

Viabilidad climatológica para la implementación de secadores solares de café tipo invernadero en la región 6 de Puebla.

Climatological viability of establishing a greenhouse solar coffee dryer in region 6 of Puebla.

Alejandra Aragón-Parra^{1*}, Magdaleno Martínez-Demetrio² Lisset Zaragoza-Becerra³

¹Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán. Fracción I y II S/N, 73890, Aire Libre, Teziutlán Pue.

²Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán. Fracción I y II S/N, 73890, Aire Libre, Teziutlán Pue.

³Estudiante de Ingeniería en Industrial Alimentarias del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán. Fracción I y II S/N, 73890, Aire Libre, Teziutlán Pue.

***Corresponding author:** alejandra.ap@teziutlan.tecnm.mx

Resumen

Esta investigación analizó el proceso de secado de café a través de diferentes variables climatológicas estudiadas en distintos artículos publicados sobre secado del café con módulos solares, la finalidad es comparar estas condiciones climáticas de la región 6 del estado de Puebla y con ello proponer esta tecnología para los municipios productores de esta región mediante la implementación de módulos solares tipo invernadero, considerando las siguientes variables; 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; 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 menor de 53%, 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. Los secadores solares con colectores pueden llegar a ser más eficientes para tener secados rápidos de hasta 3 días, condiciones idóneas para los municipios de la región 6 del estado de Puebla.

Palabras clave: Viabilidad, secado, café, clima.

Abstract

This research studied the coffee drying process through different qualitative and quantitative parameters studied in 6 different articles published on coffee drying with solar modules, the purpose is to find the similarities and differences that exist in the climatic variability with the region 6 of the state of Puebla and with this, propose this technology for the producing municipalities of this region, obtaining the following results; the altitude at which the solar dryer is established should be low; a warm wet climate with temperatures of up to 28 °C is desired; the most important parameters such as internal temperature should not exceed 60 °C, so high temperatures of 51 °C are acceptable; the relative humidity should clearly be lower than 53%, it will be possible to achieve a drying rate of 12% during an estimated time of 5 days. It is important to mention that solar dryers with collectors can be more efficient to achieve rapid drying of up to 3 days, ideal conditions for the municipalities of region 6 of the state of Puebla.

Keywords: Viability, drying, coffee, climate.

1. Introducción

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 principales similitudes que tienen los municipios de la región 6 es que la producción de la mayoría de los cafecultores solo se limitan a la venta en café cereza, y los pocos productores que se dedican al secado de café, utilizan asoleaderos, sin embargo, esta técnica no garantiza la calidad del café y conlleva mucho tiempo llegar a secar el café hasta una humedad del 12% según lo dicta la NOM 149, el secado correcto como lo mencionan algunos autores como Zactiti et al., (2004) y Ventura-Cruz et al., (2019) permite conservar la calidad durante el almacenamiento, pero no solo eso, Henao, (2015) explica que un secador de café puede aumentar la calidad del café y Besora (2017) lo reafirma en su estudio describiendo que la calidad del secador se puede apreciar en la apariencia del grano, uniformidad de color, peso justo y color. Sin embargo, uno de los factores que impide llegar de manera adecuada al nivel de humedad requerido son las inclemencias del tiempo pues limita un secado correcto, y puede durar aproximadamente de entre 12 a 20 días, tiempo en el que, el café puede llegar a pudrirse por exceso de humedad, atrapar olores del medio, y al estar en contacto durante mucho tiempo con el concreto, el polvo, suciedad etc., deterioran la calidad del café y por ende su rendimiento final.

En la región 6 del estado de Puebla, sobresale el municipio de Hueytamalco en cuanto a su producción de café, durante el año 2016 se obtuvo una productividad de 7,200 toneladas, con un rendimiento de 2.000 kg/ha, y ha aumentado con el paso del tiempo, con base en el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) para el año 2020 el municipio tuvo un cierre con 11,095 toneladas por lo 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 se puede 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. Cabe 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 reconocer 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.

El objetivo de este trabajo es analizar las variables climatológicas de diferentes estudios que permitan identificar la viabilidad del establecimiento de módulos solares tipo invernadero para el secado del café en la región 6 del estado de Puebla.

2. Métodos o Metodología

Para realización de este trabajo y por situación de la contingencia que actualmente se vive, se evaluaron 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 permitirán obtener valores aproximados de lo que conllevaría un secado de café en la región 6 del Estado de Puebla.

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 artículos publicados, para posteriormente compararlos y analizar su influencia en el proceso de secado.

Una vez identificados los parámetros estudiados en cada uno de los artículos, se analiza y compara con las características climatológicas de la región 6 del Estado de Puebla y se establecen las recomendaciones para su posterior implementación en el proceso de secado del café.

3. 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 fueron los siguientes:

Altitud: De acuerdo con Guevara y colaboradores (2019), la altitud es uno de los parámetros más estudiados en la calidad del café, en este estudio no mostro una diferencia significativa a la altitud a la que se instalan los secadores. 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.

Temperatura: este es uno de los factores que influye tanto en el tiempo de secado para obtener la humedad del grano como en mantener las características organolépticas. Los climas a los que se evaluaron los diferentes estudios comparten características similares, en la mayoría de las regiones tienen climas cálidos y húmedos, temperaturas que oscilan entre los 18°C (Quintanar, 2017) y 30°C (Mamani, 2015), considerando que en ambos hubo una reducción considerable del tiempo de secado, con una diferencia de 48 horas más que la temperatura más baja, aunque también se debe considerar que no se deben superar temperaturas de 60 °C para evitar problemas con la calidad del producto final.

diferencia de 48 horas más que la temperatura más baja, aunque también se debe considerar que no se deben superar temperaturas de 60 °C para evitar problemas con la calidad del producto final.

Humedad relativa: es uno de los parámetros para evaluar la calidad del proceso de secado del café, ya que esto favorecerá a la pérdida del agua del grano, es por ello debe ser considerada por debajo del 53% dentro del invernadero, humedad a la que se encuentra el café húmedo listo para iniciar el secado, otros autores como Luna-Valencia, et al., (2018) establecen una temperatura del 50%. De acuerdo con López y colaboradores (2014) la humedad relativa máxima a la que se estableció esta metodología fue de 65%, la cual dentro del invernadero disminuye, de acuerdo con la temperatura externa, buscando obtener una humedad de 12% como lo marca la NOM149.

Tipo de invernadero: existen diferentes diseños, estructuras y materiales, con la finalidad de controlar las temperaturas y humedad optima en el proceso de secado, el tipo domo mantiene 9°C por encima de la temperatura externa del ambiente y 13% más baja en relación a la humedad relativa del exterior, considerando también un buen flujo de aire para obtener los resultados en cuanto a la reducción de tiempo de secado. Guevara et al. (2019), plantea que el método de secado influye en características físicas y organolépticas del café, siendo que un proceso de secado directo al sol (tradicional) tendrá menor calidad del café, así mismo López (2006), destaca las propiedades de mejor sabor, fragancia, aroma, acidez y cuerpo con la implementación de secadores térmicos o tipo invernadero con flujo de aire.

De acuerdo con lo anterior, el sistema de flujo de aire también se considera como un factor que beneficia el secado, la circulación de aire favorece a un secado uniforme ya que la temperatura y la humedad se mantienen constantes en toda el área del módulo, de

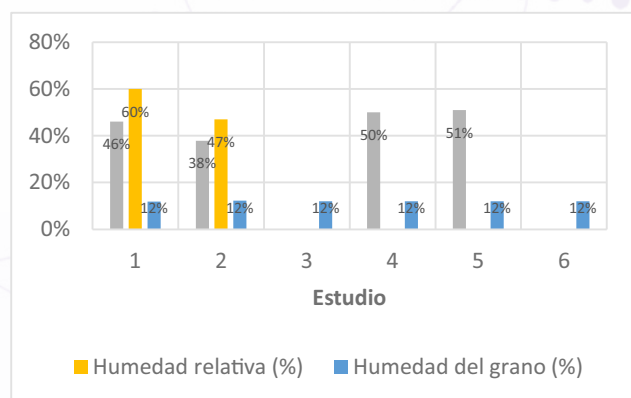
acuerdo con Prada y colaboradores (2019) en un sistema con flujo de aire caliente promueve a mantener la calidad de café en taza.

Tiempo de secado. El método que se emplea para el proceso de secado tiene variaciones en los tiempos, de forma tradicional es sustancialmente mayor a comparación de los módulos solares. El tiempo de secado en la gran mayoría de los estudios analizados es de 5 días; aclarando que dos de los 6 estudios los tiempos de secado fueron menores debido a que se emplearon 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.

4. Discusión

Como se observa en la gráfica de la figura 1. Relacionando todos los factores que tienen influencia de forma directa o indirecta en el secado de café, 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; 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 menor al 53% dentro del invernadero y menor a 80% externa, esto para que el aire tenga mayor capacidad de absorber y retener humedad del café. Cumpliendo los parámetros antes mencionados se podrá obtener con un secado del 12% durante un tiempo aproximado de 5 días.

Figura 1. Representación gráfica de variables en el proceso de café



Nota: la figura muestra las variables obtenidas en 6 estudios. Elaboración propia

De acuerdo con las características de clima, temperatura media anual, altitud y radiación solar de la región 6 del estado de Puebla, se identifican tres climas dispuestos en franjas latitudinales, con temperaturas que van desde 16 a 26°C, aunque en los últimos años se han registrado temperaturas extremas que van desde los 4°C hasta los 35°C, con una humedad relativa entre el 60 y 70%, considerando esto positivo para lograr un secado óptimo del 12% y en un promedio de 5 a 7 días, tomando en cuenta que se podrán obtener valores similares a los estudios anteriormente analizados y gracias a las condiciones climatológicas de la región.

5. Conclusiones

De acuerdo con los resultados de la investigación, los beneficios que pueden obtener los pequeños productores de café de la región 6 de Puebla una vez que se implemente el secador solar, serán mucho mayor ya que se está ofertando un producto final de calidad, es importante mencionar que el secador solar no solo es una propuesta única para el café, sino para otras áreas, por ejemplo, como el cacao, el cual, como lo establece López y Chávez, (2018), beneficia directamente al impedir contaminación con el polvo, hongos y animales que alteran la inocuidad de los granos.

Mediante el análisis de estudios preliminares del secado de café con módulos solares se puede identificar las variables que fueron estudiadas en el proceso de secado, donde 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, el clima y la temperatura media anual son determinantes para que el proceso de secado pueda llevarse a cabo correctamente en la zona de implementación.

Mediante el análisis de estudios preliminares del secado de café con módulos solares se puede identificar las variables que fueron estudiadas en el proceso de secado, donde 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 logran que la humedad total del café sea extraída hasta llegar al porcentaje de humedad deseado de 12%. Para el caso de los factores cualitativos, el clima y la temperatura media anual son determinantes para que el proceso de secado pueda llevarse a cabo correctamente en la zona de implementación.

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) a los que se esté sometiendo el secado de café.

6. Trabajo a futuro

De acuerdo con los análisis de los factores climatológicos analizados anteriormente, se puede concluir que son factibles para la implementación de secadores solares tipo invernadero teniendo consideraciones en su ubicación, ventilación del grano y condiciones climáticas como alternativa en el proceso de secado en la región 6 del estado de Puebla, aunque se recomienda seguir analizando otras variables que sustenten dicha aplicación, tales como: la factibilidad económica y la calidad del producto final.

El análisis de la factibilidad económica se sustentará mediante un estudio financiero del impacto en el costo beneficio del producto y en cuanto a la calidad se considera la caracterización sensorial de los atributos del grano, a partir de aplicación de herramientas modernas con consumidores, además de un análisis bromatológico del grano seco, principalmente en color, textura, contenido de

minerales, cafeína entre otros componentes de importancia, comparando los dos métodos de secado (tradicional y secadores solares tipo invernadero) para valorar las diferencias significativas con la finalidad de impulsar el sector productivo y su competitividad en el mercado nacional.

Referencias Bibliográficas

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

Besora, J. (2017). Informe técnico para la construcción de un secador solar de café. Economía Solidaria y Sostenibilidad Ambiental para el Desarrollo Económico Local en el norte de Cajamarca, Perú. Ingeniería sin fronteras. <https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2017/04/Informe-t%C3%A9cnico-secador-solar-de-caf%C3%A9.pdf>

Guevara-Sánchez, Maricely, Bernaldes del Águila, Carlos Ivan, Saavedra-Ramírez, Jorge, & Owaki-López, Johnny Jackson. (2019). Efecto de la altitud en la calidad del café (*Coffea arabica* L.): comparación entre secado mecánico y tradicional. *Scientia Agropecuaria*, 10(4), 505-510. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.07>

Henao, J. 2015. Evaluación del proceso de secado del café y su relación con las propiedades físicas, composición química y calidad en taza. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. 100 pp.

López Cerino, Ignacio, & Chávez García, Elsa. (2018). Eficacia de secador solar tipo túnel con cacao (*Theobroma Cacao* L.) en Tabasco. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(spe21), 4395-4405. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i21.1528>

López Fontal, Elkin Mauricio. (2006). Secado de café en lecho fluidizado. *Ingeniería e Investigación*, 26(1), 25-29. Retrieved November 12, 2021, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092006000100003&lng=en&lng=es

López López, A. J., & Benavides León, C. (2014). Respuesta térmica del invernadero de la estación experimentao Fabio Baudrit Moreno, Alajuela Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 121-132.

Luna-Valencia, J. E., Espinosa-Bayer, C., Ordóñez-Castañeda, Y. M. & Vásquez Riascos, A. M. (2018). Diseño estructural de un secador conitnuo y herramienta para volteo de cafés especiales. *Informador Técnico*, 82(2), 260-269. <http://portal.amelica.org/ameli/lataRepos/87/87600012/movili/index.html>

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 Sandía-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

Oliveros, C., Ramírez, C., Sanz, J., & Peñuela, A. (2006, noviembre). Secador solar de túnel para café pergamino (reporte n. ° 353). *Cenicafe*. <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0353.pdf>

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

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>

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/ispu/bitstream/123456789/12368/1/Ortega%20Torres%2C%20Diego%20Bndimir%2C%20Roa%20Mar%2C%20ADn%2C%20Germ%C3%A1n%20Leonardo.pdf>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2020. Avance de siembras y cosechas de café cereza en el estado de Puebla. http://infosiap.siap.gob.mx/Agricola_siap/ResumenProducto_d

Ventura-Cruz, S.; Ramírez-Segura, O.; Flores-Alamo, N.; Ramírez-Gerardo, M.; Rodríguez-Ramírez, E. 2019. Optimización de un secador industrial de lecho vibrofluidizado, para secar café (*Coffea arabica* L.). *Revista mexicana de Ingeniería Química* 18(2): 501-512.

Zactiti, E.M.; Finzer, J.R.D.; Limaverde, J.R.;

Banzatto, L.L. 2004. Comparação entre sistemas de secagem de café. *Science & Engineering Journal* 13(1):19-23.