

EVALUACIÓN TÉRMICA DE UN SECADOR SOLAR PARA LA OBTENCIÓN DE CAFÉ PERGAMINO EN LA REGIÓN CAFETALERA DE LA MIXTECA OAXAQUEÑA

THERMAL EVALUATION OF SOLAR DRYER FOR OBTAINING PARCHMENT COFFEE IN MIXTECA COFFEE REGION OF OAXACA

Juan Quintanar Olguin

C. E. San Martinito – CIRGOC – INIFAP, México
quintanar.juanl@inifap.gob.mx

Luis Eduardo García Mayoral

C. E. Valles Centrales de Oaxaca – CIRPAC – INIFAP, México
garcia.luis@inifap.gob.mx

Recepción: 23/noviembre/2022

Aceptación: 18/enero/2023

Resumen

En el proceso para obtener café seco a partir de café cereza, el secado es una etapa fundamental, ya que se debe disminuir el contenido de humedad del café lavado (48 a 56% en base húmeda) a un rango que oscile entre el 10 y 12% de humedad, niveles apropiados para inhibir la formación de hongos y evitar que el grano sufra daños en su aspecto físico y composición química. Para la evaluación se utilizó un secador solar semi parabólico directo tipo pasivo, donde la cubierta total se considera como el colector. La máxima diferencia de temperatura entre el interior del secador y el ambiente fue de 10 °C. La eficiencia térmica del secador por mes fue de 11% promedio para la temporada de cosecha. Los resultados demuestran que el secador es apto para obtener café pergamino seco a nivel de pequeños productores.

Palabras Clave: Diferencial de temperatura, eficiencia térmica, periodo de cosecha para café.

Abstract

In process to obtain dry coffee from cherry coffee, drying is a fundamental stage, since the moisture content of the washed coffee must be reduced (48 to 56% on a

wet basis) to a range that oscillates between 10 and 12% humidity, appropriate levels to inhibit the formation of fungi and prevent grain from suffering damage to its physical appearance and chemical composition. For evaluation, a passive type direct semi-parabolic solar dryer was used, where total cover is considered as collector. The maximum temperature difference between interior of dryer and environment was 10 °C. The thermal efficiency of dryer per month in relation to harvest season and was 11% average for season. The results show that dryer is suitable for obtaining dry parchment coffee at the level of small producers.

Keywords: Harvest period for coffee, temperature differential, thermal efficiency.

1. Introducción

En México, el café es uno de los cultivos de mayor extensión e importancia económica, ya que se mantiene entre los cinco productos de exportación más importantes. Las zonas de producción se concentran en 12 estados, principalmente en pequeñas unidades de producción de las áreas montañosas, siendo los estados de Chiapas, Veracruz y Puebla, los que aportan el 81.1% de la producción nacional [SIAP, 2022]. Al proceso industrial para la transformación del café cereza a pergamino, se le denomina beneficio y comprende las siguientes etapas: clasificación, lavado, despulpado, remoción de mucílago y secado. De estas etapas, el secado es fundamental, ya que tiene como finalidad disminuir el contenido de humedad del café lavado (varia de 48 a 56% en base húmeda) a un rango que oscile entre el 10 y 12% de humedad. El proceso tradicional del secado del grano de café en las regiones cafetaleras del país es al aire libre sobre planillas de concreto (asoleaderos), donde se exponen los granos húmedos directamente a los rayos del sol, durante seis a diez días aproximadamente, removiendo el grano periódicamente hasta alcanzar un contenido de humedad de 12% en promedio [Jurado *et al.*, 2009]. El sistema de secado es simple, pero existen limitantes que reducen la calidad de éste; como las lluvias repentinas, el polvo, la basura y los animales; también se debe guardar o cubrir el café por las noches para evitar que vuelva a absorber la humedad ambiental y la imposibilidad de secar alto volumen de café [Singh *et al.*, 2018; Sharma *et al.*, 2018; Shimpy *et al.*, 2019].

Una de las alternativas de solución, para mejorar el aprovechamiento de la energía solar, es mediante el uso de los secadores solares para secar el grano de café [Hii *et al.*, 2019; Upadhyay and Singh, 2017; Yoo *et al.*, 2017]. Esta tecnología tiene como base de funcionamiento el principio invernadero, donde la radiación solar es absorbida para elevar la temperatura de una corriente de aire que circulará en torno al producto a secar, transportando la humedad evaporada del material [Quintanar, 2016; Tiwari, 2016]. En la actualidad, existe una gran variedad de diseños y tamaños de secadores solares que pueden utilizarse para el secado de diversos alimentos de origen agrícola. Son instalaciones que requieren de poco capital y bajos costos de mantenimiento, de fácil construcción y cualquier material disponible en la zona de construcción puede ser usado, con tendencia de los diseños a la simplicidad, debido a que no existe una diferencia significativa en los resultados obtenidos con los diseños más primitivos respecto de los más sofisticados [Sharma *et al.*, 2018]. En el secado solar, el rendimiento térmico es un indicador confiable para estudiar la factibilidad del sistema y su determinación es importante para lograr la máxima eliminación de humedad utilizando la mínima cantidad de energía [Desa *et al.*, 2020]. Su rendimiento depende de varios parámetros ambientales, como la radiación solar, la temperatura ambiente [Jambhulkar *et al.*, 2017]. Así, la eficiencia de un secador solar es una medida de la eficacia con que se utiliza la radiación solar por el sistema para secar el producto y evaluar su rendimiento [Keke *et al.*, 2014]. Esto es, la energía necesaria para evaporar el agua del grano dividido por la entrada de energía al secador [Parra-Coronado *et al.*, 2008, Chavan *et al.*, 2011]. Valores habituales de este parámetro se encuentran en el rango 10-50%, dependiendo del modo de funcionamiento y del tipo de secadero [Montero, 2005, Tiwaria *et al.*, 2013]. El objetivo del presente estudio fue evaluar las diferencias de temperatura al interior del secador y el ambiente, así como calcular la eficiencia térmica del secador al ser usado para obtener café pergamino.

2. Materiales y Métodos

La evaluación se realizó en un secador solar que se clasifica como invernadero semi-parabólico directo tipo pasivo, con una cubierta externa de 36 m² considerada

como superficie colectora de energía solar (Figura 1), construido con materiales de la región: madera y bambú, cubierto de plástico para invernadero.



Figura 1 Diseño y construcción del secador solar en Zaragoza Itundujia, Oaxaca.

El secador se encuentra ubicado en la localización geográfica: 16°40'33" N y 97°47'15" W, a una altitud de 1677 msnm, en Zaragoza Itundujia, enclavada en la región de la mixteca Oaxaqueña. Donde predomina un clima del tipo C(W₂) templado subhúmedo, con una temperatura promedio anual de 20 °C, mínima de 15 y máxima 26 °C en los meses de enero y mayo respectivamente, con una precipitación promedio anual de 1500–2000 mm. La radiación solar promedio para los meses de cosecha de café en la zona se presentan en la tabla 1.

Tabla 1 Radiación global mensual (Wh/m²) en la región mixteca del estado de Oaxaca.

| Mes | Horas con insolación | Insolación (Wh/m ²) |
|-----------|----------------------|---------------------------------|
| Diciembre | 10 | 6561 |
| Enero | 10 | 6756 |
| Febrero | 10 | 6777 |

La determinación de la eficiencia térmica del secado solar se determina utilizando la ecuación 1 [Sandali *et al*, 2019; Desa *et al*, 2020 y Singh and Gaur, 2020].

$$\eta_s = \frac{(W_o - W_t) L_v}{R_s A_c t_s} \quad (1)$$

Dónde η_s es la eficiencia del secador solar, W_o corresponde al peso inicial del material en kg, W_t representa el peso del material en el tiempo t en kg, L_v es el valor del calor latente de vaporización del agua en el producto a secar en kJ/kg, R_s es el valor de la radiación horaria incidente sobre la superficie del colector en Wh/m², A_c

corresponde al área del colector en m^2 y t_s es el tiempo necesario para realizar el proceso de secado.

3. Resultados y Discusión

Los resultados que se presentan son relacionados con el secado de café realizado en un secador de diseño semiparabólico tipo pasivo con $36 m^2$ de cubierta externa, considerada como superficie colectora, a partir de un volumen de 200 kg ($19.5 kg/m^2$) de grano de café lavado por carga. También se consideró un valor del calor latente de vaporización para café cuando tienen un 50% de humedad en base seca, que es de $2786.3 kJ/kg$ [Restrepo y Burbano, 2005].

Los secadores solares tienen en cuenta la conversión de energía solar a energía térmica útil para el proceso de secado. En el secado solar, el rendimiento térmico es un indicador confiable para estudiar los méritos del sistema y se puede cuantificar mediante análisis de energía. Al evaluar las condiciones de temperatura al interior del secador y medio ambiente, se ha determinado que al interior de este siempre son mayores que las existentes en el ambiente (Figura 2), con una diferencia de $10\text{ }^\circ C$ aproximadamente a las 11:00 horas, que coincide con las horas de mayor radiación solar, lo que permite un secado más acelerado respecto al medio ambiente.

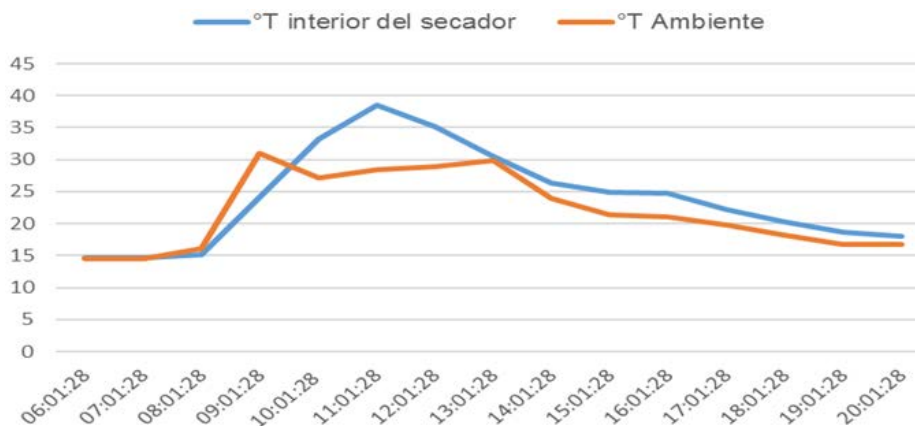


Figura 2 Distribución de las temperaturas interior y ambiente de un día normal.

La diferencia entre la temperatura interna y del medio ambiente es menor a las diferencias reportadas de entre 12 y $14\text{ }^\circ C$ [Monrudee et al., 2011, Almuhanha, 2012,

Menya and Komakech, 2013], y bastante menor a la diferencia máxima de 29 °C reportada por Sreekumar [2013].

La temperatura al interior del secador no es contante durante las horas de un mismo día, y tampoco durante los días que dura el proceso de secado. Esto se debe a que la temperatura del secador depende de la radiación solar, que no es constante. También la humedad relativa del aire de secado es un factor crítico para controlar la velocidad de secado del producto. Cuanto menor sea la humedad relativa, mayor es la capacidad de absorción de humedad por el aire.

Por otro lado, se determinó la eficiencia térmica (η_s) del secador solar aplicando la ecuación 1, para los tres meses que dura la cosecha de café en la región, tomando en promedio 10 días necesarios para que el café alcance un contenido de humedad 11% que es el apropiado para guardarlo. La eficiencia térmica promedio, como se muestra en la tabla 2, fue de aproximadamente 11% durante los tres meses que dura la cosecha en la zona cafetalera de la región mixteca en el estado de Oaxaca. Estos valores son menores a los reportados por Restrepo y Burbano [2005], quienes reportaron una eficiencia térmica del 29% de un secador solar indirecto con convección forzada al secar café. También los valores calculados de eficiencia térmica del secador solar objeto de estudio, son menores a los informados por autores como Rajeshwari y Ramalingam [2012], que reportaron una eficiencia del 15 al 18%, en todas las condiciones de ensayo de un diseño de secador solar tipo gabinete.

Tabla 2 Eficiencia térmica mensual para un secador solar, en la región Mixteca.

| Mes | Insolación (Wh/m ²) | η_s (%) |
|-----------|---------------------------------|--------------|
| Diciembre | 6561 | 11.2 |
| Enero | 6756 | 10.88 |
| Febrero | 6777 | 10.80 |

Además, estos valores de eficiencia térmica son menores a los reportados por Yelmen *et al.*, [2019], quienes informan valores de eficiencia térmica de entre 20-30% para secadores de convección natural, y aún menores a los resultados de 39.2% reportados por Subramaniyan *et al.* [2021] o a los valores de 52.55% de

eficiencia de en un secador solar [Sreekumar, 2013] o de 54% de eficiencia máxima reportados por Kamarulzaman *et al.* [2021] para un secador solar utilizado en el secado de productos agrícolas. Estos valores tan diversos demuestran que las condiciones climáticas como la temperatura ambiente y la radiación solar tienen una influencia importante en el rendimiento de un secador solar [Jambhulkar *et al.*, 2017; Sandali *et al.*, 2019].

4. Conclusiones

- La eficiencia térmica aun cuando depende de la localización geográfica de la instalación solar es un buen indicador para realizar comparaciones entre diferentes diseños de secadores.
- El incremento de la temperatura interior de 20 °C respecto a la temperatura ambiente, que genera una eficiencia global del secador solar estimada en aproximadamente 11%, lo hace apto para obtener café pergamino seco a nivel de pequeños productores, con calidad de especialidad.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Almuhanha E. A. (2012). Utilization of a solar greenhouse as a solar dryer for drying dates under the climatic conditions of the eastern province of Saudi Arabia. Part I: Thermal performance analysis of a solar dryer. *Journal of Agricultural Science* 4(3): 237-246.
- [2] Chavan B. R.; A. Yakupitiyage and S. Kumar. (2001). Drying Performance, Quality Characteristics, and Financial Evaluation of Indian Mackerel (Rastrilliger Kangurta) Dried by a Solar Tunnel Dryer. *Thammasat Int. J. Sc. Tech* 16(2):11-25.
- [3] Desa W. N. Y. M., A. Fudholi and Z. Yaakob. (2020). Energy-economic-environmental analysis of solar drying system: a review. *International Journal of Power Electronics and Drive System* 11(2):1011-1018.
- [4] Jurado C., J. M.; Montoya R., E. C.; Oliveros T., C. E. y García A., J. 2009. Método para medir el contenido de humedad del café pergamino en el secado solar del café. *Cenicafé* 60(2):135-147.

- [5] Hii C. L., Ong S. P., Chiang C. L. and Menon A. S. (2019). A review of quality characteristics of solar dried food crop products. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 292 (2019) 012054 doi:10.1088/1755-315/292/1/01205.
- [6] Jambhulkar A. C., V. B. Pawar, S. B. Pawar, A. S. Dharwadkar, P. S. Pandure and S. P. Gadewar. (2017). Solar drying techniques and performance analysis: A review. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering* 6:35-29.
- [7] Kamarulzaman A., M. Hasanuzzaman and N. A. Rahim. (2021). Global advancement of solar drying technologies and its future prospects: A review. *Solar Energy* 221:559–582.
- [8] Keke M., M.; A. Femi S.; S. Kayode A. and I. Abimbola A. (2014). Qualitative performance and economic analysis of low cost solar fish driers in Sub-Saharan Africa. *Journal of Fisheries* 2(1):64-69.
- [9] Menya, E. and Komakech, A. J. (2013). Investigating the effect of different loading densities on selected properties of dried coffee using a GHE dryer. *Agric Eng Int: CIGR J.* 15(3):231-237.
- [10] Monrudee, B. M.; Lertsatitthanakorn, C.; Wiset, L. and Poomsaad, N. (2011). Performance analysis and economic evaluation of a greenhouse dryer for pork drying. *KKU Eng. J.* 38(4):433-442.
- [11] Montero P., I. (2005). Modelado y construcción de un secadero solar híbrido para residuos biomásicos. Tesis doctoral. Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Extremadura. Badajoz. España. 262 p.
- [12] Parra-Coronado A., G. Roa-Mejía y C. E. Oliveros-Tascón. (2008). SECAFÉ Parte II: Recomendaciones para el manejo eficiente de los secadores mecánicos de café pergamino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 12(4):428–434.
- [13] Quintanar O. J. (2016) Secado solar. In: Unistmo. Alternativas energéticas. Universidad del Istmo. Tehuantepec, Oaxaca, México.
- [14] Restrepo V., A. H. y J. C. Burbano J. (2005). Disponibilidad térmica solar y su aplicación en el secado de granos. *Scientia Et Technica* 11(27):127-132.

- [15] Rajeshwari N. and A. Ramalingam. (2012). Low cost material used to construct effective box type solar dryer. *Archives of Applied Science Research*, 4 (3):1476-1482.
- [16] Sandali M, A. Boubekri and D. Mennouche. (2019). Improvement of the thermal performance of solar drying systems using different techniques: a review. *Journal Solar Energy Engineering* 141(5):050802 (11 pages).
- [17] Sharma A., O. Chatta and A. Gupta. (2018). A review of solar energy use in drying. *International Journal of Engineering Technology Science and Research* 5(3):351-358.
- [18] Shimpy, H. Manchanda, M. Kumar and M. Gupta. (2019). Recent developments and comprehensive review on greenhouse dryers. *Proceedings of the National Conference on Trends and Advances in Mechanical Engineering (TAME 2019)*. Faridabad. India. Pp. 23-31.
- [19] Singh, P. and M. K. Gaur. (2020). Environmental and economic analysis of hybrid greenhouse solar dryer: A Review. *International Journal of Energy Technology* 2(1):55-69.
- [20] Singh S., M. Singh and V. S. Han. (2018). Development of multi product solar dryer and its evaluation for fenugreek leave. *Chemical Science Review and Letters* 7(25):128-134.
- [21] Sistema de Información Agroalimentaria y Pecuaría (SIAP). 2022. Escenario mensual de productos agroalimentarios, Café cereza. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/759464/Caf_Agosto_2022.pdf.
- [22] Sreekumar A. (2013). Evaluation of a roof-integrated solar air heating system for drying foodstuffs. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 3(3):209-213.
- [23] Subramaniyan C., K. B. Prakash, B. Kalidasan, N. Bhuvanesh and A. Amarkarthik. (2021). Exergy analysis on performance of groundnut solar dryer with forced convection. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 1059 (2021) 012056 doi:10.1088/1757-899X/1059/1/012056.
- [24] Tiwari, A. (2016). A review on solar drying of agricultural produce. *Journal of Food Processing & Technology* 7(9):1-12.

- [25] Tiwaria G.; V. K. Katiyara; V. Dwivedia; A. K. Katiyarb and C. K. Pandeyb. (2013). A comparative study of commonly used solar dryers in India. *International Journal of Current Engineering and Technology* 3(3): 994-999.
- [26] Upadhyay, N. and A. Singh. 2017. Experimental performance of solar greenhouse dryer for drying vegetables & fruits – a review. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research* 4(8):153-156.
- [27] Yelmen B., M. T. Çakir and H. H. Şahin. (2019). Performance evaluation of greenhouse type dryers for red pepper: technical and economic aspect. *Advances in Research* 20(2): 1-13.
- [28] Yoo J. Y., H. J. Kim., E. J. Woo and C. J. Park. (2017). On solar energy utilization for drying technology. *International Journal of Environmental Science and Development* 8(4):305-311.