradicionales hasta otros modernos, empezando por los primeros métodos usados como el secado en zarandas o las llamadas camas africanas, otras personas han realizado el secado en manteados sobre la tierra, luego se pasó a utilizar el secado en patios que es uno de los más comunes, y actualmente se ha iniciado el secado mediante secadores solares de plástico (Pineda Mejía, Reyes Fernández, & Oseguera), el secado en zarandas ha sido olvidado debido a la poca cantidad de café que se puede secar a la vez, por lo que se trascurrió al secado en manteados y que aún lo utilizan muchos pequeños productores por lo económico que resulta este método para secar el café, sin embargo de esta forma el café absorbe un olor a tierra lo que es malo para la calidad del mismo, por otra parte los productores con más estabilidad económica han implementado construcciones de

patios para realizar el proceso de secado, pero esta forma de secar el café al igual que las mencionadas anteriormente tienen una desventaja y es que el producto se encuentra expuesto a la intemperie lo cual perjudica la calidad del café, es por eso que se han implementado algunos secadores solares de plástico actualmente, los cuales permiten secar bajo cualquier condición climática y mejora la calidad del café, (Lara, 2020)

El secado es un proceso al cual se somete el café en su transformación para ser utilizado, aquí es donde se elimina el agua del grano hasta un nivel que permita su equilibrio con el aire del ambiente, de una manera que este pueda conservar su aspecto, aroma y calidad (Arias, 1993). La humedad es un factor principal que puede definir la calidad del café, los granos con alto porcentaje de humedad son propensos para desarrollar microorganismos que dañan el producto, estos muchas veces provocan hongo y enmohecimiento del grano. (Jerez, 2006)

En Ocoatepec, según una encuesta aplicada por Espinoza (2020) a pequeños productores de café, 7 de cada 10 productores venden el café mojado, esto debido a diversas razones, entre la más mencionada es que además del tiempo, requiere mucho trabajo realizar el proceso de secado en patio, esto implica incluir una mano de obra extra, por lo que los productores afirman, que para ellos no es rentable económicamente secar el café, debido a que tardan más tiempo y el porcentaje extra que reciben por secarlo, lo ocupan para pagar la mano de obra es por eso que la mayoría decide venderlo directamente mojado.

También cabe mencionar que para realizar el proceso de secado en patio se necesita disponibilidad de espacio además contar con un patio o construir uno, muchos de estos pequeños productores no cuentan con un patio, por lo que su mejor alternativa es no secarlo.

En la ilustración 1 se puede observar la variación del precio del café húmedo y el café seco por quintal desde la cosecha 2009/2010 hasta la cosecha 2019/2020.

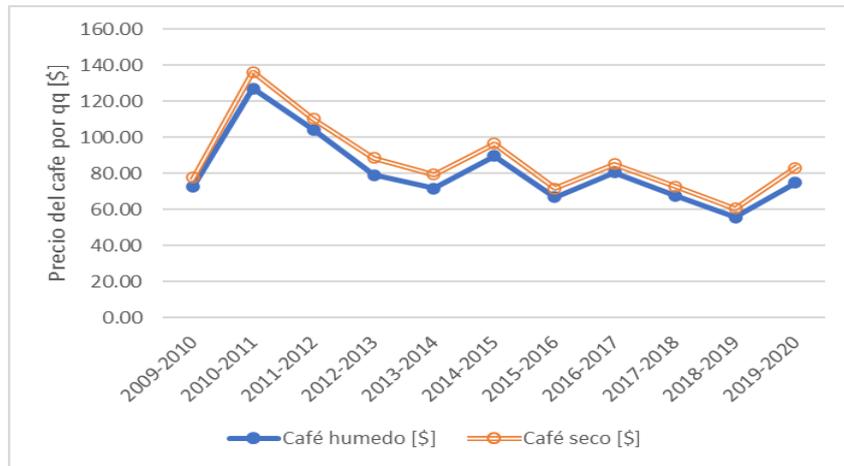


Ilustración 1. Histórico de los precios del café húmedo y café seco

Fuente: Elaboración propia

2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Todos aquellos productores que venden el café que producen mojado, están evitando ganar un porcentaje de dinero extra, esto por no realizar el proceso de secado de café, para estos productores se realizara el diseño de un secador solar de café con flujo de aire continuo, proporcionado por un ventilador impulsado por energía solar fotovoltaica

En la ilustración 2 podemos observar la diferencia de precio que existe entre el café pergamino húmedo y el café pergamino seco que es alrededor de \$ 6.56 por quintal de café, esta diferencia significaría una ganancia por la implementación de un secador solar.

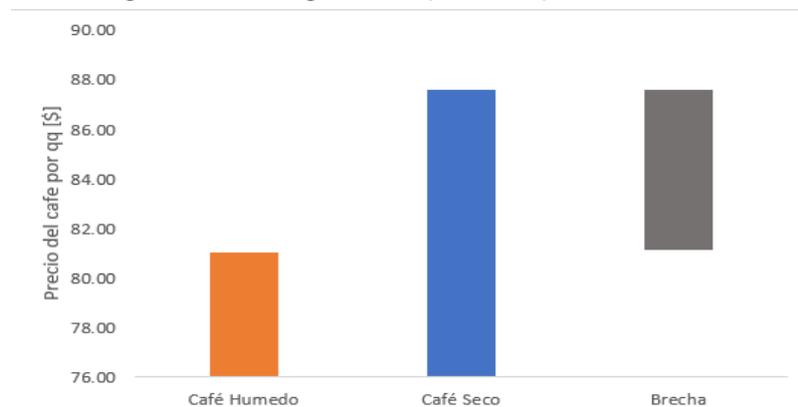


Ilustración 2. Precio del café pergamino húmedo vs café pergamino seco

Fuente: Elaboración propia

2.3. JUSTIFICACIÓN

En el departamento de Ocotepeque el 80% de café que ingresa en los beneficios es café húmedo (Torres, 2020), lo cual se debe en su mayoría a la falta de espacio para realizar este proceso, a esto también se le puede agregar que la implementación de un patio tiene costos elevados.

Este es un proyecto que según los resultados que se obtengan puede ser muy beneficioso no solo para las personas que venden el café directamente mojado, sino también para aquellos pequeños y medianos productores que realizan el proceso de secado en patios.

Los pequeños productores de café al realizar este proceso tradicional de secado natural del café, están perdiendo calidad en su producto por consiguiente pierde un valor monetario en este.

Al evitar exponer el café húmedo al pleno sol y al aire libre y, poderlo acondicionar en un espacio donde no entren toxinas, ni polvo y las temperaturas sean más constantes agiliza el proceso de secado así mismo la calidad del café, por lo que la implementación de un secador solar con flujo continuo de aire contraería una mejora en el proceso del secado con respecto al secado natural tradicional. (Prada, P. Vela, Bardález, & Saavedra, 2019)

En Honduras los pequeños productores representan el 95% del total de productores totales, se considera pequeño productor a todos aquellos que producen de 1 a 50 quintales de café y por lo general rondan entre 3 y 5 manzanas de cultivo de este producto, sin embargo muchos pequeños productores sobrepasan los 50 quintales en algunas cosechas de café esto se debe al cuidado que se le dé a la finca (Santos, 2020).

2.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son las dimensiones del prototipo?

¿Cuál es la capacidad máxima de café que puede secar y en cuánto tiempo?

¿De cuánto es la inversión a realizar en este proyecto?

¿Cuánto es la cantidad mínima de quintales de café que debe procesar el secador solar para que sea rentable la implementación del mismo?

2.5. OBJETIVOS

A continuación, se plantea el objetivo general y los objetivos específicos que se desean alcanzar.

2.5.1. OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un secador solar de café con flujo de aire continuo impulsado mediante energía fotovoltaica en el Departamento de Ocotepaque.

2.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir el tamaño del prototipo y la capacidad máxima de secado por ronda.
- Desarrollar el análisis financiero de la implementación de un prototipo de secador solar con flujo de aire continuo.
- Determinar la cantidad mínima que debe producir un cafetalero para que el prototipo sea rentable.
- Desarrollar un análisis de sensibilidad para determinar una previsión en distintos escenarios.

III. MARCO TEÓRICO

En el marco teórico se hablará de la situación actual tanto en el macroentorno, así como en el microentorno y la situación interna del país. También se establecerán las teorías del sustento de la investigación.

3.1. ANÁLISIS DE SITUACIÓN ACTUAL

En la situación actual se analizará el macroentorno, microentorno y la situación interna.

3.1.1. ANÁLISIS DEL MACROENTORNO

Existen diversas formas de secado de café, cada región a nivel mundial implementa formas similares de secado ya sea tradicionales o algunas formas más recientes que cada país va adaptando según sus características como un panorama general se puede mencionar a continuación algunas formas que utilizan en según región:

3.1.1.1. *África*

Según algunos registros fue en África donde se comenzó a procesar el café de una forma más similar como se procesa en la actualidad, dentro de este proceso se contempla lo que es el secado que es uno de los puntos más críticos donde se conserva el aroma y el sabor que identifica este producto (Meira Borém, y otros, 2017), este proceso lo realizan de diversas formas, en África y Medio Oriente, que fue la región en la cual el café comenzó a ser secado, este proceso era realizado mediante la vía natural, en donde el café se seca con la cascara que tiene, en zarandas y algunas personas en patios, este proceso se realiza aprovechando la energía que nos proporciona el sol para así lograr disminuir la humedad del café hasta el porcentaje requerido. Este proceso estuvo vigente hasta la llegada de los secadores mecánicos, en los cuales el café se seca más rápido, pero a costos mucho más elevados, pero a pesar de la llegada de estos secadores en esta región africana aún hay muchos productores que realizan el secado en las camas africanas o en patios debido al potencial solar que presenta esta zona (Bassey & Schmidt, 1986)

En muchos de los países africanos productores de café, han realizado su proceso de secado mediante la vía natural debido a que África presenta unas condiciones

climatológicas muy favorables para realizar este tipo de secado, en el país de Etiopía uno de los mayores productores de café a nivel mundial, un 71 % del proceso de secado se realiza mediante la vía natural y el restante se realiza mediante la vía húmeda el cual equivale al 29%. (Ameyu, 2017)

3.1.1.2. *Asia*

Este continente representa la segunda región con mayor producción de café a nivel mundial, debido a los países productores que se encuentran en este continente como ser Indonesia, Vietnam, India, Tailandia, Filipinas, Laos, Nueva Guinea. (International Coffee Organization, 2017)

Existen algunos estudios orientados al secado del café en esta región dentro de ellos encontramos un estudio desarrollado por Ghosh y Venkatachalapathy, (2014) en el cual se detalla lo que es este importante proceso del café que es el secado, y realizan comparaciones entre los diferentes tipos de secados que hay como ser el secado mecánico, secado al sol y mixto, cabe recalcar que en el continente asiático muchos productores hacen uso de el secado mecánico, debido a que países como china produce este tipo de tecnología, sin embargo en la mayoría de países predomina el proceso de secado al sol en patios o camas africanas.

3.1.1.3. *Europa*

De este continente se puede decir que en si no es una región productora de café, pero si se puede afirmar que es la región con mayor importación de este producto. (IHCAFE, 2016)

Sin embargo se han realizado estudios relacionados con el secado y la calidad del café, un estudio que se realizó en Holanda especifica que las técnicas de producción del café se realizan sobre reglas y estándares no escritos, pero a pesar de esto la industria del café está en constante cambio debido al desarrollo de nuevos métodos para el proceso de este y los conceptos de transparencia y trazabilidad que están adoptando los productores, este mismo estudio hace énfasis en el productor para que realice todas las etapas de la cadena adecuadamente y que la producción sea de café de calidad, para esto se siguen estrategias a lo largo de todo el proceso. (Boot, 2013)

3.1.2. ANÁLISIS DEL MICROENTORNO

En nuestro entorno cercano podemos encontrar diversas formas de agilizar el secado, una de estas es la implementación de secadores solares, podemos encontrar de este tipo en países cercanos como por ejemplo Costa Rica, México, Colombia, Perú y Cuba.

3.1.2.1. *Costa Rica*

Costa Rica ocupa la posición 14 en los principales países productores de café a nivel mundial (IHCAFE, 2016), por lo general en Costa Rica aquellas personas o sociedades que tienen beneficios pequeños son los que aportan producto de mayor calidad (Gunnerod & Hasse, 2016), esto sucede porque las cantidades de café que reciben y procesan son menores, por lo que se le puede dar un mejor proceso al grano, esto se puede afirmar mediante la Taza de la Excelencia y también se puede observar en los precios que reciben los beneficios pequeños que procesan un café de calidad (Rodríguez, 2017)

En Costa Rica existe una falta de estudios, guías o manuales para la realización del proceso de secado, esto se debe en parte a que el proceso de secado natural no es muy conocido a nivel nacional y también la falta de trasmisión de la información que tienen algunos beneficios que han realizado estudios de diferentes procesos, con fines de privacidad o miedo a que les roben ideas (Sánchez-Godínez, 2017)

3.1.2.2. *México*

México se encuentra en la posición 11 de los países principales en exportación y producción a nivel mundial (IHCAFE, 2016), el café en México se identifica por su importancia económica y social, en este país que aporta del 3 al 6 por ciento de producción del café mundial, proveniente de 12 estados en los cuales hay aproximadamente 780 mil hectáreas de plantaciones de café, el 66% del café es de productores con menos de 10 hectáreas y de estos el 45% es de productores con menos de 5 hectáreas, estos son pequeños productores y están ubicados un poco más de la mitad de ellos en los estados de Chiapas y Oaxaca, la mayoría cuentan con menos de 2 hectáreas sin embargo aportan el 43% de la producción nacional. (Pérez Grovas, Cervantes, Burstein, Carlsen, & Hernández, 2002)

En todos los países se sostiene que el secado del café es un proceso fundamental para la calidad del mismo, a pesar de que el café tiene mucho tiempo de ser cultivado en

algunos estados de México como por ejemplo Chiapas y Oaxaca las tecnologías para el secado son limitadas, los pueblos indígenas tiene diversos métodos de secado en esta región sin embargo los métodos más usados por los pequeños productores es el secado en patios de cemento, el cual tiene un contacto directo con el piso y a la intemperie, lo que conlleva en algunas ocasiones la pérdida de la calidad. (Berrueta Soriano & Limón Aguirre)

3.1.2.3. *Colombia*

Colombia ocupa el tercer lugar tanto en exportaciones como en producción de café a nivel mundial (IHCAFE, 2016), el café colombiano es catalogado como suave lavado, y esto se debe principalmente al proceso de secado que se le da, en general Colombia utiliza el beneficiado por vía húmeda, este proceso comprende las etapas de recolección, despulpado, la remoción del mucílago, el lavado y el secado obteniendo así el café pergamino seco, llevar un control de condiciones y equipos en cada una de las etapas del beneficiados da como resultado una mejor calidad en el café. (Quintero, 2000)

En Colombia Cenicafe desarrollo un secador solar parabólico y este ha sido adoptado por muchos productores de café en colombianos, sin embargo, con el fin de disminuir costos e incrementar el aprovechamiento de la energía obtenida del sol se diseñó un nuevo secador tipo túnel, este es bastante similar al secador parabólico, pero con un menor costo de implementación. (Oliveros Tascón, Ramírez Gómez, Sanz Uribe, & Peñuela Martínez, 2006), Colombia es uno de los países en el cual utilizan una mayor cantidad de secadores solares, sin embargo, el método de secado de café predominante es el secado en patios (Torres, 2020)

3.1.2.4. *Perú*

Perú ocupa el décimo lugar en los principales productores de café a nivel mundial y el séptimo después de Honduras en exportaciones a nivel mundial. (IHCAFE, 2016)

Desde hace dos décadas atrás el café se ha convertido en el principal producto agrario de exportación, alrededor de 370 mil hectáreas es la cantidad de las zonas de cafetales productoras en Perú y estas son en su mayoría de pequeños productores. (Gomero Osorio, Medina Medina, & Vera Rojas)

En Perú así como en la mayoría de países productores de café la cosecha se realiza manualmente por obreros, esta actividad consiste prácticamente en movilizarse hasta las fincas y cortar el café maduro de las plantas, luego este grano pasa a ser despulpado para después proceder con lo que es el lavado y el secado, todo esto en las condiciones ambiente las cuales en algunas ocasiones pueden afectar la calidad física y sensorial del café, muchos de los compradores determinan la calidad del grano debido a las características físicas y organolépticas de este, las cuales impulsan al comprador a pagar un precio mayor por café de calidad, lo que significa que el productor tendrá un mayor ingreso. Pero así también estos ingresos pueden ser menores cuando el café se encuentra bajo algunas condiciones que afectan su calidad, por ejemplo, la temperatura, la temperatura a la que se seca el café puede afectar la acidez y el carácter afrutado. (Bertrand, y otros, 2012)

En Perú se realizó un estudio sobre un secador solar con flujo de aire continuo en el cual se demostró que esta tecnología es viable, utilizar esta alternativa evita que el café se seque sobre mantas de plástico, lonas sobre la tierra, lo cual hace que el café absorba un olor a tierra lo cual afecta su calidad, este prototipo es recomendado usarlo según los resultados obtenidos, en estos secadores se tarda en un promedio de 5 días para el proceso de secado, muchos de los productores peruanos han optado por este secador solar, sin embargo en Perú ha predominado y sigue predominando el secado en patios (Prada, P. Vela, Bardález, & Saavedra, 2019)

El estudio mencionado anteriormente es el que sirvió de inspiración para realizar esta presente investigación en el departamento de Ocotepeque de la región cafetalera de Copan, Honduras.

3.1.2.5. *Cuba*

En Cuba está bastante desarrollado el tema de los secadores solares, debido al auge que han tenido las energías renovables en este país, Cuba es una isla que se encuentra en el caribe y que tiene un gran potencial de energía solar a lo largo de todo el año, esto provoca condiciones favorables para obtener energía térmica de la energía del sol.

Cuba aprecia el secado solar como una alternativa altamente rentable, debido a que este tipo de secado se caracteriza por tener un alto potencial energético, económico, social y

ecológico esto debido a la explotación de fuentes renovables de energía, Cuba ha instalado diversos tipos de secadores solares en la zona oriental de Cuba, asimismo aprovechando su potencial solar el método predominante de secado ha sido el secado en patios. (Bergues Ricardo, Bèrriz Pèrez, & Griñan Villafañe)

3.1.3. ANÁLISIS INTERNO

En este apartado se hablará sobre el panorama general de producción, exportación, regiones cafetaleras, y las formas del proceso de secado de café en Honduras.

3.1.3.1. Producción y Exportación

En la ilustración 3 podemos observar el comportamiento de exportación que ha tenido Honduras desde la cosecha 1998-1999 hasta la de 2015-2016.

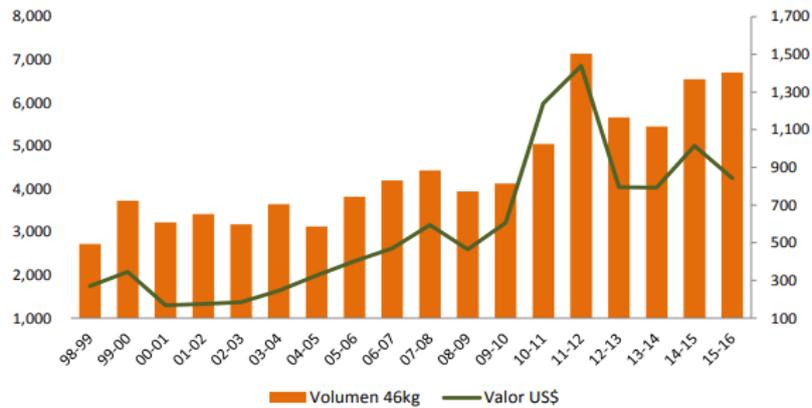


Ilustración 3. Exportaciones anuales en miles de sacos de 46kg. y millones de dólares

Cosecha 1998-1999 a 2015-2016

Fuente: (IHCAFE, 2016)

Honduras es un país destacado en la producción de café, ha ocupado el sexto lugar a nivel mundial en exportación de café, y el séptimo lugar en producción de café como se puede observar en la tabla 1, con un 3.5% de la producción a nivel mundial, en Latinoamérica ocupa el tercer lugar en producción después de Brasil y Colombia, y a nivel centroamericano es líder de exportación y producción con un 40% de la producción regional. (IHCAFE, 2016)

Tabla 1. Principales productores de café a nivel mundial

Orden	País
1	Brasil
2	Vietnam
3	Colombia
4	Indonesia
5	Etiopía
6	India
7	Honduras

Fuente: Elaboración propia basado en datos de (IHCAFE, 2016)

En Honduras la caficultura aporta un 30% del PIB agropecuario, y entre el 3% y 5% del PIB nacional, con una generación de USD 850-1100 millones de divisas, las cuales generan ingresos para 120 mil familias y 300 mil trabajadores (IHCAFE, 2016). Se estima que la actividad cafetalera es la tercera actividad más importante para la generación de divisas en Honduras después de la maquina textil y las remesas de migrantes.

3.1.3.2. *Regiones Cafetaleras*

En Honduras 15 de los 18 departamentos producen café, en estos se incluyen 210 municipios productores de los 298. (IHCAFE, s.f.)

Estos departamentos productores se dividen en zonas, específicamente en 6 zonas (IHCAFE, s.f.):

- Región de Copán: Comprende los departamentos de Copan, Ocotepeque, Parte de Lempira, Cortés y Santa Barbara.
- Región de Opalaca: Esta región incluye los departamentos de Santa Barbara, Intibucá y Lempira.
- Región de Montecillos: La Paz, Comayagua, Santa Barbara e Intibucá.
- Región de Comayagua: Incluye los departamentos de Comayagua y Francisco Morazán.

- Región de El Paraíso: El Paraíso, y Parte de los departamentos de Choluteca y Olancho.
- Región de Agalta: Comprende los departamentos de Olancho y Yoro.

Podemos apreciar la ubicación de cada región el mapa de la Ilustración 4.



Ilustración 4. Mapa de regiones cafetaleras

Fuente: (IHCAFE, s.f.)

La zona de estudio de la presente investigación ocupa lugar en el departamento de Ocotepeque el cual se ubica en la zona cafetalera de Copán.

3.1.3.3. *Proceso del Café*

El café debe pasar un largo proceso para llegar hasta el punto de consumo, dentro de este proceso y tomando en cuenta la vía de secado húmedo que es la que predomina en Honduras, las etapas son las siguientes:

- a) Obtención del fruto, esta fase es cuando se corta el grano de la planta de café.
- b) Despulpado, esta fase se refiere a la remoción del mucilago, y este proceso se realiza mediante despulpadoras.
- c) Fermentación, luego remover el mucilago es necesario fermentar el grano durante 24 horas, para que el grano libere la miel que contiene.
- d) Lavado, una vez culminan las 24 horas de fermentación, el grano debe ser lavado para retirar la miel que libera.
- e) Secado, esta es la etapa donde se reduce la humedad del grano.
- f) Remoción de la casulla, después de secar el café se debe remover la casulla del grano para obtener el café oro.

- g) El tueste, en esta etapa se debe tostar el café en hornos o maquinas especiales para esta fase.
- h) El molido, después de tostar el café este se muele y ya esta listo para ser embolsado y comercializado o para pasar a la siguiente y última fase del café la cual es la preparación.
- i) La preparación, es la fase donde se prepara el café molido para ser consumido como bebida.

En la ilustración 5, se muestran las etapas del café cronológicamente, y destacando que esta investigación se enfoca únicamente en la fase de secado.

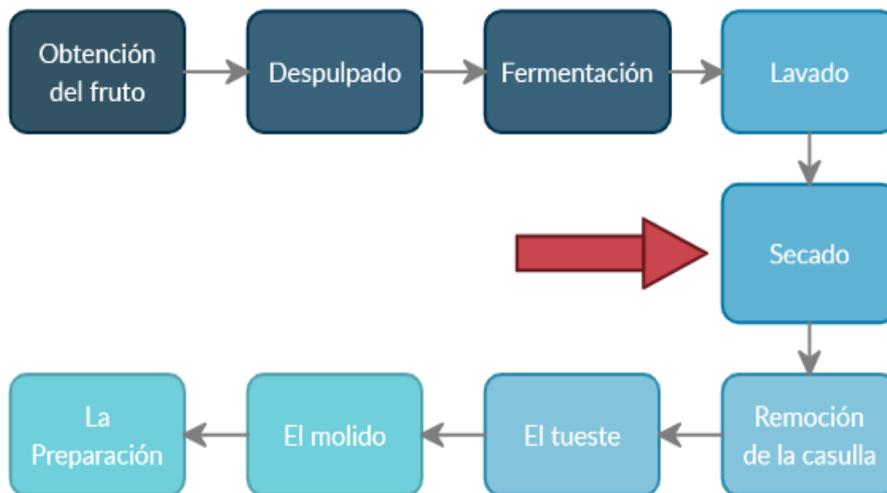


Ilustración 5. Etapas del proceso del café

Fuente: Elaboración Propia

El proceso del secado es uno de los más esenciales en la vía de secado húmedo, debido a que si no se realiza correctamente en esta etapa puede ocurrir más del 70% de los defectos que se determinan al preparar el café para exportarlo. Este proceso prácticamente consiste en disminuir el porcentaje de humedad del grano, esta disminución va de un 50-55% hasta el 10-12% de humedad. (Pineda Mejia, Reyes Fernández, & Oseguera)

El café en Honduras se seca por dos sistemas, el secado natural al sol y el secado artificial o mecánico.

3.1.3.3.1. *Secado Artificial o Mecánico*

El secado artificial en pocas palabras se puede decir que es aquel que utiliza fuentes de energía que no sea la obtenida directamente del sol, las fuentes puede ser leña, derivados del petróleo, energía eléctrica, entre otros, por lo general estas fuentes alimentan un generador de calor mediante el cual se realiza el proceso de secado (Pineda Mejía, Reyes Fernández, & Oseguera).

3.1.3.3.2. *Secado Natural al Sol*

Esta forma de secar el café es una de las más antiguas y se le conoce como secado por radiación, en general debido a que el tiempo de secado es más prolongado que el de secado artificial y que la implementación resulta más económica, este método lo sabe utilizar pequeños y medianos productores. Dentro de los métodos usados tenemos en zarandas, patios de concreto, manteados y secadores solares de plástico. (Pineda Mejía, Reyes Fernández, & Oseguera)

Según la entrevista realizada a un productor y exportador de café del municipio de La Encarnación, Departamento de Ocotepique (Torres, 2020), el proceso que ha predominado y que sigue predominando es el secado en patio, según Torres (2020), son pocos los productores que realizan el proceso de secado, pero los que lo hacen lo realizan en patios, y un pequeño porcentaje hace uso de zarandas o secadores solares, por otro lado los secadores mecánicos en su totalidad lo usan aquellas personas u organizaciones intermediarias que compran el café a los pequeños productores.

3.2. TEORÍA DEL SUSTENTO

En el siguiente apartado se presentan las teorías en las cuales se afianza esta investigación.

3.2.1. SECADOR SOLAR

Un secador solar es una estructura construida con diferentes materiales la cual sigue el principio de un invernadero, en donde el aire del interior es calentado por el sol, y esto con el fin de aumentar la absorción de la humedad dentro de este, esta humedad se expulsara para afuera de la estructura mediante la entrada de aire nuevo y frio (Magem, 2016)

En la ilustración 6 podemos apreciar las principales partes de un secador solar tipo invernadero.

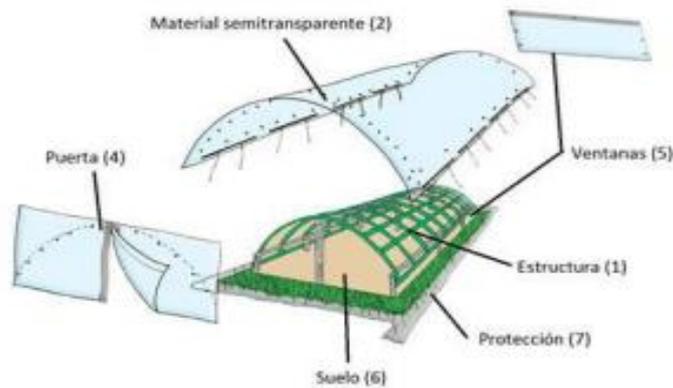


Ilustración 6. Partes de un secador solar

Fuente: (Magem, 2016)

3.2.1.1. *Estructura*

La estructura es el soporte del invernadero, es la que soporta el material semitransparente y las bandejas donde irá el café, la estructura debe ser resistente y de un tamaño adecuado para evitar perder poder de secado, puede ser de madera, bambú, entre otros. (Magem, 2016)

3.2.1.2. *Material Semitransparente*

Este material permite que la radiación entre al espacio de secado y se produzca el efecto invernadero que se necesita, y este material tiene que ser resistente a los rayos solares y a la intemperie. (Magem, 2016)

3.2.1.3. *Ventanas*

Se necesita tener al menos una ventana o chimenea que permita la salida de aire para que la humedad pueda salir, en este caso solo se necesita una ventana de salida debido a que la entrada será por medio del ventilador.

3.2.2. SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO

Un sistema fotovoltaico autónomo es aquel que no está conectado a la red, y por lo tanto es utilizado para alimentar aparatos eléctricos en zonas remotas aisladas de la red (Abella), los componentes básicos de una instalación fotovoltaica son los mostrados en la ilustración 7:

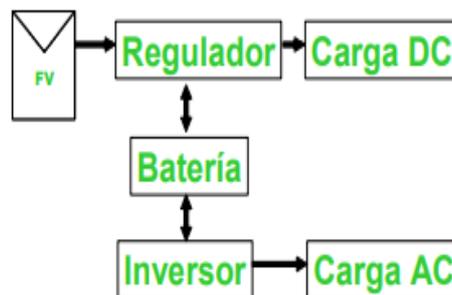


Ilustración 7. Esquema general básico de un sistema fotovoltaico autónomo

Fuente: (Abella)

3.2.2.1. *Panel solar*

Los paneles solares son la esencia de un sistema fotovoltaico, en este caso es uno de los principales elementos que brindara la energía para el ventilador que proporcionara el flujo de aire continuo al secador, y prácticamente el panel se encarga de hacer una conversión de la energía solar a energía eléctrica. (Soto Olea, Hernández Vanegas, Almarza, & Jofré, 2018)

En la ilustración 8 podemos observar un panel solar de 200 W y de 12 V policristalino.



Ilustración 8. Panel Solar

Fuente: (AutoSolar, s.f.)

3.2.2.2. *Inversor*

Un inversor tiene la finalidad de convertir la corriente directa que proviene de los paneles solares a corriente alterna para poderla usar en un hogar o un edificio, por lo general la vida útil de los inversores es de 10 años y puede llegar a transformar la energía con un 98% de eficiencia. (Soto Olea, Hernández Vanegas, Almarza, & Jofré, 2018)

En la ilustración 9 se muestra un inversor Xantrex de 12 V y 700 W.



Ilustración 9. Inversor Xantrex

Fuente: (AutoSolar, s.f.)

3.2.2.3. *Batería*

La batería en un sistema fotovoltaico tiene la funcionalidad de acumular electricidad durante las horas de sol y permitir la operación cuando el sistema fotovoltaico no puede por sí mismo generar la potencia suficiente para el consumo requerido. Otra funcionalidad es estabilizar el voltaje o la corriente y también para poder suministrar picos de corriente. (Abella)

3.2.2.4. *Controlador de Carga*

En la mayor parte de los sistemas fotovoltaicos con batería que son autónomos es necesario un sistema para regular la carga, y esto debido a que la función de este es realizar un proceso óptimo en la carga de la batería, y evita la sobrecarga y la sobredescarga. (Abella)

En la ilustración 10 podemos observar el prototipo que se está analizando el cual combina un sistema fotovoltaico autónomo que alimenta un ventilador, el cual proporciona un flujo de aire continuo a un secador solar.

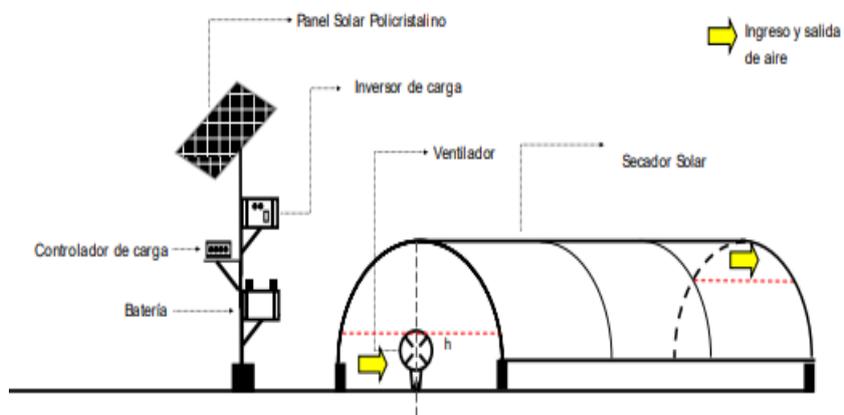


Ilustración 10. Prototipo evaluado en la investigación

Fuente: (Prada, P. Vela, Bardález, & Saavedra, 2019)

IV. METODOLOGÍA

A continuación, se detallará la metodología, en donde se explicará el enfoque de la investigación, así como las variables, población, muestra, materiales, hipótesis y metodología de estudio.

4.1. ENFOQUE

En una investigación se encuentran 3 tipos de enfoque dentro de ellos se tiene el cuantitativo, cualitativo y mixto:

El enfoque cuantitativo es aquel que se va acotando y una vez se delimita, se derivan los objetivos y preguntas de investigación. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010)

Por otro lado, el enfoque cualitativo es aquel que utiliza datos sin medición numérica por lo que el análisis no es estadístico. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010)

Por último, el enfoque mixto es aquel que combina los dos enfoques mencionados anteriormente.

En el caso de la presente investigación se utiliza un enfoque mixto esto debido a que se aplican las dos definiciones vistas anteriormente, se hará análisis basado en números para determinar la brecha de ganancia del productor y para realizar el cálculo de la inversión del secador solar, así como también se aplicaran técnicas como ser entrevistas abiertas y se evaluarán experiencias personales a los pequeños productores de la región cafetalera de copan.

4.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

A continuación, se presentan las variables independientes, así como también la dependiente. En la ilustración 11 podemos observar cómo afecta las variables independientes a la dependiente.

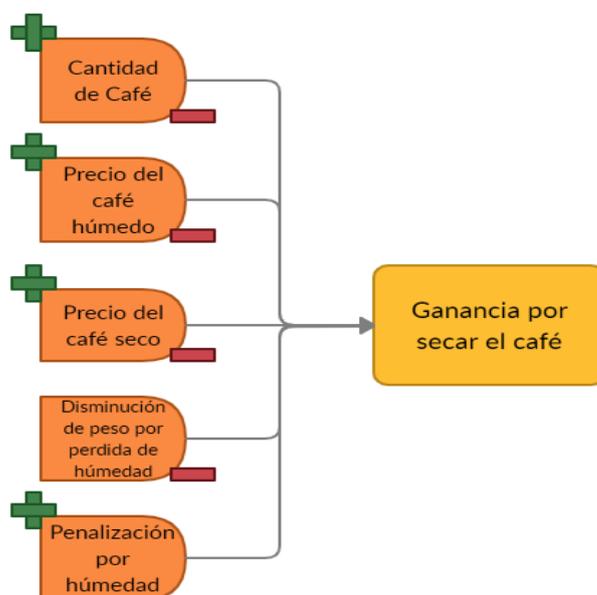


Ilustración 11. Afectación de variables independientes respecto a la dependiente

Fuente: Elaboración propia

4.2.1. VARIABLE DEPENDIENTE

La ganancia que se obtendrá al realizar el proceso de secado es la que definirá si el prototipo planteado es rentable o no.

4.2.1.1. *Ganancia por secar el café*

La ganancia de secar el café proviene de la diferencia que se tiene entre los precios de café húmedo y seco, debido a que si vendemos nuestro café húmedo recibimos una cantidad de dinero menor a la que se recibe si se le realiza el proceso de secado.

4.2.2. VARIABLES INDEPENDIENTES

Las variables independientes son aquellas que afectan la o las dependientes en este caso se tienen las siguientes:

4.2.2.1. *Precio del café*

El precio del café es al precio al cual compra el producto húmedo y seco los beneficios es aquí donde se da la brecha de ganancia que puede tener un productor de café al realizar el proceso de secado. El precio del café en los últimos años ha tenido bajos y altos por lo que esto afecta nuestra variable dependiente tanto positiva como negativamente, cuando los precios están bajos la brecha entre café húmedo y seco es más estrecha, en comparación de cuando el precio esta alto.

4.2.2.2. *Cantidad de café*

La cantidad de café es una variable clave en la investigación, esta variable define cuantos quintales de café se secarán en total durante una temporada o un año, entre mayor es la cantidad de café que se seca mayores serán las ganancias, y viceversa si la cantidad de café a secar es demasiado baja las ganancias son menores y pueden poner en riesgo la viabilidad del prototipo, por lo que esta variable nos puede afectar positiva y negativamente.

4.2.2.3. *Disminución de peso por pérdida de humedad*

Esta variable se refiere a la disminución que presentará el café en el peso neto, este es un suceso que pasará siempre cuando se realiza el proceso de secado de café, esto debido a que al extraer la humedad del grano el peso va disminuir, por lo que es una variable que afecta negativamente al proyecto, entre menor sea el porcentaje en el que disminuye el peso es mejor para la viabilidad del prototipo.

4.2.2.4. *Penalización por humedad*

Esta es una penalización que recibe el café húmedo en los beneficios cuando se va vender, esto depende de la cantidad de humedad que lleve, el porcentaje de penalización ronda entre 40% y 50%, esto afecta positivamente el proyecto porque entre más grande es la penalización que le pongan al café húmedo más grande es la ganancia que se puede obtener al realizar el proceso de secado.

4.3. HIPÓTESIS

A continuación, se presentará la hipótesis de investigación y la hipótesis nula de la misma.

4.3.1. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN (H1)

La implementación de un secador solar de café, con un flujo de aire continuo, el cual es impulsado por energía solar fotovoltaica proporciona beneficios monetarios para los productores de café que realizan el proceso de secado en este prototipo.

4.3.2. HIPÓTESIS NULA (H0)

La implementación de un secador solar de café, con un flujo de aire continuo, el cual es impulsado por energía solar fotovoltaica no proporciona beneficios monetarios para los productores de café que realizan el proceso de secado en este prototipo.

4.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Para la realización de la investigación se utilizan técnicas tradicionales como la entrevista y aplicación de encuestas abiertas a pequeños productores en el occidente de Honduras.

La entrevista se puede definir como aquella acción de reunirse y tener un encuentro cara cara en la que se realizaran una serie de preguntas y respuestas sobre un tema de interés. (Rodríguez, 2012)

La encuesta es una técnica bastante usada en el procedimiento de la investigación, ya que permite obtener y elaborar datos reales de un modo rápido, esta técnica permite la aplicación de la misma de una forma masiva y se puede obtener información sobre un amplio conjunto de cuestiones a la vez. (Casas Anguita, Repullo Labrador, & Donado Campos, 2003)

Dentro de las herramientas a usar tenemos los programas SolidWorks, Microsoft Excel, Crystal Ball:

1. SolidWorks: es un software de diseño 3D y en el cual se pueden modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. En esta investigación se utilizará para realizar un diseño 3D del prototipo a utilizar.
2. Microsoft Excel: Este programa será utilizado para realizar los cálculos financieros de la implementación del prototipo.
3. Crystal Ball: Es un programa que se utiliza dentro de Excel y este tiene la funcionalidad de realizar análisis de sensibilidad, predicciones, previsiones, etc.

En la presente investigación contribuye para sensibilizar las variables independientes de la investigación y así poder analizar diferentes escenarios para la variable dependiente.

4.5. MATERIALES

Dentro de los materiales a utilizar para construir este prototipo se tiene:

- Nylon transparente el cual es utilizado para para cubrir el secador solar.
- Tubos de pvc de 3/4, estos son utilizado para hacer los arcos o estructura del secador solar.
- Mallas para las zarandas, aquí es donde se coloca el café para secarlo.
- Alambre galvanizado este para fijar los tubos pvc entre si
- Madera para construir las bases de las zarandas
- Clavos para fijar la madera entre sí
- Rollos de manguera para fijar el nylon a las zarandas
- Cabuya para fijar el nylon a los tubos de pvc

Y para el flujo de aire continuo se necesita:

- Batería seca
- Inversor
- Controlador de carga
- Ventilador
- Estructura de soporte para el modulo
- Cable para conexión eléctrica

Dentro de las herramientas para la construcción se tiene:

- Barra o Chuzo
- Martillo
- Metro
- Machete
- SERRUCHO o Motosierra
- Nivel

En la ilustración 12 se puede observar lo que es un secador solar por fuera.



Ilustración 12. Secador solar visto de una perspectiva externa

Fuente: Foto proporcionada por un productor

En la ilustración 13 se puede observar un secador solar por la parte interna.



Ilustración 13. Interior de un secador solar

Fuente: Foto proporcionada por un productor

4.6. POBLACIÓN Y MUESTRA

Se estima según un miembro del IHCAFE (Santos, 2020) que en el departamento de Ocatepeque hay 7099 productores en total los cuales representan nuestra población a estudiar.

En la ilustración 14 se puede observar el departamento de Ocatepeque el cual es donde se encuentra nuestra población a estudiar.



Ilustración 14. Departamento de Ocotepaque

Fuente: (Hammer, n.d.)

Para determinar la muestra de una población finita se aplica la siguiente fórmula:

$$n = \frac{NZ^2pq}{d^2(N - 1) + Z^2pq}$$

Ecuación 1. Muestra Finita

Fuente: (Barojas, 2005)

En donde:

n= tamaño de la muestra

N= tamaño de la población

Z= nivel de confianza con base al valor de Z crítico

p= proporción aproximada del fenómeno en estudio en la población de referencia

q= (1-p)

d= nivel de precisión absoluta

En la tabla 2 podemos observar el nivel de confianza con base al valor de Z que se utiliza en esta fórmula:

Tabla 2. Nivel de confianza con base al valor de Z

Nivel de confianza	Valor de Z
80%	1.28
85%	1.44
90%	1.65
95%	1.96
99%	2.58

Fuente: (Barojas, 2005)

Para nuestro caso las variables de la formula tomara los siguientes valores:

N= 7099

Z= 1.28

p= 0.05

q= 0.95

d=0.05

$$n = \frac{(7099)(1.28)^2(0.05)(0.95)}{(0.05)^2(7099 - 1) + (1.28)^2(0.05)(0.95)} = 32$$

Ecuación 2. Muestra de la investigación

Fuente: (Barojas, 2005)

Como muestra se involucraron 32 personas a las cuales se le aplicaron encuestas y entrevistas, al 62% que equivalen a 20 personas se les aplico una encuesta, al 25% que es equivalente a 8 personas se les realizo una entrevista vía llamada, y a 4 que representan el 13% de nuestra muestra se les realizo una entrevista personal. En la ilustración 15 se puede observar la distribución porcentual mencionada anteriormente.

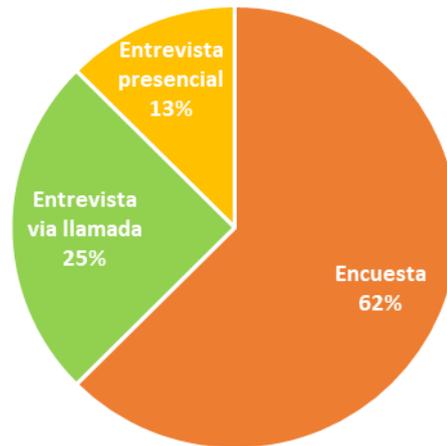


Ilustración 15. Distribución porcentual de la muestra

Fuente: Elaboración Propia

4.7. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

“La metodología del estudio hace referencia al conjunto de procedimientos racionales utilizados para alcanzar una gama de objetivos que rigen en una investigación científica, conocimientos o tareas que requieren habilidades” (Lopez, 2013).

En la ilustración 16 podemos observar las fases que fueron necesarias para alcanzar los objetivos planteados.

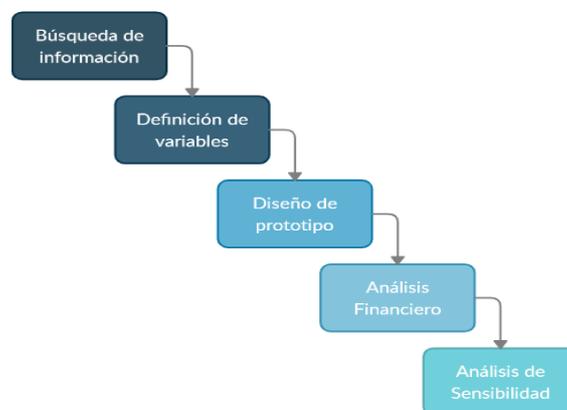


Ilustración 16. Metodología de estudio

Fuente: Elaboración Propia

4.7.1. BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

En la presente investigación se inició con la recolección de datos para fundamentar el marco teórico, asimismo se consultó los precios de café húmedo y seco en beneficios del departamento de Ocotepique para determinar la brecha de ganancia que existe entre ambos precios, se realizaron entrevistas a personas que tienen prototipos similares implementados, se aplicaron encuestas a pequeños productores para saber la cantidad que producen de café y si lo venden seco o húmedo.

4.7.2. DEFINICIÓN DE VARIABLES

Se determinaron cuales eran las variables que afectan en nuestro proyecto y se definieron cada una de ellas, tanto las variables independientes como la variable dependiente, en donde la variable dependiente es la ganancia por secar el café, y las variables dependientes son: la cantidad de café, el precio de café húmedo, el precio de café seco, la disminución de peso neto por pérdida de humedad, y la penalización por humedad.

4.7.3. DISEÑO DEL PROTOTIPO

Es aquí donde se establecieron las dimensiones del prototipo, la capacidad de quintales de café que puede secar en un lapso de tiempo, los materiales que se utilizaron, así como también se realizó la elaboración del prototipo en 3D en el software de diseño SolidWorks y la simulación del comportamiento del flujo de aire en este mismo software.

4.7.4. ANÁLISIS FINANCIERO

Se realizó el presupuesto con los precios de los materiales a utilizar y por consiguiente se obtuvo la inversión inicial, se investigaron tasa de interés para el análisis con financiamiento, se tomaron en cuenta los precios del café en los últimos 10 años, y se procedió a realizar todo el análisis de finanzas para obtener parámetros como el VAN, la TIR, el periodo de retorno de la inversión y el ROI.

4.7.5. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Se realizó el análisis de sensibilidad para obtener diferentes escenarios posibles con la variación de nuestras variables independientes, y hace poder obtener una probabilidad estadística de éxito o fracaso.

4.8. LIMITANTES

En el caso de esta investigación una de las limitantes fue las visitas de campo, debido a que por la pandemia no se pudieron realizar, siendo las visitas de campo muy importantes debido a que se pueden obtener datos más específicos y se pueden comprender de una mejor manera.

4.9. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 3. Cronograma de Actividades

Actividades realizadas	Semanas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Introducción		■								
Planteamiento del problema		■								
Marco Teórico		■	■							
Metodología				■	■					
Simulación SolidWorks					■					
Simulaciones PVsyst					■	■				
Análisis financiero						■	■	■		
Análisis de sensibilidad						■	■	■		
Resultados y Análisis						■	■	■		
Conclusiones							■	■		
Recomendaciones							■	■		
Correcciones de documento final									■	
Entrega de informe final									■	
Predefensa										■

Fuente: Elaboración propia

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el siguiente capítulo se detallarán los resultados obtenidos a lo largo del periodo de investigación, asimismo se realizará el análisis correspondiente de los resultados.

5.1. GENERALIDADES DEL SECADOR

El diseño de este secador solar es de 3.5 metros de ancho, 10 metros de largo y 2.5 metros de alto, este tipo de secador cumple la función de un invernadero, almacena calor para extraer la humedad del grano y luego expulsarla fuera del secador mediante flujos de aire, en este caso este prototipo cuenta con un flujo de aire forzado, el cual es proporcionado por un ventilador que se encuentra en un extremo del secador, este ventilador es alimentado por energía generada por un sistema solar fotovoltaico aislado y este prototipo tiene una vida útil de 10 años.

En el interior del invernadero se encuentran dos filas de zarandas (aquí es donde se coloca el café para ser secado), una a cada lado, estas se encuentran a una altura sobre el nivel del suelo de 0.9 metros, tienen un ancho de 1.3 metros y 10 metros de largo.

La capacidad máxima de este secador es de 20 quintales los cuales los seca en un mínimo de 3 días cuando el clima es favorable (soleado) y un máximo de 6 días cuando el clima no es tan favorable. (Torres, 2020)

En la ilustración 17 se puede observar la vista lateral del prototipo evaluado.



Ilustración 17. Vista lateral del prototipo evaluado

Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 18 se puede observar el prototipo evaluado desde una perspectiva superior.

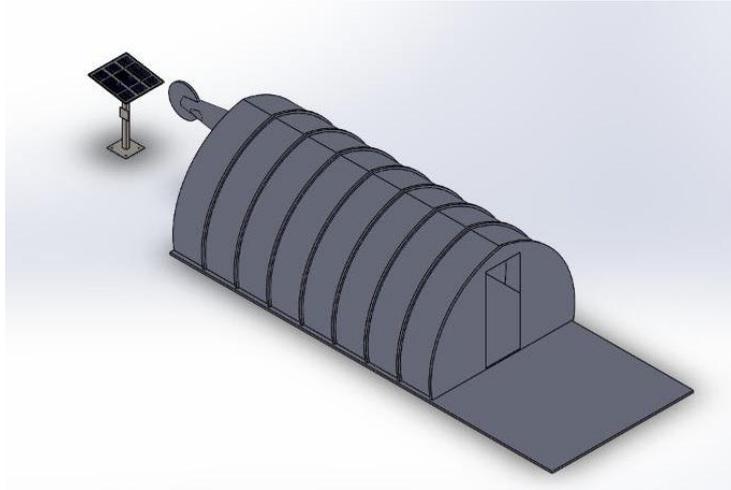


Ilustración 18. Prototipo de secador solar con flujo de aire continuo.

Fuente: Elaboración propia

5.2. PRESUPUESTO

El presupuesto muestra la inversión inicial para este prototipo, la cual se puede observar en la tabla 4, donde se detallan los materiales a utilizar, la cantidad, su precio unitario, y su precio total.

Tabla 4. Presupuesto para implementación del prototipo

Material	Cantidad	Precio unitario [lps]	Precio total [lps]
Nylon (m)	30	65.6166	1968.498
Tubos pvc 3/4	11	85	935
Zaranda (m)	20	43.7444	874.888
Alambre Galvanizado (lbs)	20	23	460
Cajas de Grampa	5	40	200
Clavo de 4" (lbs)	4	20	80
Clavo de 3" (lbs)	4	20	80
Cabuya (lbs)	2	60	120
Royo de manguera 1/2	1	240	240
Madera (pie)	362.2	12	4346.4
Ventilador (200 W)	1	455.33	455.33
Panel solar (300 Wp)	1	1626.9	1626.9
Inversor (250 W)	1	1848.75	1848.75
Controlador de carga	1	929.68	929.68
Batería seca (12 V, 26A)	1	4393.86	4393.86
L- foot	4	70.25	281
End clamps	4	55.46	221.84
Riel	2	826.26	1652.52
Ground Clamps	1	158.74	158.74
Cableado			372
Mano de Obra			4000
		Total Lps	25245.41

		Total \$	1024.15
--	--	-----------------	---------

Fuente: Elaboración propia

5.3. ANÁLISIS FINANCIERO

En el análisis financiero de la presente investigación cuenta con un análisis sin financiamiento y otro con financiamiento.

En el análisis con financiamiento se toma en cuenta una tasa de interés de 8.7% anual con un financiamiento del 100%, estos son datos obtenidos de una entrevista realizada a Guillermo (2020), quien es un trabajador del Banco de Occidente, quien menciona la iniciativa agrocrédito 8.7 la cual apoya el sector agrícola con la tasa de interés mencionada anteriormente.

El análisis se realizó mediante dos diferentes cantidades de café las cuales son 20 qq de café, la cual es la capacidad máxima del prototipo, y mediante el análisis financiero se obtuvo que 20 qq es la cantidad mínima para que el prototipo sea rentable con una inversión sin financiamiento y para una inversión con financiamiento, la otra cantidad con la cual se realizó el análisis es con 50 qq esta cantidad es tomando en cuenta que un pequeño productor ronda entre 1-50 qq por temporada, sin embargo este secador puede secar esta cantidad de café en un promedio de 15 días, y un mínimo de 9 días con condiciones favorables, por lo que este secador puede secar mayores cantidades de café con respecto a las seleccionadas anteriormente.

En la tabla 5 se pueden apreciar las entradas del análisis financiero cuando la cantidad de café es de 20 qq.

Tabla 5. Entradas del análisis financiero para 20 qq de café

Inversión Inicial [\$]	1024.15
Cantidad de café [qq]	20
Operación [\$/qq]	1.52
Mantenimiento (cada dos años) [\$]	98.52
Disminución de peso neto por pérdida de humedad [%] (proceso de secado)	30%
Penalización por humedad [%] (en beneficios de compra y venta)	40%
Tasa de retorno para VAN [%]	10%
Inversión fondos propios (con financiamiento) [%]	0%
Deuda del proyecto (con financiamiento) [%]	100%
Inversión fondos propios (con financiamiento) [\$]	0.00
Deuda del proyecto (con financiamiento) [\$]	1024.15
Tasa de interés anual [%]	8.70%
Plazo de préstamo [años]	10
Numero de pagos por año [-]	1
CRF [-]	0.154
Cuota nivelada [\$]	157.48
Tasa de descuento [%]	2.53%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6 se pueden observar las salidas del análisis cuando la cantidad de café a secar es de 20 qq, en donde se tiene que para este escenario es rentable realizar la implementación con una inversión con financiamiento, así como también sin financiamiento.

Tabla 6. Salidas del análisis financiero para 20 qq de café

Descripción	Sin Financiamiento	Con Financiamiento
Periodo de Recuperación de la Inversión [años]	4.51	3.90
VAN [\$]	221.62	472.86
TIR [%]	15.29%	20.08%
ROI [%]	21.64%	46.17%

Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 19 se puede apreciar el flujo de efectivo acumulado sin financiamiento al secar una cantidad de 20 qq.

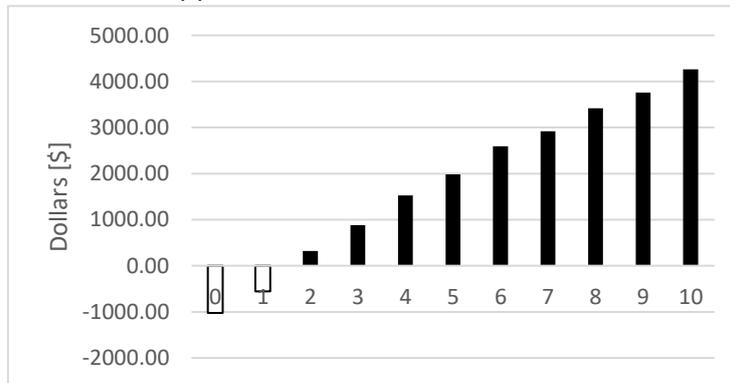


Ilustración 19. Flujo de efectivo acumulado sin financiamiento

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 20 se muestra el flujo de efectivo acumulado con financiamiento al secar 20 qq de café.

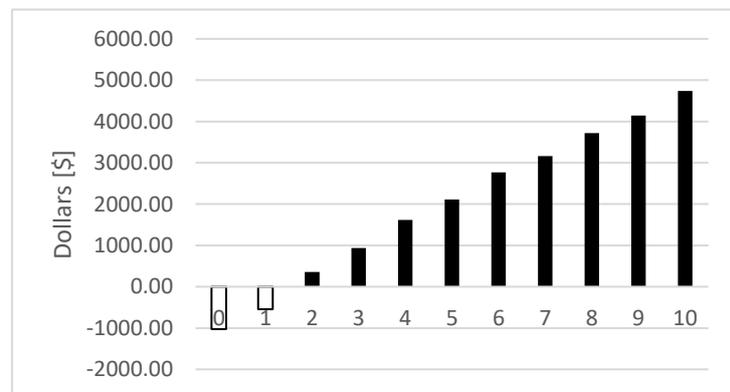


Ilustración 20. Flujo de efectivo acumulado con financiamiento

Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, se encuentra el siguiente escenario en el cual se secan 50 qq de café, para este escenario en la tabla 7 se encuentran los parámetros de entrada.

Tabla 7. Entradas del análisis financiero para 50 qq de café

Inversión Inicial [\$]	1024.15
Cantidad de café [qq]	50
Operación [\$/qq]	1.52
Mantenimiento (cada dos años) [\$]	98.52
Disminución de peso neto por pérdida de humedad [%] (proceso de secado)	30%
Penalización por humedad [%] (en beneficios de compra y venta)	40%
Tasa de retorno para VAN [%]	10%
Inversión fondos propios (con financiamiento) [%]	0%
Deuda del proyecto (con financiamiento) [%]	100%
Inversión fondos propios (con financiamiento) [\$]	0.00
Deuda del proyecto (con financiamiento) [\$]	1024.15
Tasa de interés anual [%]	8.70%
Plazo de préstamo [años]	10
Numero de pagos por año [-]	1
CRF [-]	0.154
Cuota nivelada [\$]	157.48
Tasa de descuento [%]	2.53%

Fuente: Elaboración Propia

De estos parámetros de entrada se obtienen los parámetros de salida de la tabla 8. Para este escenario al contrario que el anterior si es viable sin financiamiento y con financiamiento.

Tabla 8. Salidas del análisis financiero para 50 qq de café

Descripción	Sin Financiamiento	Con Financiamiento
Periodo de Recuperación de la Inversión [años]	1.63	1.6
VAN [\$]	2355.24	2606.48
TIR [%]	57.48%	59.94%
ROI [%]	229.97%	254.50%

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 21 se puede apreciar el flujo de efectivo acumulado sin financiamiento al secar una cantidad de 50 qq.

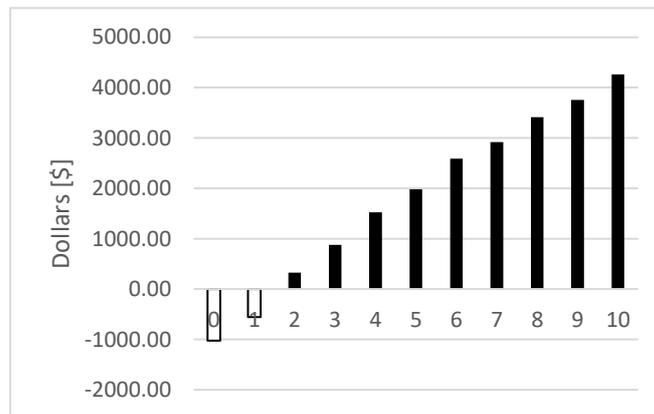


Ilustración 21. Flujo de efectivo acumulado sin financiamiento

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 22 se muestra el flujo de efectivo acumulado con financiamiento al secar 50 qq de café.

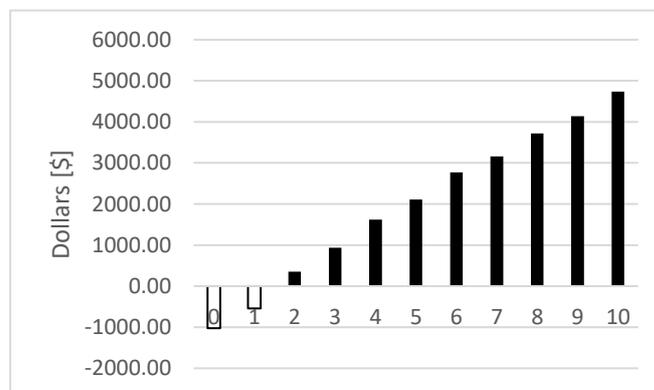


Ilustración 22. Flujo de efectivo acumulado con financiamiento

Fuente: Elaboración Propia

5.4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Para la realización del análisis de sensibilidad se analizarán algunas variables independientes que influyen sobre la variable dependiente, las cuales se aprecian en la tabla 9, las variables independientes son la cantidad de café la cual en este análisis de sensibilidad tomara valores en un rango mayor a 20 qq, el precio de café húmedo rondará entre \$55.8-\$127.15 y el seco entre \$60.74-\$136.28, la disminución de peso neto por pérdida de humedad tendrá un rango de 20%-40% y la penalización por humedad será entre 40%-50%, mientras que la diferencia es la variable dependiente, esta se obtiene de la resta de los ingresos por café seco menos los ingresos por venta de café húmedo, siendo así esta diferencia la ganancia extra que recibe un caficultor por realizar el proceso de secado y está siempre será mayor que \$0.

Tabla 9. Variables para análisis de sensibilidad

Cantidad de café [qq]	50
Precio del Café Húmedo [\$]	81.05
Precio del Café Seco [\$]	87.61
Disminución de peso neto por pérdida de humedad [%] (proceso de secado)	30%
Penalización por humedad [%] (en beneficios de compra y venta)	40%
Ingreso por venta de café húmedo [\$]	2431.5
Ingreso por venta de café seco [\$]	3066.35
Diferencia [\$]	634.85

Fuente: Elaboración Propia

Para realizar este análisis de sensibilidad se utilizó la herramienta Crystal Ball en el cual se obtuvieron los resultados de la ilustración 23, en la cual se puede observar que en 10000 escenarios posibles hay una certeza de un 90% de que las ganancias del prototipo se encuentren entre 300 y 8400 dólares esto según el valor que tomen las variables dependientes.

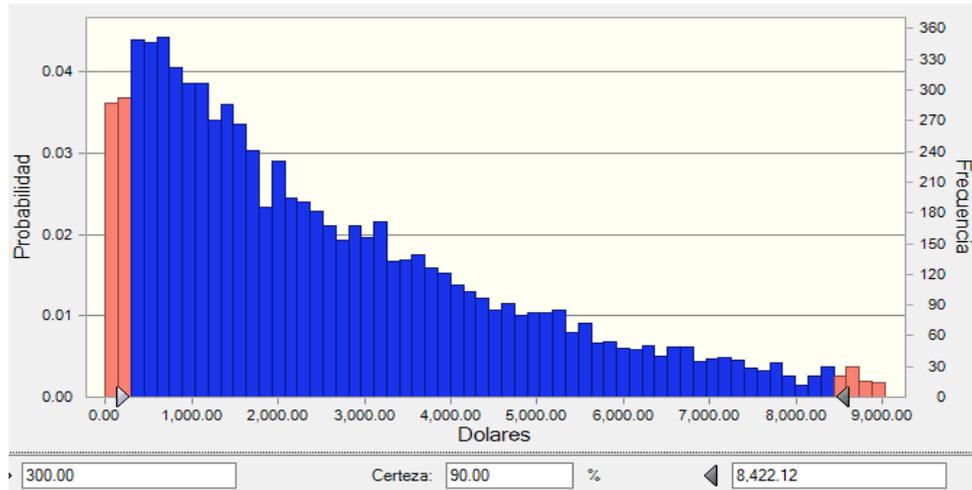


Ilustración 23. Previsión de la variable dependiente

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 24 se observa como intervienen las variables independientes sobre la variable dependiente, en donde las variables que tienen una mayor presencia son la cantidad de café, el precio del café seco y el precio del café húmedo.

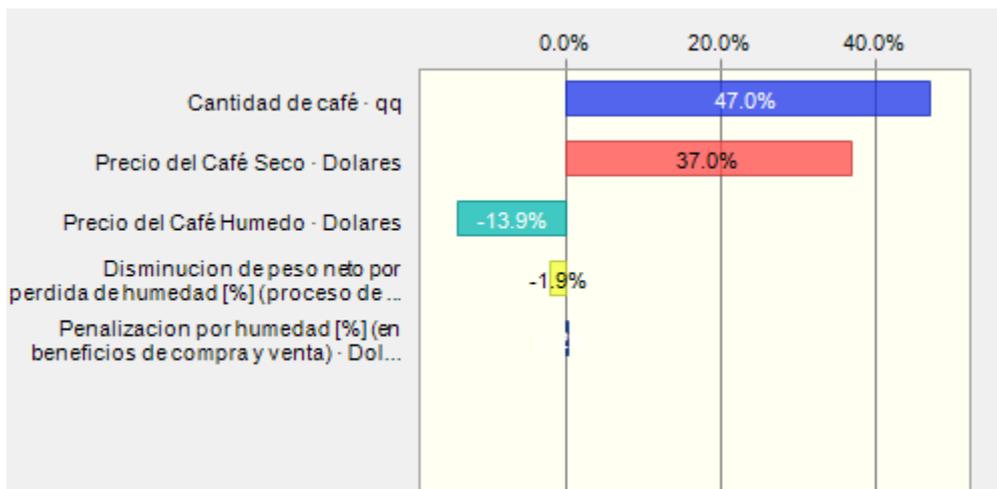


Ilustración 24. Gráfico de sensibilidad

Fuente: Elaboración Propia

VI. CONCLUSIONES

La investigación presentada ha logrado diseñar un secador solar con flujo de aire continuo el cual es proporcionado por energía solar fotovoltaica, para blindarles una alternativa de obtener una mayor ganancia en su producto a todos aquellos productores que venden su café húmedo a los beneficios. La investigación reveló los siguientes resultados:

1. Se acepta la hipótesis de la investigación (Hi) debido a que el prototipo planteado proporciona beneficios monetarios para los productores de café que realizan el proceso de secado en este prototipo.
2. Para que el prototipo proporcione beneficios monetarios a los productores la cantidad de café mínima que se debe secar es de 20 qq por temporada.
3. Las dimensiones del secador solar son de 3.5 metros de ancho, 10 metros de largo y 2.5 metros alto, las dimensiones de las zarandas son de 0.9 metros de alto, 1.3 metros de ancho y 10 metros de largo, en el cual se puede secar un máximo de 20 qq de café a la vez.
4. Según el análisis de sensibilidad 10000 escenarios diferentes hay un 90 % de probabilidad de éxito en la implementación del prototipo.

VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a todos los cafetaleros que producen 20 o más quintales de café por temporada la implementación de este prototipo de secador solar, debido a que proporcionara mayores ganancias al vender su producto.
2. Los precios de café húmedo y seco utilizado en el análisis financiero son de años anteriores por lo que se recomienda actualizar estos precios con el transcurso de los años para investigaciones futuras.
3. Para futuras investigaciones se propone que se evalúen prototipos con dimensiones menores y mayores a la de la presente investigación, para comparaciones de rentabilidad según tamaño del prototipo.

VIII. APLICABILIDAD / IMPLEMENTACIÓN

Este diseño de un secador solar de café con flujo de aire continuo proporcionado por un ventilador alimentado por energía solar fotovoltaica permite que todo aquel caficultor que vende su café húmedo a los beneficios tenga una alternativa para poder obtener mayores ganancias al realizar el proceso de secado.

IX. EVOLUCIÓN DE TRABAJO ACTUAL / TRABAJO FUTURO

Esta investigación evaluó el diseño de un secador solar tipo invernadero con un flujo de aire continuo, una segunda etapa de este trabajo consistiría en la implementación de este prototipo, para corroborar los resultados obtenidos en el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Bergues Ricardo, C., Bèrriz Pèrez, L., & Griñan Villafañe, P. (n.d.). GENERALIZACIÓN DE SECADORES SOLARES DIRECTOS EN CUBA. ANÁLISIS NUMÉRICO DE SUS TENDENCIAS ACTUALES. *Desarrollo Local Sostenible*.
- Abella, M. A. (n.d.). *Sistemas Fotovoltaicos*. Madrid.
- Ameyu, M. (2017). *Influence of harvesting and postharvest processing methods on the quality of Arabica coffee (Coffea arabica L.) in Eastern Ethiopia*.
- Arias, C. (1993). *Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural*. Santiago.
- AutoSolar. (n.d.). *AutoSolar*. Retrieved from AutoSolar: <https://autosolar.es/>
- Barojas, S. A. (2005). *Redalyc*. Retrieved from Redalyc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48711206>
- Bassey, M., & Schmidt, O. (1986). *Solar Drying in Africa*. Senegal.
- Berrueta Soriano, V., & Limón Aguirre, F. (n.d.). Aprovechando el sol para secar mejor nuestro café: desarrollo de una tecnología apropiada. *LEISA*.
- Bertrand, B., Boulanger, R., Dussert, S., Ribeyre, F., Berthiot, L., Descroix, F., & Joët, T. (2012). *Climatic factors directly impact the volatile organic compound fingerprint*.
- Boot, W. (2013). *FROM THE CHERRY TO THE GREEN BEAN-POST HARVESTING COFFEE PROCESSING*.
- Casas Anguita, J., Repullo Labrador, J., & Donado Campos, J. (2003). La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos .
- COFENAC Y SICA. (2010). *INFLUENCIA DE MÉTODOS DE BENEFICIO SOBRE LA CALIDAD ORGANOLÉPTICA DEL CAFÉ ROBUSTA*. Portoviejo.
- Ghosh, P., & Venkatachalapathy, N. (2014). *Processing and Drying of Coffee*.
- Gomero Osorio, L., Medina Medina, G., & Vera Rojas, O. (n.d.). *NUEVAS COMPETENCIAS PARA EL DESARROLLO DE LA CAFICULTURA SOSTENIBLE EN EL PERU*.
- Guillermo. (2020, Septiembre 5). Financiamiento de proyectos. (J. Espinoza, Interviewer)

- Gunnerod, A., & Hasse, F. (2016). *The micro mill revolution*.
- Hammer, S. (n.d.). *123RF*. Retrieved from 123RF: <https://es.123rf.com/>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2010). *Metodología de la investigación*. Mexico.
- IHCAFE. (2016). *Informe Estadístico Cosecha 2015-2016*.
- IHCAFE. (n.d.). *IHCAFE*. Retrieved from IHCAFE: ihcafe.hn
- International Coffee Organization. (2017). *Imports of coffee by selected importing countries*.
- Jerez, J. J. (2006, Octubre 11). *Consumer Eroski*. Retrieved from Consumer Eroski.: <https://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/cafe-y-micotoxinas.html>
- Lara, J. A. (2020, Agosto 17). Formas de secar el cafe. (J. Espinoza, Interviewer)
- Lopez, H. (2013, Noviembre 29). *Introducción al Estudio del Derecho*. Retrieved from Introducción al Estudio del Derecho: <https://introduccionalestudiodelderechounivia.wordpress.com/2013/11/29/metodologia-de-la-investigacion/#:~:text=La%20metodolog%C3%ADa%20hace%20referencia%20a%20habilidades%20conocimientos%20o%20cuidados%20espec%C3%ADficos>.
- Magem, J. B. (2016). *Tecnologías Apropriadas para la Caficultura secadores solares*. Cajamarca, Perú.
- Meira Borém, F., Pedroza Isquierdo, E., Euripedes Alves, G., Egído Ribeiro, D., Cambuy Siquiera, V., & de Silva Taveira, J. (2017). *QUALITY OF NATURAL COFFEE DRIED UNDER DIFFERENT TEMPERATURES AND DRYING RATES*.
- Oliveros Tascón, C., Ramírez Gómez, C., Sanz Uribe, J., & Peñuela Martínez, A. (2006). *SECADOR SOLAR DE TÚNEL PARA CAFÉ PERGAMINO*. *Avances Técnicos Cenicafé*.
- Pérez Grovas, Cervantes, E., Burstein, J., Carlsen, L., & Hernández, L. (2002). *El café en México, Centroamérica y el Caribe: Una salida sustentable a la crisis*. Mexico.
- Pineda Mejía, C., Reyes Fernández, C., & Oseguera, F. (n.d.). *Beneficiado y Calidad del café*.

- Prada, Á., P. Vela, C., Bardález, G., & Saavedra, J. (2019). *Efectividad de un Proceso de Secado de Café usando Secadores Solares con Sistema de Flujo de Aire Continuo Impulsado por Energía Fotovoltaica, en la Región San Martín, Perú*. San Martín, Perú: Cooperativa Agraria Cafetalera ADISA.
- Quintero, G. I. (2000). Beneficie correctamente su café y conserve la calidad de la bebida. *Avances Técnicos Cenicafe*, 8.
- Rico, J., Perez, N., & autores, y. o. (2010). *Innovacion en el diseño y construccion de un secador solar para frutas y hortalizas*. Mexico: Universidad de Guanajuato.
- Rodríguez, L. E. (2012). *Teoría y técnica de la entrevista*. Mexico.
- Sánchez-Godínez. (2017). Secado del café. (Venegas Venegas, & Berrocal Rojas, Interviewers)
- Santos, G. (2020, julio 22). Productores en Ocoatepeque. (J. Espinoza, Interviewer)
- Soto Olea, G., Hernández Vanegas, J., Almarza, D., & Jofré, I. (2018). *Guía de Operación y Mantenimiento de Sistemas Fotovoltaicos*. Santiago de Chile: Ministerio de Energía de Chile.
- Torres, E. (2020, agosto 10). El Café en Ocoatepeque. (J. Espinoza, Interviewer)
- Wegenève. (n.d.). PVsyst. Retrieved from PVsyst: <https://www.pvsyst.com/>
- Zambrano, M. A. (2020). Explorando la Historia de la Producción de Café de Honduras. *PERFECT DAILY GRIND*.