
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TEZIUTLÁN

Tesis



“Análisis del proceso de secado de café mediante módulos
solares ubicados en la región 6 del Estado de Puebla”

PRESENTA:

LISSET ZARAGOZA BECERRA

CON NÚMERO DE CONTROL
17TE0427

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

CLAVE DEL PROGRAMA ACADÉMICO
IIAL-2010-219

DIRECTOR (A) DE TESIS:
M.E.M. ALEJANDRA ARAGÓN PARRA

“La Juventud de hoy, Tecnología del Mañana”

TEZIUTLÁN, PUEBLA, OCTUBRE 2021



PRELIMINARES

Agradecimientos

Quiero agradecer en primer lugar a Dios, por guiarme en el camino y fortalecerme espiritualmente para lograr culminar una de mis más grandes metas.

A mis padres, que siempre estuvieron apoyándome, quienes con su comprensión y sobre todo su amor, supe salir adelante y nunca me rendí, ellos siempre serán mi motor de arranque.

A mis amigos y compañeros, que continuamente estuvieron apoyándome y confiaron en mí, porque a lo largo de este tiempo forjamos una amistad, aprendimos y crecimos juntos.

Finalmente a mis asesoras Mtra. Araceli Valdivia Camarillo y Mtra. Alejandra Aragón Parra quienes fueron una pieza clave para el desarrollo del presente trabajo, su apoyo y paciencia fueron de gran ayuda.

Resumen

El presente proyecto analizó el proceso de secado de café, con el objetivo de identificar los parámetros estudiados en 6 distintos artículos publicados sobre secado de café con módulos solares con lo que posteriormente tendrá como resultado su implementación en la región 6 del Estado de Puebla. En primer lugar se recolectó información, sobre el estado del arte, misma que ayudo a enriquecer el tema del trabajo de investigación, posteriormente se llevó a cabo la búsqueda de estudios publicados, sobre procesos de secado utilizando módulos solares, así como, de sus resultados finales. A partir de esta información se pudieron identificar los parámetros cualitativos y cuantitativos que afectaron al proceso de secado; una vez recabada la información, por cada estudio se hizo una pequeña descripción sobre los parámetros cualitativos y una tabla para los resultados finales que incluyen los parámetros cuantitativos. Para el análisis de los datos, estos fueron enlistados en 2 tablas comparativas distintas, una para cada tipo de parámetro (cualitativo y cuantitativo), a partir de aquí se pudo hacer una descripción de cada parámetro y cómo influye en el proceso de secado. Teniéndose los resultados siguientes: la altitud a la que se encuentra establecido el secador solar debe ser baja; se prefiere un clima cálido húmedo con temperaturas ambientales de hasta 28 °C; con radiaciones solares que pueden tomar valores de entre 4.582 Wh/m²/día y 5.4 Wh/m²/día; los parámetros más importantes como la temperatura interna no debe sobrepasar los 60 °C, por lo que temperaturas altas de 51 °C son aceptables; la humedad relativa claramente debe ser baja, esto para que el aire tenga mayor capacidad de absorber y retener humedad del café. Cumpliendo los parámetros antes mencionados se podrá llegar a cumplir con un secado del 12% durante un tiempo aproximado de 5 días. Cabe mencionar que los secadores solares con colectores pueden llegar a ser más eficientes para tener secados rápidos de hasta 3 días.

Realmente no se pudo identificar que estudio, de los 6 analizados, fue el más factible, ya que hubo información incompleta en algunos de los estudios.

Introducción

La cafecultura es una actividad importante en México, al ser parte de los principales productos agrícolas, generador de divisas del sector agropecuario; además de ella dependen más de tres millones de mexicanos que desarrollan actividades comprendidas en la producción, recolección, industrialización y comercialización del café; sin embargo, tanto la calidad del aromático como la contaminación generada principalmente en el beneficiado húmedo, son necesidades a estudiar para mejorar en el aspecto social, económico y principalmente en el ambiental. El cultivo del café en México se desarrolla en 12 estados, 404 municipios, 4572 comunidades, por 504 372 productores y en 688 717 ha (AMECAFÉ- SIAP, 2015). Puebla destina para esta actividad aprox. 75 mil ha sembradas, ubicando al estado en el 4to lugar a nivel nacional de superficie sembrada, dentro de esta estimación se encuentra la aportación de los municipios registrados dentro de la región 6 de Puebla, tales como Acateno, Atempan, Ayotoxco de Guerrero, Hueytamalco, Tlatlauquitepec, Teziutlán, entre otros.

Una de las etapas determinantes del proceso de transformación del café es el secado, etapa que es determinante para asegurar la calidad de la taza de café y por lo tanto debe cuidarse rigurosamente. El secado de café puede llevarse a cabo de dos formas: Natural o mecánica. Para asegurar que se conserven sus propiedades organolépticas, el contenido de humedad en el grano de café seco debe estar alrededor del $12\% \pm 1$, de lo contrario su calidad se deteriora, por lo que el control de esta variable es fundamental durante la comercialización y almacenamiento. El estudio de este proceso tan importante está influenciado por un conjunto de factores que serán identificados en estudios preliminares.

El presente trabajo consta de ocho capítulos, tenemos en primer lugar los preliminares; se inicia en el capítulo I mencionando los datos generales del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Institución involucrada con la

identificación de problemas y al mismo tiempo, con el trabajo y fortalecimiento de las actividades educativas para mejorar el fortalecimiento de las actividades económicas de la Región 6; con ello, se identificó la problemática, el objetivo general y específicos del proyecto. El capítulo II está conformado por el marco teórico, base fundamental para la correcta comprensión de lo que involucra un secado de café con módulos solares. Dentro del capítulo III, se dio a conocer la metodología, la cual nos permitirá llegar hasta nuestro objetivo que es analizar el proceso de secado mediante módulos solares. En el capítulo IV, se plasmaron los resultados que se obtuvieron durante el seguimiento de este proyecto. En el capítulo V, se presentan las conclusiones a las que se llegaron después de ver los resultados del presente proyecto. En los capítulos VI, VII y VIII se describen las competencias desarrolladas durante la realización del proyecto; así como, la literatura consultada y finalmente, un capítulo de anexos.

Índice

PRELIMINARES	2
Agradecimientos.....	3
Resumen	4
Introducción	5
Índice	7
CAPITULO I GENERALIDADES DEL PROYECTO	9
1.1 Datos generales de la empresa	10
1.1.1 Misión y visión.....	10
1.1.2 Valores	10
1.1.3 Macrolocalización y microlocalización.....	11
1.2 Problemática.....	13
1.3 Causas.....	14
Objetivo general	15
Objetivos específicos.....	15
1.6 Justificación	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 Especies de café cultivadas en la región 6 de Puebla.....	18
2.2 Producción de café en Puebla	19
2.3 Secado de café.....	19
2.3.1 Secado por vía seca.....	21
2.3.2 Secado por vía húmeda.....	21
2.5 Módulos solares como vía alterna para el secado de café.....	22
2.5.1 Tipos de secadores solares.....	22
2.5.1.1 Secador solar indirecto	22
2.6.1.2 Secador solar directo	23
2.6.1.3 Secador solar mixto.....	24
2.7 Ventajas de utilizar un secador solar de café.....	25
CAPITULO III DESARROLLO Y METODOLOGÍA	27

3.1 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.....	28
3.1.2 Procedimiento.....	28
3. 2 Alcance y enfoque de la investigación.....	30
3.3 Hipótesis.....	30
3.4 Diseño y metodología de la investigación	30
3.5 Selección de la muestra	37
3.6 Recolección de datos.....	37
3.7 Análisis de datos	37
CAPÍTULO IV RESULTADOS	39
4.1 Resultados.....	40
4.1.1 Análisis de los resultados.....	40
CAPÍTULO V CONCLUSIONES.....	47
5.1 Conclusiones del proyecto, recomendaciones y experiencia profesional y personal adquirida	48
5.2 Conclusiones relativas a los objetivos específicos.....	48
5.3 Conclusiones relativas al objetivo general	50
5.4 Limitaciones del modelo planteado	51
5.5 Recomendaciones.....	51
CAPÍTULO VI FUENTES DE INFORMACIÓN.....	52

CAPITULO I

GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Datos generales de la empresa

El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán se encuentra ubicado en la ciudad de Teziutlán estado de Puebla de la República Mexicana, su domicilio se encuentra en la fracción I y II s/n Predio Aire Libre.

Es un organismo público descentralizado del gobierno del estado, con personalidad jurídica y patrimonio propio, cuyo objetivo es ofrecer una educación de calidad, moderna y eficaz, orientada al servicio, acercándola a las necesidades e intereses de la población, promoviendo el uso transparente y eficiente de los recursos humanos, materiales y financieros.

1.1.2 Misión y visión

Misión

El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán tiene, como misión, formar profesionales que se constituyan en agentes de cambio y promuevan el desarrollo integral de la sociedad, mediante la implementación de procesos académicos.

Visión

Llegar a ser la institución de Educación Superior Tecnológica más reconocida en el Estado de Puebla, que ofrezca un proceso de Enseñanza-Aprendizaje certificado, comprometido con la excelencia académica y la formación integral del Alumno, contribuyendo al desarrollo sustentable, económico, político y social de nuestro Estado.

1.1.3 Valores

Integridad: Actuar con rectitud, honestidad, honradez y transparencia, de manera congruente, sin engaños, ni falsedades en la realización de sus funciones.

Compromiso: Cumplir con la sociedad ofreciéndoles profesionales capaces y comprometidos con su región y el Estado para satisfacer las necesidades presentes y futuras.

Creatividad: Mantener una actitud constructiva, considerando la mejora continua y la innovación. Lealtad.- Ajustar su actuación al compromiso personal con los objetivos del ITST, de tal modo que se refleje y fortalezca el conjunto de logros del Instituto.

Actitud de servicio: Fomentar en el alumno el deseo de servir a su comunidad y su identificación plena con el instituto a colaborar en todas y cada una de las actividades programadas, así como la aplicación de las políticas y procedimientos una vez que se integren al sector productivo.

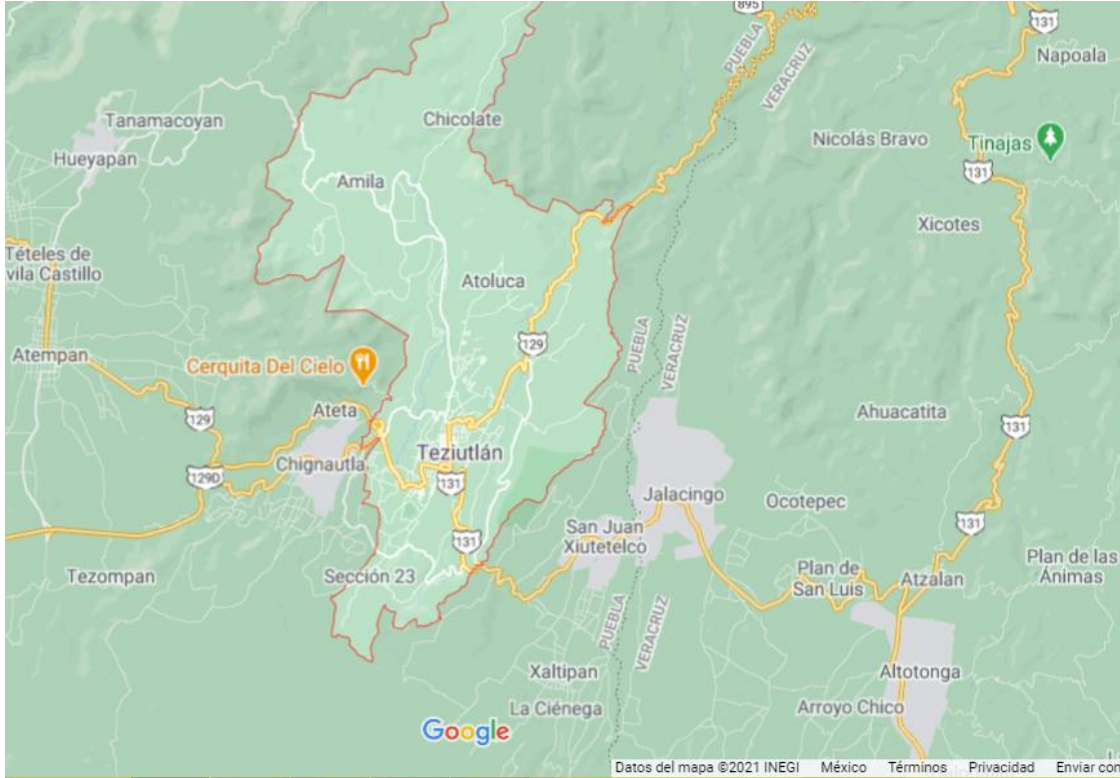
Legalidad: Conocer y cumplir la normativa aplicable a las actividades relativas a su ámbito de competencia.

1.1.4 Macrolocalización y microlocalización

El proyecto de residencia se desarrollará en la ciudad de Teziutlán, Puebla véase Figura 1; ya que la región 6 de Puebla comprende el municipio de Teziutlán como uno de los municipios más sobresalientes de la misma; además que el cultivo de café aún sigue siendo una de las fuentes de empleo de los agricultores de esta región.

Figura 1.

Municipio de Teziutlán



Nota 1. Google, 2021

Todas las actividades desarrolladas a lo largo de este proyecto de residencia estarán ubicadas en el Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán está ubicado en fracción I y II Aire Libre, Teziutlán Puebla véase Figura 2.

Figura 2.

Localización del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán.



Nota 2. Google, 2021

1.2 Problemática

La región 6 del estado de Puebla, destaca por su producción de café a nivel estatal, misma producción que la mayoría de los cafeticultores de la región solo se limitan a la venta en café cereza, pues se ahorran trabajo físico y tiempo, comparado a que si secan el café, proceso que les dejaría mayor remuneración económica; cabe mencionar que ciertos cafeticultores que se dedican al secado de café, utilizan asoleaderos para realizar este procedimiento pues aprovechan la luz solar y su costo es muy bajo, sin embargo, esta técnica no garantiza la calidad del

café y realmente conlleva mucho tiempo llegar a secar el producto hasta que tenga una humedad del 12% según lo dicta la NOM 149, esto debido a que muchas veces las inclemencias del tiempo son un factor que limita un secado correcto, una de ellas la cantidad de horas-sol que hay en la región, el tiempo de secado mediante asoleaderos oscila aproximadamente de entre 12 a 20 días, tiempo en el que el café puede llegar a pudrirse por exceso de humedad, contrastando con lo anterior, el café al ser higroscópico atrapa olores del medio, y al estar en contacto durante mucho tiempo con el concreto, el polvo, suciedad etc. demeritara la calidad del café y por ende su rendimiento.

1.3 Causas

La problemática anteriormente descrita está sustentada por distintas causas que a continuación mencionaré:

- En primer lugar, una vez desaparecido el Inmecafé, el precio del fruto cayó porque todo quedo a manos de compradores particulares, por lo que ellos, tenían en sus manos modificar el precio de compra y de venta y esto se percibe hasta hoy en día.
- Debido a que el precio ya no es justo los cafeticultores han perdido el interés sobre los cuidados en la producción del fruto; tales como, falta de agregados abonados a la planta de café, no se combaten las plagas en plantas, etc.
- Una vez que el fruto ya fue cortado por técnica manual, muchas veces no se selecciona los frutos de calidad y todo en conjunto es secado, para el caso de productores caseros, la técnica de secado es a la intemperie ya sea en azoteas o en asoleaderos donde están expuestos a condiciones climatológicas extremas, polvo, insectos, roedores, o que pueda ser contaminado con alguna sustancia del medio.

1.5 Objetivos

Objetivo general

Analizar el proceso de secado de café (parámetros cualitativos y cuantitativos) con módulos solares, mediante la consulta de investigaciones científicas publicadas, para su aplicación en el secado de café de la región 6 del Estado de Puebla.

Objetivos específicos

- Investigar sobre la producción de café y las variedades mayormente cultivadas en la región 6 del estado de Puebla.
- Identificar las variables cualitativas y cuantitativas del estudio de secado de café.
- Identificar la reducción de los tiempos de secado en estudios preliminares.

A continuación, veremos la importancia de la propuesta basada en las necesidades que justifican la misma actividad.

1.6 Justificación

Como ya se ha mencionado anteriormente, la región 6 del Estado de Puebla, destaca por su producción de café, café que los pequeños productores optan por secar, ya que, al vender el grano seco, reciben una remuneración un tanto mayor que si vendieran el café en cereza; cabe mencionar que al secar el café no cuidan factores determinantes que permiten un secado de calidad, por lo que he aquí la importancia de proponer a los pequeños productores una alternativa de secado de café mediante el uso de módulos solares, método que es eficiente en cuanto a su operación y mantenimiento. Planteando múltiples mejoras que se extienden a todo el proceso de secado, ya que los productores al implementar el secador solar estarán cuidando la calidad (porcentaje de humedad y propiedades organolépticas), y por ende tendrán una remuneración mayor a la que actualmente tienen, esto cuando se comercialice el producto final. Cabe mencionar que de igual manera se estará fomentando a que se aprovechen energías limpias y renovables como la energía solar, para el procesado de productos de grado alimenticio en este caso el café, puesto que existen métodos de secado con medios mecánicos, los cuales tienen la ventaja de secar el café en horas respecto a secadores con módulos solares, pero que resultan costosos y son emisores de dióxido de carbono a la atmósfera, esto debido a los combustibles que son utilizados para su funcionamiento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Especies de café cultivadas en la región 6 de Puebla

Las variedades sembradas predominantes en orden de importancia son Caturra, Bourbon, Costa Rica y Mundo Novo. Estas variedades presentan problemas ante la presencia de la roya; con un gran detrimento de la producción y ante esta situación se buscan alternativas como la introducción de la variedad Costa Rica; que de acuerdo a lo relatado por los productores del municipio de Hueytamalco presenta resistencia a ataques por roya (Cardeña. I., Ramirez. B., Juarez. JP., Huerta. A., Cruz. A., 2019).

Gracias a las diferentes características de cada municipio, en Puebla se produce café de diferentes tipos:

Caturra: Este es una mutación de las plantas de Bourbon, su sabor es agradable para las personas que prefieren las bebidas más ligeras.

Bourbon: Este tipo de café es de gran valor ya que es resistente a los vientos y se adapta a distintos tipos de clima. La variedad de fruto rojo es originaria de la Isla Bourbon, actualmente Isla Reunión, en África y llegó a México procedente de Guatemala. Las cerezas son pequeñas y pesadas, maduran rápidamente.

Costa Rica: Cruza entre Hibrido Timor 832/1 y Caturra, la planta es resistente a roya, el color de la vegetación es roja, frutos rojos de tamaño grande y adecuada a diferentes tipos de suelo (Saldiva, P., 2018).

Mundo Novo: este tipo es de porte alto ya que es originario de Brasil; es resultado del cruce de Bourbon y la Typica o criollo. Por sus características morfológicas y de altura (3 metros) es poco resistente al viento, pero de alto rendimiento y buena calidad de grano (Estelita, S. 2016).

2.2 Producción de café en Puebla

Con una superficie plantada de 70,438.4 hectáreas y el logro de una producción 128,995.35 toneladas, Puebla se afianza a nivel nacional en el 3er.lugar por valor de producción y en el 4to.por superficie sembrada (Ruta Café., 2018). Con datos del Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (SIAP), durante el periodo 2017 a 2018, la Delegación de la SAGARPA informa que los principales municipios de la entidad que más aportan a la producción total de café en Puebla son Xicotepec con 15,860 ton, Zihuateutla 12,320 ton, **Hueytamalco 9,600** ton, Tlacuilotepec 8,960 ton, Jalpan 8,525 ton, Cuetzalan del Progreso 6,582 ton, Tlaxco 6,300 ton, Jopala 6,000 toneladas (Ruta Café., 2018).

La dependencia federal destaca que el total de localidades que cultivan la planta aromática en Puebla alcanza a los 54 municipios, dentro de la región 6 destacan los municipios de: Acateno, Atempan, Ayotoxco de Guerrero, Hueyapan, Hueytamalco, Teziutlán, Tlatlauquitepec y Yaonáhuac (Delegación SADER Puebla., 2018).

Hueytamalco es el primer municipio productor en el estado de Puebla en cuanto a su aportación en toneladas de café. Para el año 2016 la producción obtenida fue de 9600 toneladas; en una superficie sembrada de 4800 ha; y con un rendimiento de 2000 kg/ha (Cardeña. I., Ramírez. B., Juárez. JP., Huerta. A., Cruz. A., 2019, Junio).

2.3 Secado de café

El contenido de humedad de café cereza es de aproximadamente 67% en base húmeda; lo cual significa que la cantidad de agua en las cerezas del café es aproximadamente igual a las dos terceras partes de la masa total; la tercera parte restante la constituyen los sólidos. El contenido de humedad del café cereza expresado en base seca es de 200% (dos veces más agua que materia seca). El

fruto del café es altamente perecedero y presenta una intensa actividad fisiológica inmediatamente después de la cosecha. Para evitar la disminución de su peso seco y lo que es mucho peor, la pérdida de su calidad, que comienza a ocurrir después del primer día, se debe secar inmediatamente, después del cosechado. (Roa. MG., Álvarez. GJ., 1995).

El secado es un proceso de conservación de la calidad microbiológica y química del café durante su almacenamiento y transporte. El secado disminuye el contenido y la actividad del agua en el café. El punto de equilibrio corresponde a 12% de contenido de humedad; para café con humedad mayor a 13% (actividad de agua superior a 0,67) proliferan hongos que deterioran el producto (Puerta. GI., 1999).

El secado es una etapa crítica ya que cualquier daño ocurrido es irreversible, por lo que requiere control. El proceso se realiza para disminuir el contenido de agua inicial desde el 55% presente en el café pergamino húmedo hasta el 10.12%, lo cual corresponde a reducir la actividad de agua desde el 0,97-0,98 que tiene el café pergamino lavado, un producto perecedero, hasta de 0,6 a 0,67 del pergamino seco, valores en los cuales el café es más estable durante su transporte y almacenamiento (Puerta, GI., 2016).

La operación de secado es la etapa más importante del proceso, puesto que afecta a la calidad final del café verde. Un café que haya secado demasiado se volverá quebradizo y dará demasiados granos quebrados durante la criba (los granos quebrados se consideran defectuosos). Un café que no haya secado lo suficiente tendrá demasiada humedad y será proclive a un rápido deterioro ocasionado por hongos y bacterias (International Caffee Organization., s. f).

2.3.1 Secado por vía seca

El secado por vía seca representa la forma tradicional del procesamiento del café cereza se distingue del proceso húmedo por la eliminación de actividades como el despulpado y lavado (Proaín Tecnología Agrícola., 2020).

El beneficio por vía seca consiste en poner el café cereza a sobre madurar en la planta para luego hacer una deshidratación del fruto durante aproximadamente 15 – 20 días, este puede ser natural (bajo el sol) o por medio mecánico con el fin de desprender la cáscara del grano y así poder realizar la remoción de la piel seca y el mucílago, obteniendo así el café pergamino. Para este tipo de beneficio es importante hacer una adecuada selección del fruto (Cárdenas. JP, Pardo. JD., 2014).

Para secar el café en cereza se requiere más tiempo, si se compara con el proceso de secado del café por vía húmeda. El color del café almendra beneficiado por vía seca es amarillo o café, en comparación con el grano de café procesado vía húmeda que es verde (Puerta. Gl., 1999).

2.3.2 Secado por vía húmeda

Luego del proceso húmedo a que se somete el café, en el cual adquiere una gran cantidad de humedad hasta alcanzar niveles de 55 %, lo cual quiere decir que del peso del grano apenas el 45 % es grano y el resto es agua. En estas condiciones la calidad puede deteriorarse rápidamente pues fácilmente puede darse una sobrefermentación, lo cual daña irremediablemente la calidad de taza. También puede ser atacado por microorganismos y hongos que igualmente dañan la calidad. Es por esta razón que el café debe someterse al secado de manera inmediata luego del proceso húmedo (Empresa consultora Consulsantos, 2010).

El secado en el proceso del café es un momento crítico; de él depende enormemente la calidad y la venta de este producto. A pesar de que el café ha

sido cultivado desde hace décadas, las tecnologías para su secado son limitadas. Podemos encontrar más de una docena de formas que van desde el secador de madera y hasta alquilando un patio en una ciudad cercana. Pero, sin embargo, la común entre los pequeños productores es el secado en patio de cemento, directamente en contacto con el piso y a la intemperie (Berrueta. VM., Limón. F., 2004).

2.5 Módulos solares como vía alterna para el secado de café

Con el fin de aprovechar la intensidad del sol como fuente inagotable de energía, y a través de unos sistemas de colectores solares, se recibe todo ese flujo de energía y es convertida en calor, esto con el propósito de aplicarlo en el secado de café para su cuidado y adecuado desarrollo (Alimentación Colombia., 2012).

La tecnología de secado solar se presenta como una alternativa para dotar a las comunidades de independencia económica, dado que esta tecnología acelera el proceso de secado y les permite aumentar y estabilizar su producción (Blanco, L., Valdecabres, L., 2016).

2.5.1 Tipos de secadores solares

Según la distribución de los dos elementos comentados anteriormente se definen tres tipos de secador solar:

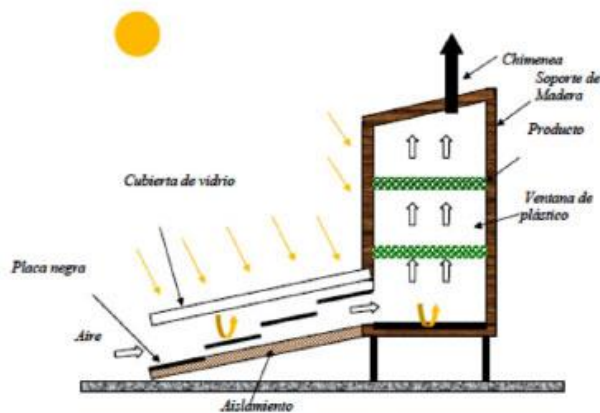
2.5.1.1 Secador solar indirecto

En el secado indirecto no se exponen los alimentos directamente a la radiación solar, para disminuir la decoloración y el agrietamiento en la superficie de estos. Los secadores solares indirectos poseen una unidad colectora solar donde ingresa el aire y una cámara de secado separada donde se almacenan los productos a

secar. En el secado solar indirecto el calor necesario para la evaporación se transfiere de forma convectiva desde el aire caliente hacia el material húmedo. Con el secado indirecto se alcanza un mayor control de las condiciones de secado, por lo que se obtiene un producto de mejor calidad (Espinosa, J., 2016). En la Figura 3 se muestra un ejemplo de secador solar.

Figura 3.

Modelo de secador solar indirecto.



Nota 1. García, LE., Mejía, MF., Mejía, DJ., Valencia, CA., 2020

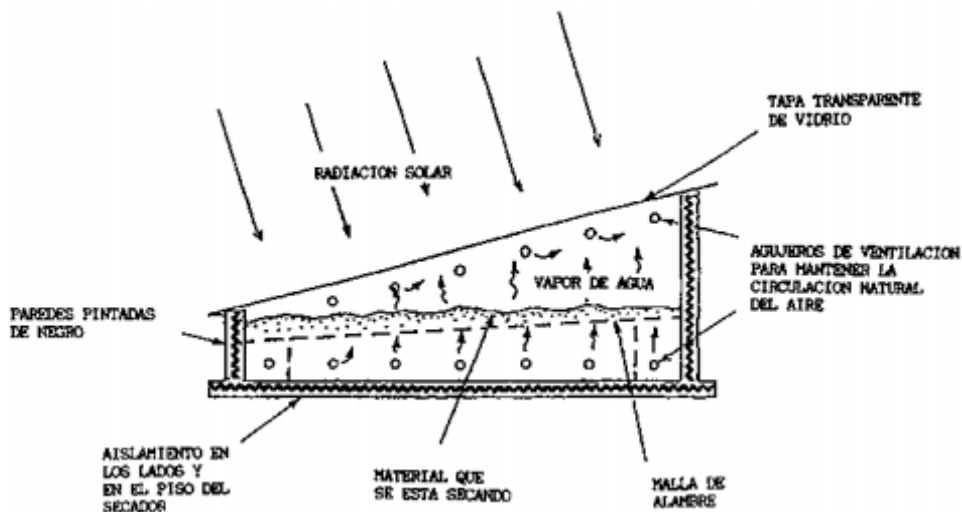
2.6.1.2 Secador solar directo

Este tipo de secador se caracteriza por utilizar la cámara como colector, esta contiene el producto y al mismo tiempo recibe la radiación solar porque la cámara es transparente. En los secadores solares directos la radiación solar la recibe y absorbe el producto lo que hace más efectivo el aprovechamiento de la energía para producir la evaporación del agua en el producto. Esto se produce puesto que la presión de vapor en la superficie del producto aumenta debido al incremento generado por la transferencia de calor asociada a la radiación solar incidente. Así el gradiente de presiones de vapor entre el producto y el aire aumenta acelerando el

proceso de secado. Estos secadores trabajan en la mayoría de los casos con convección natural véase Figura 4 (Chávarro., JA., 2010).

Figura 4.

Modelo de secador directo.



Nota 4. Besora, J., 2015

2.6.1.3 Secador solar mixto

Puede darse el caso en que la colección de radiación se realice tanto en un colector solar previo a la cámara, como en la misma cámara (Cruz, D., López de León, E., Pascual, L.F., Battaglia, M., 2010). El diseño básico tiene los mismos elementos que un secador indirecto pero algunas superficies transparentes (Reyes, SG., 2018). La cámara de secado es de vidrio, como se muestra en la Figura 5, esto para que el producto absorba directamente la radiación solar como en un secador tipo integral (López, EC., 2011).

Figura 5.

Modelo de secador solar mixto.



Nota 5. Delgado, M., 2017

2.7 Ventajas de utilizar un secador solar de café

Las principales ventajas del secador solar de café frente al secado en patios:

- Reducción de hasta el 50% del trabajo físico requerido, principalmente de mujeres y niños y niñas.
- El grano no está expuesto a la lluvia ni puede absorber humedad por la noche, y por lo tanto, se evita el re-humedecimiento que da lugar a manchas y deterioro del aspecto.
- Las variaciones de temperatura del aire en el interior son muy poco abruptas, igual que la variación de humedad, así el secado se realiza de forma más constante. Esto evita la formación de moho causante de cambios de sabor y agrietamiento del grano.
- Se evita el contacto con polvo, tierra, excrementos de animales y basura, consiguiendo un grano más limpio y sin contaminantes.

- Disminución del 40% en el tiempo de secado. Puede ser entre 5 y 7 días.
- Menor costo y tiempo de construcción. Alrededor de un 35% menor.
- Facilidad en el trabajo de escoger y separar el grano, porque hay una altura favorable (Besora. J., 2015).

CAPITULO III

DESARROLLO Y METODOLOGÍA

3.1 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas

3.1.2 Procedimiento

Para llevar a cabo los objetivos planteados en este proyecto, se desarrollaron las siguientes actividades en orden.

El presente proyecto comenzó con el diseño del contenido del temario en las fechas que va del 15 al 20 de febrero; concretando los temas que serían abarcados a lo largo del tiempo que se estaría llevando el presente proyecto.

El establecimiento del marco teórico se revisó entre el 22 y 27 de febrero, aquí se colocaron los temas que serían el sustento base de la investigación, para los cuales se debía indagar en fuentes confiables.

Se conformó el primer capítulo a las mismas fechas del establecimiento del marco teórico, pues se debía tener en claro la problemática de la investigación, así como establecer el objetivo general y objetivos específicos que permitan llegar a nuestro fin.

Entre el 8 y 13 de marzo el asesor evaluó el avance que se llevaba hasta el momento para dar las observaciones necesarias.

Para marzo 16 se estaba terminando el capítulo 2 con el marco teórico donde se colocaron los fundamentos científicos del tema de investigación. A finales del mes el asesor correspondiente dio las sugerencias necesarias para el avance que se tenía al momento.

Para iniciar el mes de abril ya se estaba trabajando con el capítulo 3 donde se estableció el diseño de la metodología a seguir para el establecimiento correcto en la resolución del problema de investigación.

Del 19 al 24 de abril se terminó de redactar el cuarto capítulo, donde se colocaron los resultados que posiblemente se debieron obtener a partir del diseño. De igual manera se hizo entrega de las conclusiones finales; los anexos que son muy útiles para enriquecer el marco teórico establecido; finalmente la bibliografía que se utilizó para establecer el sustento científico del tema.

Se llevó a cabo la última revisión del trabajo por parte del asesor, esto en fechas de entre el 26 de abril a 1 de mayo del presente. Todo el proyecto terminado se entregó corregido el 14 de mayo de 2021.

Para la realización del siguiente proyecto se evaluaron y compararon seis estudios distintos sobre secado de café, con el fin de identificar las variables utilizadas y los tiempos de secado en cada uno.

En primer lugar, se evaluaron todas las desventajas que genera un secado de café a la intemperie sin ninguna clase de estructura protectora como puede ser algún invernadero solo por mencionar un ejemplo, para lo cual fue la base de la problemática del presente proyecto.

Seguido de eso se hizo una búsqueda y recolección de información sobre lo que conlleva el proceso de secado y todas las variables que se deben tener en cuenta para tener un correcto secado de café.

Se evaluaron seis estudios de secado de café que utilizaron módulos solares, en donde se identificaron las variables que fueron estudiadas en cada uno, así como los tiempos que se redujeron al secar café con las alternativas que propone cada estudio. Del mismo modo, se verificaron algunos datos que intervienen para un secado correcto, tal es el caso del tipo de clima y temperatura del sitio donde se llevó a cabo cada estudio. Datos que nos permitirán obtener valores aproximados de lo que conllevaría un secado de café en la región 6 del Estado de Puebla.

3. 2 Alcance y enfoque de la investigación

- Se disminuirán los tiempos de secado del mismo, así como, las actividades que conlleva secar el café de forma tradicional.
- El café se le protege del polvo y de cualquier daño físico que pudiera afectar su calidad durante el secado u otra etapa del proceso de transformación del café.
- Aumenta la remuneración a los productores de café, esto dependiendo de la cantidad de café secado.

Se decidió darle un enfoque cuantitativo a la investigación, esto por la necesidad de estudiar los tiempos de secado de café en estudios preliminares, así como, de las variables estudiadas en los mismos. Es de vital importancia realizar un análisis numérico de los tiempos de secado y de las variables estudiadas, pues nos dejan ver y analizar los rangos de diferencia entre cada estudio y los factores que influyen para llegar a esos valores.

3.3 Hipótesis

Mediante el estudio de las variables de secado de granos en módulos solares, se demuestra la factibilidad de su implementación en el proceso de secado de café de la región 6 del Estado de Puebla con la finalidad de reducir los tiempos hasta en un 40%.

3.4 Diseño y metodología de la investigación

Se analizaron seis estudios para un secado de café mediante módulos solares, donde se destacaron factores que influyen en el correcto secado de café, así como, de los parámetros que fueron estudiados en cada uno. Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

Artículo 1. Evaluación térmica y financiera del proceso de secado de grano de café en un secador solar activo tipo invernadero.

Se llevó a cabo el estudio en el campo experimental de San Martinito, Tlahuapan Puebla. En donde predominan dos tipos de climas, templado semicálido húmedo con lluvias en verano y temperatura media anual entre los 12° y 18° centígrados en la zona del valle de Puebla. Semifrío subhúmedo con lluvias en verano y temperatura anual entre los 5° y 12° centígrados en las partes más altas.

El diseño del secador bajo estudio es de tipo invernadero, cuyas medidas son 2.4 m de ancho y 5.6 m de largo, con una cámara útil de secado para 5.8 m³. Consta de un colector de 15 m² formando parte de la cámara de secado, construido con láminas galvanizadas del calibre más bajo, pintadas de negro "mate" en la parte expuesta al sol, con una orientación hacia el sur y una inclinación igual a la latitud del lugar. La construcción es a base de bastidores de PTR y cubierta con polietileno transparente, calibre 720 con tratamiento para rayos UV, comúnmente utilizado en la construcción de invernaderos (Quintanar Olguin, Juan, & Roa Durán, Refugio., 2017). La Tabla 1 nos muestra los valores cuantitativos finales del estudio 1.

Tabla 1

Parámetros estudiados en artículo 1

Estudio	Tiempo de secado (días)	Temperatura máxima dentro del secador	% Humedad relativa	% Humedad del café
1	5	46°C	60%	11.8%

Nota 3. Elaboración propia.

Artículo 2. Efectividad de un Proceso de Secado de Café usando Secadores Solares con Sistema de Flujo de Aire Continúo Impulsado por Energía Fotovoltaica, en la Región San Martín, Perú.

El presente diseño se llevó a cabo en la región de San Martín, Perú; donde predomina el clima predominante un clima subtropical y tropical, distinguiéndose dos estaciones: una seca de junio a setiembre y otra lluviosa de octubre a mayo. La temperatura varía entre 23°C y 27°C. (Caracterización del departamento de San Martín. s.f.)

Para el estudio se utilizó el secador solar tipo invernadero de 4 x 8 m. con una altura de 1.50 metros, en la cual se colocó un 01 módulo de secador solar por socio, el mismo que se conforma de 02 secadores solares. Haciendo un total de 08 módulos con 16 secadores. Cada módulo de investigación cuenta con 30 bandejas con medidas de 160 m de largo x 0.90 m ancho y 0.10 m de alto (Prada, Álvaro, Vela, Cynthia P., Bardález, Gabriela, & Saavedra, Jorge., 2019). Los resultados finales para el estudio se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2.

Parámetros estudiados en artículo 2

Estudio	Tiempo de secado (días)	Temperatura máxima dentro del secador	% Humedad relativa	% Humedad del café
2	5	37.82°C	47.03%	12.29%

Nota 4. Elaboración propia.

Artículo 3. Secador solar de túnel para café pergamino.

Siendo Chinchiná, Caldas, Colombia, el sitio donde se llevó a cabo el estudio. La temperatura media anual es de 21 °C. El brillo solar totaliza 1842 horas al año y la radiación solar 4.582 Wh/m²/día. La humedad relativa media anual es de 77% (Guzmán, Orlando., Baldión, José V., 2003).

El secador solar del túnel dispone de una superficie de 20 m². El piso del secador se construye, mínimo, a 80 cm del suelo, lo cual brinda la disponibilidad de disponer de una zona cubierta debajo de la malla para 4 paseras entre columnas, cada una de 1m², que pueden ser expuestas al sol y que son importantes cuando el sol ocupa su máxima capacidad al finalizar la semana o en periodos lluviosos (Oliveros, C., Ramírez, C., Sanz, J., Peñuela, A., 2006). La Tabla 3, nos muestra los resultados finales del estudio.

Tabla 3.

Parámetros estudiados en artículo 3

Estudio	Tiempo de secado (días)	% humedad del café
3	5	12

Nota 5. Elaboración propia.

Artículo 4. Estimación de humedad de café pergamino utilizando un secador solar automatizado, mediante modelos matemáticos en Jaén-Perú.

El presente estudio fue llevado a cabo en Centro Poblado San Miguel de las Naranjas, a 25 minutos de la ciudad de Jaén que está a 1330 m.s.n.m., el clima de la región es frío y húmedo con neblinas frecuentes, heladas estacionales, temperaturas entre los 6°C a 17°C promedio (Saldiva, P., 2018).

La tecnología es un secador solar de 9 m de largo por 5 m de ancho por 1.70 m de alto en sus lados y 2.5 m de alto en la parte central, comprende una estructura construida en base de materiales de la zona, principalmente la madera (listones) y caña de bambú, además de estructuras metálicas como tubo galvanizado de 3 pulgadas de diámetro. El material de cobertura o aislamiento es de policarbonato de 6 mm de espesor en las paredes y calamina translúcida de 0.22 mm de espesor para el techo. Las Bandejas para el secado de los granos de café, están fabricadas con madera y malla tipo Red, cada bandeja mide 0,9 m de ancho por 1,7 m de largo y de 0.1 m de alto, haciendo un área de secado de 1.53 m²/bandeja, en total el secador cuenta con 72 bandejas, en 4 niveles de bandejas con un área total de 110.16 m² para el secado de café. El sistema de regulación de temperatura y humedad consta de un controlador automático el cual registra y actúa ante los cambios de temperatura y humedad del ambiente interno del secador a través de 2 sensores de temperatura y humedad. Se cuenta con un sistema de calefacción de aire a través de un colector solar. El secador solar es abastecido de energía solar fotovoltaica de 12 V (Barzola. A., Quiñones. L., Vásquez. B., Pérez. I., Díaz. M., 2020). Visualizar Tabla 4, que muestra resultados finales de parámetros cuantitativos.

Tabla 4.

Parámetros estudiados en artículo 4

Estudio	Tiempo de secado	Temperatura externa	Temperatura interna	% Humedad del grano
4	108 horas	28°C	50°C	12%

Nota 6. Elaboración propia.

Artículo 5. Determinación comparativa de tiempo de secado de café (coffea arábica l.) en dos tipos de secadores solares en el valle de sandia-puno"

El presente estudio fue llevado a cabo en el distrito de San Pedro de Putina Punco, Puno, Perú; se encuentra en condiciones climáticas húmedas, cálidas y semicálidas, predominando el clima cálido húmedo con una temperatura media anual superior a los 30° C aproximadamente (Lipa, E., s.f.).

Se realizó el secado de café pergamino fermentado en dos tipos de secadores solares tipo túnel con colector de calor y sin colector de calor.

La construcción de los modelos se llevó a cabo en un área de 15 x 10 m, cercana al área de beneficio de café. El terreno fue nivelado y aplanado. Los tipos de secadores solares fueron construidos de manera que el sol les diera por las paredes laterales la mayor parte del día y tomando en cuenta la dirección de circulación del aire. Las dimensiones de los secadores solares fueron de 2m ancho x 1.5m de alto x 10m de largo. Para el caso del colector solar colocado en uno de los secadores solares las dimensiones de este fueron de 1.50 de ancho por 2 metros de largo (con tablas de 20 cm de ancho), con un ángulo de 30°, luego colocamos tecno por en todo el área del colector, esto para poder preservar el calor que se adquiere, también sirve con aislante térmico, unos 10 cm de distancia instalamos las calaminas, por ultimo sellamos el colector con plástico a una distancia de 3 cm de la calamina (Mamani, J. S., 2015). Los resultados de parámetros cuantitativos estudiados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5.

Parámetros estudiados en artículo 5

Secador solar	Tiempo de secado (días)	Temperatura interna	% Humedad del grano
Con colector solar	3	51°C	12%
Sin colector solar	5	41°C	12%

Nota 7. El estudio llevó a cabo 2 experimentaciones de secado de café, una utilizando un colector solar y la segunda sin el uso de colector solar. Elaboración propia.

Artículo 6. Diseño y Construcción de un Secador Solar por Convección de Aire Caliente Automatizado de Pequeña Escala, para el Secado de café para la Universidad Nacional de Loja.

El presente estudio se llevó a cabo en la ciudad de Loja, Ecuador, en las faldas de la cordillera occidental, a 2060 metros sobre el nivel del mar; teniendo un clima temperado-ecuatorial subhúmedo. Con una temperatura media del aire de 16 °C. La oscilación anual de la temperatura lojana es de 15 °C, generalmente cálido durante el día y más frío y húmedo a menudo por la noche.

Se diseñó un secador solar por convección natural de aire caliente. Necesitándose para este efecto un colector placa plano de 1.5 m² debidamente aislado para evitar pérdidas de calor, y la cámara de secado en la cual se deshidrata el producto. El monitoreo fue automatizado, se le acoplaron sensores de temperatura y al microcontrolador un sensor de humedad para determinar la humedad en la cámara de secado. Las pruebas de secado se las realizo en los meses de mayo, junio y julio de 2011, desde 9:00 hasta las 15:00 (Roa, G.L., Ortega, B.D., 2011). Los resultados finales son mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6.

Parámetros estudiados en artículo 6

Estudio	Tiempo de secado (días)	% de humedad del café
6	3	12%

Nota 8. Elaboración propia.

3.5 Selección de la muestra

La selección de la muestra consistió en identificar los parámetros cuantitativos (tiempo de secado, temperatura externa, temperatura interna, humedad del grano), así como los parámetros cualitativos (tipo de invernadero utilizado, localización del estudio, radiación solar, características de clima y temperatura del lugar), que se estudiaron en cada uno de los 6 artículos publicados, para posteriormente compararlos y analizar su influencia en el proceso de secado.

3.6 Recolección de datos

Una vez identificados los parámetros estudiados en cada uno de los artículos, estos fueron colocados en tablas, una tabla numerada para cada estudio; esto para que sea más fácil visualizar los resultados obtenidos en cada estudio y finalmente una tabla comparativa de parámetros cualitativos y otra para parámetros cuantitativos donde se compararon los resultados de los 6 estudios.

3.7 Análisis de datos

Los datos cualitativos y cuantitativos que se obtuvieron de la recolección de datos fueron analizados de forma descriptiva, de tal manera que cada conjunto de datos

de la misma índole sea comparado y se llegue a concluir como influye dentro del proceso de secado de café.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Resultados

4.1.1 Análisis de los resultados

Se trabajó de forma teórica, indagando en la literatura sobre estudios del proceso de secado de café, identificando los parámetros que fueron estudiados a lo largo de este proceso. Por lo que después de recolectar la información necesaria, los datos recabados de los artículos Artículo 1. Evaluación térmica y financiera del proceso de secado de grano de café en un secador solar activo tipo invernadero, Artículo 2. Efectividad de un Proceso de Secado de Café usando Secadores Solares con Sistema de Flujo de Aire Continúo Impulsado por Energía Fotovoltaica, en la Región San Martín, Perú, Artículo 3. Secador solar de túnel para café pergamino, Artículo 4. Estimación de humedad de café pergamino utilizando un secador solar automatizado, mediante modelos matemáticos en Jaén-Perú, Artículo 5. Determinación comparativa de tiempo de secado de café (*coffea arábica l.*) en dos tipos de secadores solares en el valle de sandía-puno”, Artículo 6. Diseño y Construcción de un Secador Solar por Convección de Aire Caliente Automatizado de Pequeña Escala, para el Secado de café para la Universidad Nacional de Loja); fueron ordenados en 2 Tablas comparativas, mostrándose los resultados a continuación:

Tabla 7.*Comparación de parámetros cualitativos estudiados en artículos publicados*

Estudio	Altitud	Clima	Temperatura media anual	Brillo solar	Radiación solar	Humedad relativa media anual
1 (San Martinito, Tlahuapan Puebla)	2526 m.s.n.m	Templado semicálido húmedo	12 y 18°C	-	5.4 Wh/m ² /día	-
2 (San Martín, Perú)	-	Subtropical y tropical	23 y 27°C	-	-	-
3 (Chinchiná, Caldas, Colombia)	1378 m.s.n.m		21°C	1.842 h/año	4.582 Wh/m ² /día	77%
4 (San Miguel de las Naranjas, Jaén, Perú)	1330 m.s.n.m	frio y húmedo	6 a 17°C	-	-	-
5 (San Pedro de Putina Punco, Puno, Perú)	938 m.s.n.m	cálido húmedo	30°C	-	-	-
6 (Loja, Ecuador)	2060 m.s.n.m	temperado -ecuatorial subhúmedo	15°C	-	-	-

Nota 9. Elaboración propia.

La Tabla 7 nos presenta los datos cualitativos de las regiones donde se llevaron a cabo los 6 estudios; como se puede observar la altitud que a la que se encuentran los sitios estudiados tienen valores un tanto variables, que van desde los 938 m.s.n.m, hasta los 2526 m.s.n.m, entre estos rangos se encuentran las altitudes donde se ubicaron los estudios. Este factor tiene una influencia dentro de la etapa de secado, en cuanto al tiempo, puesto que a mayor altitud el secado será más lento, esto por la incidencia de las condiciones meteorológicas; por lo que el

secado llevado a cabo a altitudes bajas, será más rápido. Cabe mencionar que la altitud no repercute en la calidad del café. Entonces comparando la altitud con el tiempo que duro cada secado, podemos observar que el estudio 4 (Estimación de humedad de café pergamino utilizando un secador solar automatizado, mediante modelos matemáticos en Jaén-Perú) y 5 (Determinación comparativa de tiempo de secado de café (*coffea arabica l.*) en dos tipos de secadores solares en el valle de sandía-puno”), tienen las altitudes más bajas y por lo tanto se pudo secar el café más rápido con un tiempo de 4.5 y 3 días respectivamente.

Los climas comparten características similares pues la mayoría de las regiones tienen climas cálidos y húmedos, a excepción de la región del estudio 4 donde predomina el clima frío. Teniéndose unas temperaturas medias anual que varían de los 15 a los 30°C, en las 6 regiones. El artículo 2 (Efectividad de un Proceso de Secado de Café usando Secadores Solares con Sistema de Flujo de Aire Continúo Impulsado por Energía Fotovoltaica, en la Región San Martín, Perú) y 5 (Determinación comparativa de tiempo de secado de café (*coffea arabica l.*) en dos tipos de secadores solares en el valle de sandía-puno”), tienen las temperaturas promedio más altas 27 y 30 °C respectivamente, las cuales están relacionadas con el clima que predomina en ambas regiones, siendo los climas subtropical y tropical y el clima cálido húmedo los que influyen para tener temperaturas altas.

Solo se pudo acceder a los datos de brillo solar y humedad relativa media anual, del estudio 3, con valores de 1842 horas al año y 77% respectivamente, la función que desempeña el brillo solar básicamente está más enfocado a conocer cuantas horas de sol hay en un día aproximadamente y que nos permitirán aprovechar la radiación solar para el secado; la radiación solar tuvo valores de 4.582 Wh/m²/día y 5.4 Wh/m²/día para el caso de los estudios 3 (Secador solar de túnel para café pergamino) y 1 (Evaluación térmica y financiera del proceso de secado de grano de café en un secador solar activo tipo invernadero), como se puede observar en estos valores no existe una diferencia muy amplia. La radiación solar va a ayudar a

que esta energía llegue a los secadores solares y pueda ser utilizada para calentar directamente el interior del secador o en el caso de los secadores con colectores solares, estos reciban esta energía y puedan calentar el aire que posteriormente va a circular por la cámara de secado y extraer la humedad.

Tabla 8.

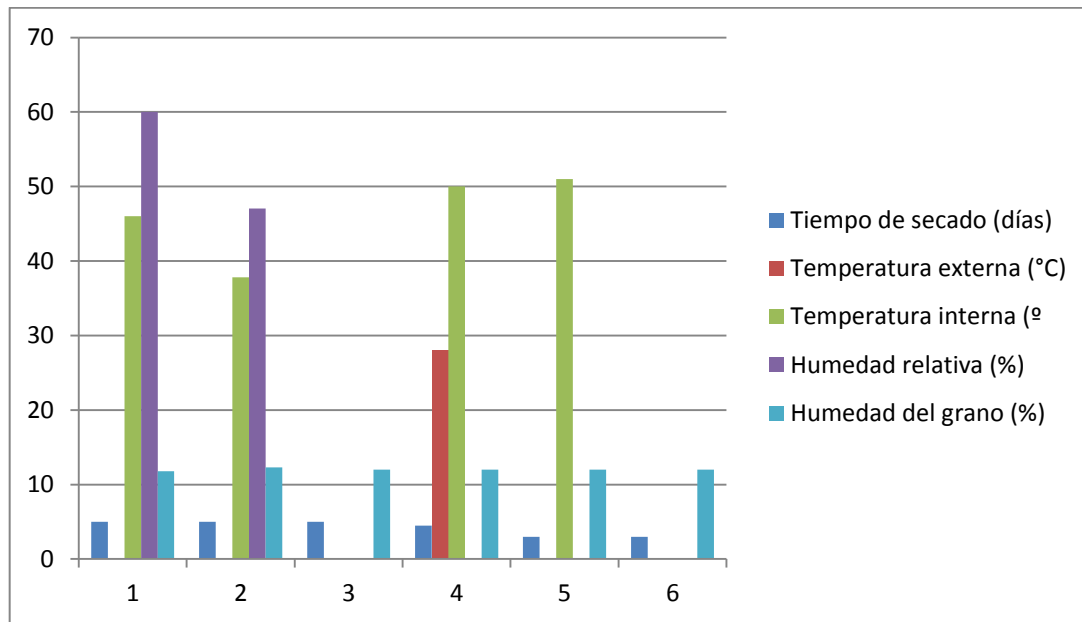
Comparación de parámetros cuantitativos estudiados en los artículos publicados

Estudio	Tiempo de secado (días)	Temperatura externa (°C)	Temperatura interna (°C)	Humedad relativa (%)	Humedad del grano (%)
1	5		46	60	11.8
2	5		37.82	47.03	12.29
3	5		-	-	12
4	4.5	28	50		12
5 (con colector solar)	3		51	-	12
(Sin colector solar)	5		41	-	12
6	3		-	-	12

Nota 10. Elaboración propia.

Figura 6.

Representación gráfica de los parámetros estudiados en los artículos de secado de café



Nota 6. La grafica representa los valores numéricos que se obtuvieron para cada parámetro, en los 6 estudios. Elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 8 y de forma gráfica en la Figura 6, se muestran los datos de cada estudio, teniéndose que el tiempo de secado en la gran mayoría de los estudios es de 5 días; cabe mencionar que en el estudio 5 (Determinación comparativa de tiempo de secado de café (*coffea arábica l.*) en dos tipos de secadores solares en el valle de sandía-puno") y 6 (Artículo 6. Diseño y Construcción de un Secador Solar por Convección de Aire Caliente Automatizado de Pequeña Escala, para el Secado de café para la Universidad Nacional de Loja.), estos tiempos de secado tan cortos se debieron a que en ambos estudios se utilizaron colectores solares, los cuales captan la radiación solar y la convierten en energía calorífica que se refleja en el aire caliente con baja humedad relativa que entra a la cámara de secado, el cual permite absorber una mayor cantidad de humedad del café.

La temperatura externa máxima alcanzada fue de 30 °C en el estudio 5 (Determinación comparativa de tiempo de secado de café (*coffea arábica l.*) en dos tipos de secadores solares en el valle de sandía-puno”) y la temperatura mínima alcanzada de 18 °C para el caso del estudio 1 (Evaluación térmica y financiera del proceso de secado de grano de café en un secador solar activo tipo invernadero). Por lo que los rangos de temperaturas externas obtenidas en los siguientes estudios se encuentran entre estos 2 valores. Estas temperaturas permitieron que las condiciones atmosféricas fueran favorables para llevar a cabo el proceso de secado.

Tanto la temperatura interna como la humedad relativa interna en el secador solar están relacionadas; el estudio 1 señala que la temperatura interna máxima alcanzada fue de 46 °C y una humedad relativa del 60%, en cuanto que el estudio 2 tuvo una temperatura interna máxima alcanzada de 37.82 °C y una humedad relativa de 47.03%, entonces se pudo constatar que a mayor temperatura alcanzada en el interior del secador, mayor fue la humedad relativa, considerablemente en los estudios, teniéndose un valor máximo de 51 °C y un valor mínimo de 37.82 °C, esto debido a diversos factores como las condiciones de Finalmente, en los estudios 3, 4, 5 y 6 la humedad del grano tuvo un porcentaje del 12%, humedad óptima para un secado de café correcto, según lo indica la norma; en cuanto al estudio 2 la humedad final del grano fue del 12.29%; y finalmente el estudio 1 tuvo una humedad final del 11.8%. Estos valores se encuentran dentro del rango de humedad óptimo que indica la norma.

Relacionando todos los factores que tienen influencia de forma directa o indirecta en el secado de café correcto, la altitud a la que se encuentra establecido el secador solar debe ser baja; se prefiere un clima cálido húmedo con temperaturas ambientales de hasta 28 °C; con radiaciones solares que pueden tomar valores de entre 4.582 Wh/m²/día y 5.4 Wh/m²/día; los parámetros mas importantes como la temperatura interna no debe sobrepasar los 60 °C, por lo que temperaturas altas de 51 °C son aceptables; la humedad relativa claramente debe ser baja, esto para que el aire tenga mayor capacidad de absorber y retener humedad del café.

Cumpliendo los parámetros antes mencionados se podrá llegar a cumplir con un secado del 12% durante un tiempo aproximado de 5 días. Cabe mencionar que los secadores solares con colectores pueden llegar a ser más eficientes para tener secados rápidos de hasta 3 días.

De acuerdo a las características de clima, temperatura media anual, altitud y radiación solar de la región 6 del estado de Puebla, se tendrían efectos positivos para lograr un secado óptimo del 12% y en un promedio de 5 a 7 días, tomando en cuenta que se podrían obtener valores similares a los estudios anteriormente presentados, gracias a las condiciones climatológicas de la región.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones del proyecto, recomendaciones y experiencia profesional y personal adquirida

De acuerdo a los resultados del proyecto, los beneficios que pueden obtener los pequeños productores de café de la región 6 de Puebla una vez que se implemente el secador solar, son los siguientes: un mayor rendimiento en cuanto al café seco, por ende, la remuneración será mucho mayor ya que se estará vendiendo una mayor cantidad de producto final y con la calidad que requiere un café seco. Potenciando así nuevamente la producción de café en la región.

Así mismo, se impulsa a los productores de la región a utilizar energías renovables, en este caso la energía solar, misma, que tiene una concentración considerable en la mayor parte de la región 6 de Puebla.

5.2 Conclusiones relativas a los objetivos específicos

Sobresale el municipio de Hueytamalco en cuanto a su producción de café, durante el año 2016 se obtuvo una productividad de 9,600 toneladas, con un rendimiento de 2000 kg/ha; mismo municipio que destaca a nivel estado con su producción anual de café, de ahí, la importancia de incentivar a los pequeños productores de café a seguir cultivando dicho fruto, pues su potencial productivo puede aumentar, mismo que se complementa en conjunto con todos los municipios de la región 6 que de igual forma destacan por su producción de café, tales como, Acateno, Atempan, Ayotoxco de Guerrero, Hueyapan, Teziutlán, Tlatlauquitepec y Yaonáhuac.

En cuanto a las variedades que se cultivan en la región podemos destacar que los productores no se limitan a producir una sola variedad de café y que esto les ha permitido conocer las cualidades de cada una de las especies y así introducir las variedades que mejor se adapten a la región y que tengan beneficios en toda la cadena productiva. Pudiendo mencionar que las variedades Caturra y Bourbon son resistentes a condiciones adversas como vientos fuertes y lluvias, este último se

adapta a distintos climas; la variedad Mundo Novo sobresale por su alto rendimiento y la calidad que el grano ofrece es óptima; es importante mencionar que la variedad Costa Rica se introdujo hace poco a la región y ha destacado por su resistencia a la Roya, plaga que ha afectado considerablemente a los cultivos de café en la región 6 de Puebla.

Mediante el análisis de estudios preliminares del secado de café con módulos solares se pudieron identificar las variables que fueron estudiadas en el proceso de secado, teniéndose que los factores cuantitativos quienes más repercuten en un correcto secado son la temperatura externa, humedad externa, temperatura interna y humedad relativa; puesto que todos en conjunto lograran que la humedad total del café sea extraída hasta llegar al porcentaje de humedad deseado de 12%. Para el caso de los factores cualitativos, tenemos que el clima, la temperatura media anual y la radiación solar son determinantes para que el proceso de secado pueda llevarse a cabo correctamente en la zona donde se implementara un secador solar.

Referente al último objetivo, se puede concluir que el secado con módulos solares, reduce considerablemente el tiempo de secado de hasta un 40%, llevándose a cabo el proceso en un promedio de 5 días, esto según los resultados en cuanto a tiempos que se obtuvieron en los estudios anteriormente presentados, cabe mencionar, que esto va a variar dependiendo de los factores internos (temperatura interna, humedad relativa), ya que al aumentar la temperatura dentro del secador, la humedad relativa será mucho menos y por lo tanto se podrá extraer mayor cantidad de humedad del grano, en menos tiempo, de igual manera los factores externos (altitud, clima, temperatura promedio anual y radiación solar) a los que se esté sometiendo el secado de café.

5.3 Conclusiones relativas al objetivo general

Este trabajo se presenta como un análisis al proceso de secado de café con módulos solares, más específicamente identificando los parámetros cualitativos y cuantitativos que influyeron en 6 estudios de secado de café publicados por diversos autores. Esto con el fin de que en un futuro se puedan implementar los secadores solares como vía alterna al secado de café, así como, de otro tipo de productos de grado alimenticio. Del presente trabajo enfocado en el objetivo general puedo concluir que:

Una vez implementado el secador solar en la región 6 de Puebla, los pequeños productores de café van a aumentar la cantidad de café a secar, aunado a ello, su rendimiento será mucho mayor pues habrá pérdidas mínimas de producto final, pues dentro del secador solar se pretende que el secado sea homogéneo; cabe mencionar que el producto estará protegido de cualquier daño que pudiera venir del exterior ya sea polvo, olores extraños, inclemencias del tiempo etc. lo cual le añade valor agregado al producto, pues al no ser influenciado por el exterior este cumplirá con los parámetros de calidad. Los secadores solares, reducen considerablemente los gastos de combustibles y el invernadero puede ser utilizado para otros productos que requieran de un secado.

Los resultados que se obtuvieron de los estudios anteriormente presentados, nos indican que el secado estará influenciado principalmente por la temperatura interna en el secador solar y la humedad relativa interna, ya que al aumentar la temperatura al interior del secador, la humedad relativa disminuye y por lo tanto habrá mayor espacio para extraer la humedad del grano, siempre y cuando exista una salida del vapor saturado del ambiente.

5.4 Limitaciones del modelo planteado

La única limitación, fue que en algunos de los artículos presentados anteriormente no se estudiaron los mismos parámetros por lo que al momento de comparar, no se pudieron analizar los mismos resultados, ya que había faltantes en alguna experimentación, además de solo considerarse un análisis basado en investigaciones científicas debido a la contingencia causada por el COVID-19.

5.5 Recomendaciones

Implementar un secador solar para café tipo invernadero en la región 6 del Estado de Puebla, para analizar su proceso de secado y comparar los factores temperatura, humedad relativa tanto externa e interna, y como variable de respuesta el tiempo de secado empleando café de la región antes mencionada.

CAPÍTULO VI

FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Alimentación Colombia. (2012, Mayo). Paneles solares permiten el secado del café y reemplazan el elevado consumo de energía. Agencia iberoamericana de la difusión de la ciencia y la tecnología. <https://www.dicyt.com/noticias/paneles-solares-permiten-el-secado-del-cafe-y-reemplazan-el-elevado-consumo-de-energia#:~:text=las%2010%3A37-.Paneles%20solares%20permiten%20el%20secado%20del%20caf%C3%A9,el%20elevado%20consumo%20de%20energ%C3%ADa&text=%E2%80%9CLo%20que%20se%20hace%20es,secado%E2%80%9D%2C%20explic%C3%B3%20el%20experto.>
2. Bandala, K. (2019, septiembre). El café poblano, de Puebla para el mundo. Exclusivas Puebla. <https://exclusivaspuebla.com.mx/el-cafe-poblano-de-puebla-para-el-mundo/>
3. Barzola. A., Quiñones. L., Vásquez. B., Pérez. I., Díaz. M. (2020, enero). Estimación de humedad de café pergamino utilizando un secador solar automatizado, mediante modelos matemáticos en Jaén-Perú. *Scielo*. 30(1). http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2309-04132020000100107&script=sci_arttext
4. Berrueta. VM., Limón. F. (2004). Aprovechando el sol para secar mejor nuestro café: desarrollo de una tecnología apropiada. 20(3). <https://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-20-numero-3/2091-aprovechando-el-sol-para-secar-mejor-nuestro-cafe-desarrollo-de-una-tecnologia-apropiada>
5. Besora. J. (2015). Informe técnico para la construcción de un secador solar de café. Recuperado de <https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2017/04/Informe-t%C3%A9cnico-secador-solar-de-caf%C3%A9.pdf>
6. Blanco. L., Valldecabres. L. (2016, Febrero). Guía para el desarrollo de proyectos de secado solar en comunidades rurales. [Universidad de Navarra]. Recuperado de <https://energiasinfronteras.org/wp-content/uploads/2020/03/GuiaSecadoV3.pdf>

7. Cámara de comercio de Chinchiná. (2021). Informe Estudio Socioeconómico Municipio de Chinchiná – Caldas. <https://www.camaracomerciochinchina.org/wp-content/uploads/2021/03/INFORME-ESTUDIO-SOCIOECONOMICO-2021-FINAL-PDF-.pdf>
8. Caracterización del departamento de San Martín. (s.f.). <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Iquitos/San-Martin-Characterizacion.pdf>
9. Cardeña. I., Ramírez. B., Juárez. JP., Huerta. A., Cruz. A. (2019, Junio). Campesinos y sistemas de producción de café ante el problema de la roya en el municipio de Hueytamalco, Puebla, México. Cuaderno Venezolano de sociología. 28(2). 58. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/espacio/article/view/29574/30342>
10. Cárdenas. JP, Pardo. JD. (2014). Caracterización de las etapas de fermentación y secado del café la primavera [Tesis de grado, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Repositorio Institucional UN. <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/02/CARACTERIZACION-DE-LAS-ETAPAS-DE-FERMENTACION-Y-SECADO-DEL-CAFE-LA-PRIMAVERA-1.pdf>
11. Chávarro, JA. (2010). Secador solar mixto para la deshidratación de productos agrícolas “El café”. [Tesis de grado, Universidad de los Andes]. Repositorio Institucional UN. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/14475/u419469.pdf?sequence=1>
12. Cruz, D., López de León, E., Pascual, L.F., Battaglia, M. (2010). Guía técnica de construcción y funcionamiento de secadoras solares tipo domo. Journal of Agriculture and Environment for International Development. 104 (3-4). 125-138. <https://www.originicaffe.it/doc/15-84-1-pb.pdf>

13. Delegación SADER Puebla. (Abril, 2018). Puebla alcanza el 3er. Lugar a nivel nacional del valor de producción de café. <https://www.gob.mx/agricultura/puebla/articulos/puebla-alcanza-el-3er-lugar-a-nivel-nacional-del-valor-de-produccion-de-cafe?idiom=es>
14. Delgado. M. (2017, Agosto). Tec Santa Clara idea secador solar, para granos, semillas y frutas. *San carlos digital*. [figura 5]. <https://www.sancarlosdigital.com/estudiantes-del-tec-idean-secador-solar-granos-semillas-frutas/>
15. Empresa consultora Consulsantos. (2010, Mayo). Manual de buenas prácticas de manufactura en el beneficio “Asociación de productores de café sostenible de Tarrazú”. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/J11-9813.pdf>
16. Espinoza S, Jaime. (2016). Innovación en el deshidratado solar. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 24(Especial), 72-80. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052016000500010
17. Estelita, S. (2016). “Comportamiento en vivero de seis variedades de café injertadas sobre coffea canephora var. Robusta en San Ramón (CHANCHAMAYO)” [tesis de grado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. Repositorio Institucional UN. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1975/F01-E884-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
18. García. L.E., Mejía. M.F., Mejía. D.J., & Valencia. C.A. (2020). Secador solar, una solución basada en colectores solares. [figura 3]. *Tu proyecto solar* [blog]. <https://tuproyectosolar.com/secador-solar-una-solucion-basada-en-colectores-solares/>
19. Google. (s.f. –a). [Teziutlán, Puebla]. [Figura 1]. Recuperado el 3 de abril de 2021 de <https://www.google.com/maps/place/Teziutl%C3%A1n,+Pue./@19.8738855>

[97.431157,12z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x85daebe614aeee65:0x3a90d494763bf7b6!8m2!3d19.8171152!4d-97.3592968](https://www.google.com/maps/place/Instituto+Tecnol%C3%B3gico+Superior+de+Teziutl%C3%A1n/@19.8824903,-97.3951235,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x85daebe614aeee65:0x3a90d494763bf7b6!8m2!3d19.8171152!4d-97.3592968)

20. Google. (s.f. –a). [Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán]. [figura 2]. Recuperado el 3 de abril de 2021 de <https://www.google.com/maps/place/Instituto+Tecnol%C3%B3gico+Superior+de+Teziutl%C3%A1n/@19.8824903,-97.3951235,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x85daeb9dcac8978f:0x113530f496e336f9!8m2!3d19.8824903!4d-97.3929348>
21. Gotteland, M., & de Pablo V, S. (2007). ALGUNAS VERDADES SOBRE EL CAFÉ. *Revista chilena de nutrición*, 34(2), 105-115. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182007000200002>
22. Guzmán, O., & Baldión, J.V. (2003). El clima en la sede principal del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Chinchiná, Caldas. *Cenicafe*, 54 (2). <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc054%2802%29110-133.pdf>
23. International Coffee Organization. (s. f.) *Procesamiento de campo*. International Coffee Organization. [https://www.ico.org/ES/field_processingc.asp?section=Meetings and Documents](https://www.ico.org/ES/field_processingc.asp?section=Meetings+and+Documents)
24. Lipa, E, (s.f.). Diagnóstico de la nueva ruralidad del distrito de San Pedro de Putina Punco Tambopata. *Monografías blog*. <https://www.monografias.com/trabajos93/nueva-ruralidad-san-pedro-putina-punco-tambopata/nueva-ruralidad-san-pedro-putina-punco-tambopata.shtml>
25. López, E.C. (2011, Diciembre). Caracterización y evaluación de la eficiencia térmica y de secado en un deshidratador híbrido (solar - gas) [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional]. Base de datos. http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx/jspui/bitstream/LITER_CIIDIROAX/273/1/L%C3%B3pez%20Vida%C3%B1a%2C%20E.%20C..pdf
26. Mamani, J. S. (2015). Determinación comparativa de tiempo de secado de café (coffea arábica l.) en dos tipos de secadores solares en el Valle de Sandia-Puno” [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano]. Base de datos.

- http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3315/Mamani_Villavicencio_Jose_Santos.pdf?sequence=1&isAllowed=y
27. Oliveros, C., Ramírez, C., Sanz, J., & Peñuela, A. (2006, noviembre). Secador solar de túnel para café pergamino (reporte n.º 353). Cenicafe. <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0353.pdf>
 28. Prada, Á., Vela, C.P., 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. *Información tecnológica*, 30(6), 85-92. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000600085
 29. Proain Tecnología Agrícola. (2020, Septiembre). Como medir la humedad optima del café para su procesamiento. Recuperado de <https://proain.com/blogs/noticias/como-medir-la-humedad-optima-del-cafe-para-su-procesamiento>
 30. Puerta, G. (1999). *Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café*. Cenicafé. 50(1). 80. [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc050\(01\)078-088.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc050(01)078-088.pdf)
 31. Puerta, G. (2016, Octubre). La humedad controlada del grano preserva la calidad del café. Cenicafé. https://handbook.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Quimica_Industrial/2.pdf
 32. Quintanar, J. (2017, Septiembre). Metodología para el diseño y evaluación de un secador solar tipo invernadero utilizado en el secado de madera. *Revista de Aplicación Científica y Técnica*, 3(9), 22. https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Aplicacion_Cientifica_y_Tecnica/vol3num9/Revista_de_Aplicacion_Cientifica_y_Tecnica_V3_N9_3.pdf
 33. Quintanar, J., & Roa, 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. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.53>

34. Reyes, G.S (2018). Diseño de secador solar térmico, de tipo mixto, para la deshidratación de excedentes agrícolas en zonas rurales de la provincia de concepción [Tesis de grado, Universidad Técnica Federico Santa María sede Concepción - Rey Balduino de Bélgica]. Repositorio Institucional USM. <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/45968/3560901543850UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
35. Ruta Café. (2018, 15 de Octubre). Café de Puebla, uno de los mejores de México. *La campiña*. <https://revistalacampina.mx/2018/10/15/cafe-de-puebla-uno-de-los-mejores-de-mexico/>
36. Roa, G.L., & Ortega, B.D. (2011). Diseño y Construcción de un Secador Solar por Convección de Aire Caliente Automatizado de Pequeña Escala, para el Secado de café para la Universidad Nacional de Loja [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. Base de datos. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/12368/1/Ortega%20Torres%2C%20Diego%20Bladimir%2C%20Roa%20Mar%C3%ADn%2C%20Germ%C3%A1n%20Leonardo.pdf>
37. Zaragoza, I., Borja., A., Zamudio., F.J., Ordóñez., V.R, & Bárcenas., G.M. (2014). Anatomía del culmo de bambú (*Guadua aculeata* Rupr.) de la región nororiental del estado de Puebla, México. *Madera y bosques*, 20(3), 87-96. Recuperado en 13 de mayo de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712014000300008&lng=es&tlng=es.
38. Zerga, A. (2005, noviembre). Programa de prevención y medidas de mitigación ante desastres de la ciudad de Jaén. http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_cajamarca/jaen/jaen.pdf