

Efectos del secado solar sobre el cambio de color en chile pimiento (*Capsicum annum*)

Effects of solar drying on color change in chili pepper (*Capsicum annum* L.)

Margarita Castillo-Téllez¹
Universidad Autónoma de Campeche
mcastill@uacam.mx

Diana C. Mex-Álvarez²
Universidad Autónoma de Campeche
diancmex@uacam.mx

Charlotte M Llanes-Chiquini³
Universidad Autónoma de Campeche
chmlane@uacam.mx

Luz Ma. Hernández-Cruz⁴
Universidad Autónoma de Campeche
lmhernan@uacam.mx

Jahaziel Cano-Carrillo⁵
Universidad Autónoma de Campeche
al066220@uacam.mx

Beatriz Castillo-Téllez⁶
Universidad de Guadalajara
beatriz.castillo@academicos.udg.mx

doi.org/10.33386/593dp.2025.3.2800

V10-N3 (may-jun) 2025, pp 768-777 | Recibido: 23 de septiembre del 2024 - Aceptado: 22 de abril del 2025 (2 ronda rev.)

1 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9639-1736>. Docente e investigadora de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche.

2 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9419-7868>. Facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche

3 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8389-5943>. Docente e investigadora de la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Campeche

4 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0469-5298>. Docente e investigadora de la Facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche

5 Estudiante de la Licenciatura en Ingeniería en Energía de la UACAM

6 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3747-6320>. Docente e investigadora del Centro Universitario de Tonalá, Universidad de Guadalajara

Cómo citar este artículo en norma APA:

Castillo-Téllez, M., Mex-Álvarez, D., Llanes-Chiquini, C., Hernández-Cruz, L., Cano-Carrillo, J., & Castillo-Téllez, R., (2025). Efectos del secado solar sobre el cambio de color en chile pimiento (*Capsicum annum*). 593 Digital Publisher CEIT, 10(3), 768-777, <https://doi.org/10.33386/593dp.2025.3.2800>

Descargar para Mendeley y Zotero

RESUMEN

El chile pimiento, considerado una fruta, presenta una textura esponjosa y se presenta en varios colores como rojo, verde, amarillo y naranja, cada uno con una amplia gama de propiedades y sabores. En este estudio, se realizó una investigación experimental sobre el secado solar de chiles pimientos de diferentes colores: rojo, verde, amarillo y naranja, utilizando métodos de secado directo, como el secado al aire libre, en gabinete con convección natural y en gabinete con convección forzada. El objetivo fue analizar el impacto del secado en el color de cada variedad mediante la evaluación en el sistema CIELAB. Los resultados mostraron que las tasas de secado fueron similares independientemente del color del chile. Sin embargo, el secado con convección forzada preservó mejor el color en comparación con el secado por convección natural, que resultó en una mayor degradación del color. Los valores de L^* , a^* y b^* revelaron que el pimiento verde secado al aire libre adquirió un color verde seco oscuro, el pimiento amarillo mostró colores amarillos oscuros a pardos, el pimiento rojo se tornó en un tono rojizo oscuro, y el pimiento naranja obtuvo un color opaco cercano a los cafés claros. Entre los diferentes métodos evaluados, el pimiento amarillo mantuvo mejor su color. Las pruebas se llevaron a cabo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche, en un clima cálido y húmedo, ubicado entre los paralelos $17^{\circ}49'$ y $20^{\circ}51'$ de latitud norte y los meridianos $89^{\circ}06'$ y $92^{\circ}27'$ de longitud oeste.

Palabras clave: Secado solar; Cinética de secado; Convección natural; convección forzada; Escala CIELAB.

ABSTRACT

The pepper, considered a fruit, has a fluffy texture and comes in various colors, such as red, green, yellow, and orange, each with various properties and flavors. In this study, experimental research was carried out on the solar drying of pepper peppers of different colors: red, green, yellow, and orange, using direct drying methods, such as drying in the open air, in the cabinet with natural convection, and the cabinet with forced convection. The objective was to analyze the impact of drying on the color of each variety by evaluating it in the CIELAB system. The results showed that drying rates were similar regardless of the color of the chili—however, forced convection drying preserved color better than natural convection drying, resulting in further color degradation. The values of L^* , a^* , and b^* revealed that the open-dried green pepper acquired a dark, dry green color, the yellow pepper showed dark yellow to brown colors, the red pepper turned a dark reddish tone, and the orange pepper obtained an opaque color close to light browns. Among the different methods evaluated, the yellow pepper maintained its color better. The tests were carried out at the Faculty of Engineering of the Autonomous University of Campeche, in a hot and humid climate, located between parallels $17^{\circ}49'$ and $20^{\circ}51'$ north latitude and meridians $89^{\circ}06'$ and $92^{\circ}27'$ west longitude.

Keywords: Solar drying; drying kinetics; natural convection; forced convection; CIELAB

Introducción

El secado solar es una de las técnicas más antiguas y ampliamente utilizadas para la conservación de alimentos y productos agrícolas, especialmente en países en desarrollo. Este método no solo preserva cultivos, carne, pescado, y semillas, sino que también representa una opción económica y accesible para mejorar la durabilidad de los productos (Fudholi et al., 2010) (Lamidi et al., 2019) (Lingayat et al., 2020). La metodología del secado solar ha evolucionado con el tiempo y se clasifica en tres categorías generales: secadores solares directos, indirectos e **híbridos**. Los **secadores solares** indirectos, como los utilizados en sistemas de túneles y bandejas, utilizan un medio para transferir el calor al producto sin exposición directa al sol, exponen los productos indirectamente a la luz solar (Castillo T. et al., 2018), mientras que los secadores directos, como los sistemas de invernaderos y gabinetes (Prakash & Kumar, 2014), exponen directamente el producto a secar a la luz solar. Los secadores solares híbridos combinan ambas metodologías para optimizar la eficiencia del proceso (Castillo Téllez et al., 2020) (Amjad et al., 2020).

Numerosos estudios han demostrado que el secado solar, cuando se realiza bajo condiciones controladas, puede preservar adecuadamente la calidad del producto final (Desa et al., 2020; Mohana et al., 2020; El Hage et al., 2018). Investigaciones previas han mostrado que el secado solar puede mantener o incluso mejorar las propiedades nutritivas y organolépticas de los productos, dependiendo de factores como la intensidad solar, la ventilación y la duración del proceso (López-Ortiz et al., 2024). La energía solar, como recurso renovable, ofrece grandes perspectivas en aplicaciones térmicas debido a su abundancia, bajo costo e impacto ambiental mínimo. Esto es especialmente relevante para el secado de productos agrícolas, donde la energía solar proporciona una alternativa sostenible a los métodos de secado convencionales, que a menudo son más costosos y menos ecológicos (Devan et al., 2020).

En México, el Capsicum tiene una gran relevancia cultural, siendo una de las primeras plantas cultivadas en Mesoamérica, especialmente el Capsicum annuum, domesticado desde tiempos prehispánicos. El chile, una planta de gran importancia histórica, ha sido cultivado desde tiempos prehispánicos y continúa siendo un ingrediente esencial en la gastronomía mexicana. El chile es el octavo cultivo con mayor valor en la agricultura nacional, generando aproximadamente 13 mil millones de pesos anualmente. México produce alrededor de 2.78 millones de toneladas de chile al año, exportando 0.88 millones de toneladas (SAGARPA, 2017). México, conocido por su rica herencia cultural y culinaria, destaca como uno de los principales productores y consumidores de chile pimiento, se ha ubicado en los últimos años como el principal país exportador de pimientos frescos con una participación mundial del 29 %. En el periodo enero-noviembre de 2021, el valor de las exportaciones de pimiento fresco sumó mil 366 millones de dólares, lo que implicó un alza de 5.4 por ciento en comparación con igual lapso de un año atrás, cuando sumaron mil 296 millones de dólares (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022). El chile pimiento o morrón, es bajo en grasas, rico en agua y potasio, y contiene calorías, sodio, carbohidratos, fibra dietética, proteínas, vitamina A, calcio y ácido fólico. Además, es una excelente fuente de vitamina C, superando a los frutos comúnmente conocidos como cítricos.

En el ámbito de la investigación sobre el secado de chile pimiento, se han desarrollado modelos matemáticos y experimentales que ayudan a entender y optimizar el proceso de secado (Arslan & Özcan, 2011). La literatura científica incluye estudios sobre diversas tecnologías de secado solar, como secadores tipo túnel, invernaderos y gabinetes, así como métodos de convección forzada y natural (Tunde-Akintunde et al., 2005). También se han explorado secadores que combinan tecnologías solares para mejorar la eficiencia del secado (Hao et al., 2018). Este estudio se centra en el secado solar de chiles pimientos de diferentes colores utilizando un secador solar directo tipo gabinete,

tanto con convección natural como forzada, así como al aire libre. Se evalúa el porcentaje de humedad inicial y final, la actividad de agua, y se presentan gráficos sobre la cinética del secado, el contenido de humedad y la velocidad de secado. Además, se realiza un análisis de colorimetría para determinar los principales parámetros de cambio de color tras el proceso de deshidratación, con el objetivo de entender mejor cómo estos factores afectan la calidad del producto final.

Materiales y Métodos

Dispositivo experimental

Para llevar a cabo el proceso de secado solar, se utilizó un secador solar de tipo directo, construido completamente con acrílico de 3 mm de espesor, la transparencia de las placas acrílico permite el paso de hasta un 92% de la luz visible (Hernández Estrella et al., 2019) (Hernández Estrella et al., 2019). Este dispositivo cuenta con una cámara de secado que incluye una charola que absorbe la radiación solar, donde se coloca el producto. Se emplearon dos cámaras de secado similares para realizar diversas pruebas de manera simultánea. La figura 1 ilustra el tipo de secador solar directo de gabinete (SSD). En cada secador se monitorearon la temperatura de la charola negra, el peso y tamaño de las muestras, así como la irradiación solar, la humedad relativa y la temperatura del aire en el interior de la cámara de secado.

El SSD tiene una cara frontal inclinada 20° para optimizar la captación de la radiación solar y facilitar la condensación y el drenaje del agua. Además, cuenta con perforaciones en los laterales, el fondo y la parte trasera, que permiten la circulación y extracción del aire húmedo y caliente. Este secador puede funcionar tanto en convección natural como forzada, utilizando un ventilador de 20 W ubicado en la parte trasera, lo que genera una velocidad máxima del aire de 2 m/s.

Figura 1.

Secador solar directo tipo gabinete.



Secado solar a cielo abierto

Con la finalidad de comparar el proceso de secado en gabinete se trabajó el secado a cielo abierto debido a que es la forma tradicional y común de secar los productos agrícolas; se colocaron las rodajas de los chiles sobre una base rígida de metálica y enmallada, pintada de color negro y se cubrió con una malla transparente muy ligera para evitar que las rodajas fueran arrastradas en caso de vientos fuertes, se cuidó de no superponerlas y se dejaron hasta la puesta del sol. En la figura 2 se puede ver la disposición de los chiles de diferentes colores para su deshidratado mediante este método. En cada secador se registró la temperatura y la humedad relativa dentro de las cámaras de secado al igual que la pérdida de peso de las muestras.

Figura 2.

Secado solar a cielo abierto



Materia Prima

Los chiles pimientos fueron comprados en el Mercado Municipal de la ciudad de

Campeche, Campeche. Tras su lavado, se eliminó el exceso de agua y se cortaron en rodajas, asegurándose de que todas las muestras tuvieran el mismo tamaño en cuanto a grosor, ancho y largo. Luego, se colocaron en los secadores solares para comenzar el proceso de secado. Se registraron mediciones de colorimetría, actividad de agua y porcentaje de humedad tanto en muestras frescas como secas. Además, se midió la pérdida de peso cada hora. La Tabla 1 muestra los datos obtenidos de la estación meteorológica instalada en la facultad de ingeniería de la UAC, los valores de las variables medidas, el equipo empleado, así como los porcentajes de precisión proporcionados por el fabricante.

Tabla 1.
Especificaciones técnicas y descripción de los instrumentos de medición de la estación meteorológica

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	MODELO	PRECISIÓN
Irradiancia solar global	LI-COR Piranómetro	LI-200R	Azimuth: $\pm 1\%$ sobre 360° to 45° de elevación
Humedad relativa	NRG Systems	RH-5X	$\pm 3\%$
Temperatura ambiente	NRG Systems	110S	$\pm 1.1^\circ\text{C}$
Dirección y velocidad del aire	NRG Systems Wind sensor	Series #200P P2546C-OPR	$\pm 3^\circ$ $\pm 0.3\text{ m/s}$

Control del proceso de secado

Para la determinación de la humedad se utilizó un analizador de humedad, marca Boeco modelo BMA 150, con una precisión de $\pm 0.01\%$ mg. Se cortaron las rodajas en porciones diminutas y se colocó una muestra de aproximadamente 2.0 g, procediéndose a su deshidratación. Este procedimiento se realizó antes y después de realizar las diferentes cinéticas de secado. Un porcentaje de humedad en el producto de hasta un 10% indica que el producto ya no es susceptible de ser atacado por microorganismos patógenos.

La actividad de agua es un parámetro que determina la estabilidad de los alimentos con respecto a la humedad ambiental. Como se mencionó anteriormente, se determinó la

actividad de agua para las muestras frescas y posteriormente para las secas. Se utilizó un dispositivo marca Rotronic Hygropalm de tipo portátil, con una precisión de $\pm 0.01\%$ mg. ara evitar el crecimiento microbiano en frutas secas es recomendable mantener un A_w inferior a 0.60, esto garantiza una estabilidad óptima y minimiza el riesgo de deterioro o contaminación. Se utilizó una balanza digital de alta precisión marca Boeco modelo BPS 40 plus. Se midió la pérdida de peso cada 60 minutos durante el día.

Se utilizaron termómetros de esfera, marca Brannan (exactitud $\pm 1.0^\circ\text{C}$) y digitales, marca OEM (exactitud 1.0°C), con los cuales se midieron las temperaturas dentro de las cámaras de secado.

Los análisis de colorimetría en muestras frescas y secas se realizaron mediante un colorímetro portátil digital WR10Q, precisión de pantalla 0.01, precisión de repetibilidad E desviación estándar 0.08. El ΔE (cambio de color, debería estar en el rango entre 5 y 8, para asegurar que la muestra seca está dentro de los valores requeridos comercialmente).

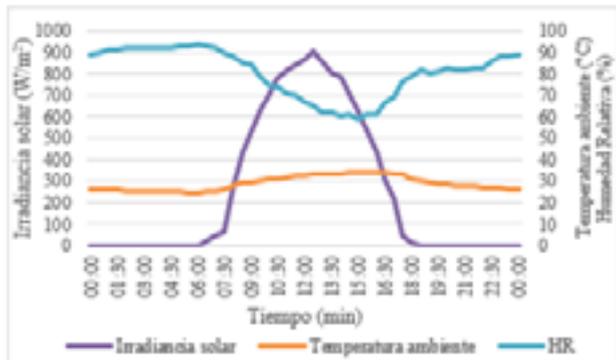
Resultados

Parámetros climáticos

En la Figura 3 se presenta el comportamiento del clima en un día soleado durante el periodo de prueba, a manera de ejemplo. Como puede observarse, durante los días de prueba la irradiancia global máxima alcanzada fue de 900 W/m^2 , siendo el intervalo de los valores máximos promedio entre 775 y 800 W/m^2 . Los valores mínimos de la temperatura ambiente variaron entre 25.0°C y 27.0°C , mientras que los promedios máximos medidos variaron entre 88.0°C y 93.0°C . **En cuanto a la humedad relativa, los porcentajes mínimos alcanzados** se presentaron entre 18.11% y 29.2% , mientras que los valores mínimos medidos se encontraron entre 59.0% y 61.0% .

Figura 3.

Irradiancia solar global, temperatura ambiente y humedad relativa durante un día de prueba tomado como ejemplo.

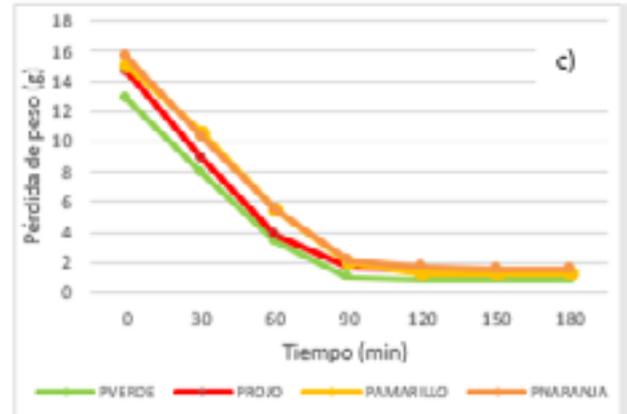
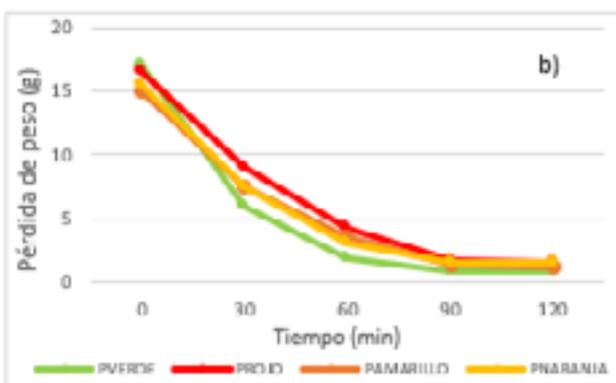
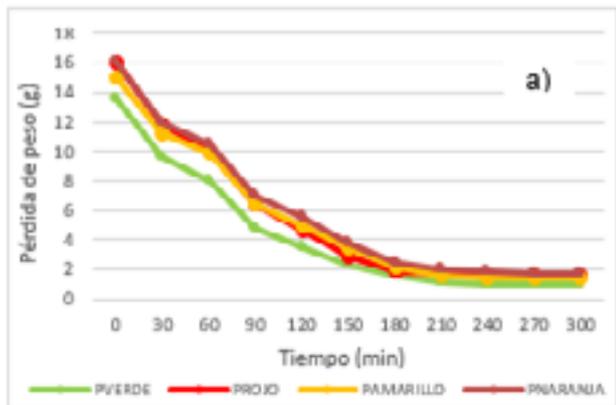


Cinéticas de secado de chile pimiento

En la Figura 4, se pueden apreciar las curvas de la pérdida de peso de las muestras de chile pimiento a cielo abierto y en los secadores de gabinete con convección natural y forzada.

Figura 4

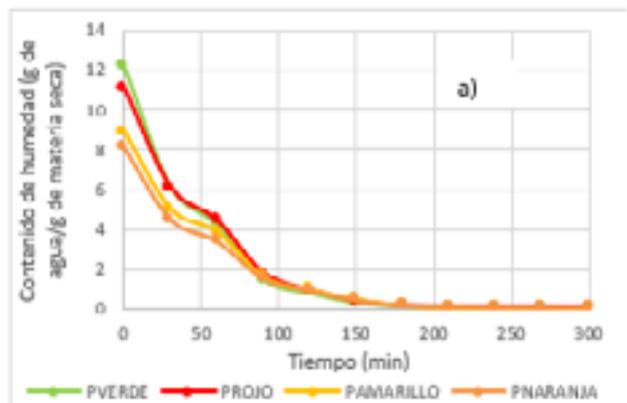
Pérdida de peso en muestras de chile pimiento: a) Cielo abierto, b) Convección natural, c) Convección forzada

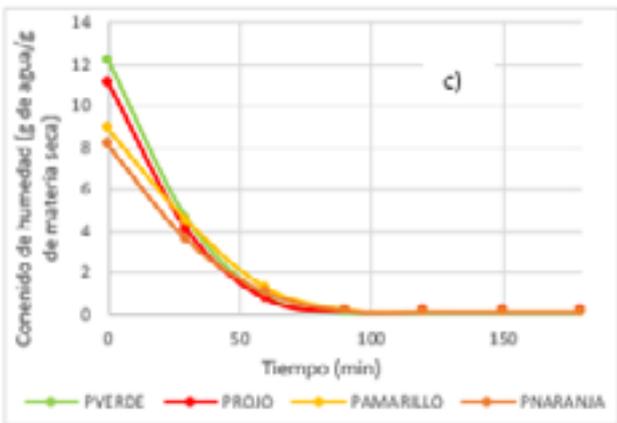
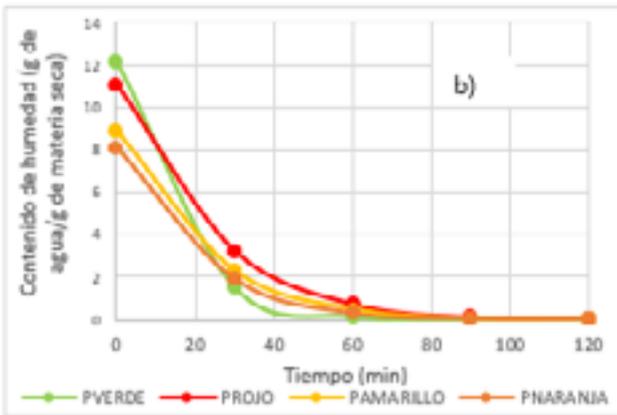


En la figura 5, se presentan las gráficas del contenido de humedad en función del tiempo de secado, en donde se puede observar que el tiempo de secado más rápido fue con el secador tipo gabinete que se operó con convección natural, estabilizándose en 120 minutos; en cuanto al secador con convección forzada, el tiempo de secado final fue de 180 minutos, finalmente, en el secado a cielo abierto fue de 300 minutos.

Figura 5.

Contenido de humedad en función del tiempo de secado en muestras de chile pimiento: a) Cielo abierto, b) Convección natural, c) Convección forzada





Estudio de colorimetría

El color es considerado una propiedad física fundamental de los productos agrícolas y alimentos, ya que ha sido ampliamente demostrado que se correlaciona con otros indicadores físicos, químicos y sensoriales de la calidad del producto. De hecho, el color juega un papel importante en la evaluación de la calidad en las industrias alimentarias y la investigación en ingeniería alimentaria (Mendoza et al., 2006).

En el presente estudio se realizó un análisis de colorimetría en muestras frescas y secas de chile pimienta utilizando el modelo CIE-LAB, el cual está definido por tres variables que se representan en sistemas cartesianos o polares; en el primero se utilizan los valores de luminosidad (L*) y las coordenadas a* y b*; en el segundo, los parámetros L*, saturación (C*) y tono (h*). Para comparar diferencias de color entre distintas muestras, evaluar la similitud o realizar reproducciones del color se calcula el parámetro ΔE (Lopez, A; Di Sarli, 2016). En la Tabla 2 se pueden observar los datos

obtenidos en la escala CIE-LAB, en las muestras secas, mientras que en la Tabla 3, se presentan los parámetros a/b, ΔE y una imagen del color final de las muestras secas.

Tabla 2.
Datos colorimétricos obtenidos en muestras secas

Pimiento Morrón	Verde			Rojo			Amarillo			Naranja		
	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
Raw material	43.54	-8.5	21.3	30.13	22.36	19.07	46.29	18.11	35.21	39.45	22.3	29.35
Conv. Forzada	42.22	1.8	24.86	36.01	26.27	25.13	46.53	16.78	37.73	43.37	24.62	34.15
Conv. Natural	38.12	2.45	21.13	35.86	27.18	21.82	47.42	18.81	39.42	40.92	26.82	31.91
Cielo Abierto	37.02	2.26	21.15	36.28	26.04	25.4	45.99	19.06	37.68	40.43	23.93	30.15

Tabla 3.
ΔE en muestras secas

En la Figura 6, se presenta el ΔE en las muestras secas; como se puede observar, las muestras de chile pimienta amarillo fueron las que conservaron más el color en los tres métodos de secado solar directo evaluados, estos valores son menores que 3.0, tanto en cielo abierto como en convección forzada y con un valor de 4.4 en convección natural, por lo tanto, esto significa que las diferencias son pequeñas. Las muestras de pimientos verdes y naranjas resultaron ser las que tuvieron mayor cambio de color (mayores que 8), esto significa que dichos cambios de color son perceptibles al ojo humano (Mendoza et al., 2006); sin embargo, los valores obtenidos

resultaron dentro de los rangos aceptables de calidad comercial.

Figura 6.

Diferencia de color en las muestras de pimientos analizadas



Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que el secado solar, utilizando métodos de convección natural y forzada, así como a cielo abierto, tiene un impacto significativo en las propiedades visuales de los chiles pimientos. La conservación del color, medido a través de los parámetros CIELAB, pone de manifiesto que la elección del método de secado es crucial para preservar la calidad visual y comercial del producto.

En este contexto, el secado con convección forzada demostró ser el método más eficiente para minimizar la degradación del color, especialmente en los pimientos amarillos, que mantuvieron su tonalidad dentro de los rangos de aceptación comercial. Este hallazgo coincide con estudios previos que han reportado que la mayor circulación de aire caliente en sistemas de convección forzada contribuye a una deshidratación uniforme y rápida, reduciendo así la oxidación de los pigmentos responsables del color (Arslan & Özcan, 2011; Tunde-Akintunde et al., 2005). Sin embargo, los pimientos verdes y naranjas fueron los más afectados en términos de cambio de color, con ΔE mayores a 8, perceptibles al ojo humano. Estos resultados sugieren que dichos colores son más susceptibles a las condiciones térmicas y al tiempo de exposición prolongado. En contraste, el secado a cielo abierto mostró las mayores limitaciones en la conservación del color, lo cual podría

atribuirse a la exposición directa a la luz solar y a una menor regulación térmica, generando un ambiente menos controlado para el secado.

Otro aspecto relevante es el tiempo requerido para completar el proceso de secado. El secado con convección natural fue el más rápido, aunque esto conllevó una mayor degradación del color, excepto en los pimientos rojos. Este compromiso entre tiempo de secado y calidad visual plantea un área de oportunidad para optimizar los diseños de los secadores solares, considerando también el consumo energético y las emisiones de carbono en comparación con otros métodos de secado mecánico.

Es importante destacar que la calidad visual es solo uno de los múltiples criterios para evaluar la aceptación del producto en el mercado. Estudios futuros estarán enfocados en complementar los análisis colorimétricos con evaluaciones de compuestos bioactivos, como vitaminas y antioxidantes, para proporcionar una visión integral del impacto del secado solar en la calidad nutricional de los pimientos. Adicionalmente, podría explorarse el uso de tecnologías híbridas que combinen secado solar con otras fuentes de energía renovable, lo que permitiría mejorar la eficiencia del proceso mientras se preserva la sostenibilidad ambiental

Por último, la aplicación de estos resultados tiene implicaciones importantes para los pequeños agricultores y productores en regiones de climas cálidos y húmedos, como el Estado de Campeche. La implementación de secadores solares optimizados podría mejorar la competitividad de los productores locales al reducir las pérdidas postcosecha y aumentar el valor agregado de sus productos, contribuyendo al desarrollo sostenible del sector agrícola en México.

Conclusiones

Este estudio experimental evaluó el secado solar de chiles pimientos de distintos colores (rojo, verde, amarillo y naranja) utilizando tres métodos de secado directo: cielo abierto, gabinete con convección natural

y gabinete con convección forzada. El objetivo principal fue analizar la afectación del color en cada variedad mediante el sistema de evaluación CIELAB. Los resultados mostraron que el tiempo de secado más corto se obtuvo con el secador de gabinete con convección natural (120 minutos), seguido del secador con convección forzada (180 minutos) y, finalmente, el secado a cielo abierto (300 minutos).

Las muestras de pimientos verdes y naranjas presentaron los mayores cambios de color, aunque los valores obtenidos fueron comparables con los estándares comerciales de los mercados nacionales. En contraste, los pimientos amarillos conservaron mejor su color en todos los métodos evaluados. La convección natural fue el método que mayor degradación del color causó en la mayoría de las muestras, con excepción del pimiento rojo. Por otro lado, la convección forzada resultó ser el método más eficiente para preservar el color de los pimientos.

Durante los días de prueba, la irradiancia global máxima alcanzada fue de 900 W/m². Los valores promedios máximos medidos de la temperatura ambiente fueron de 33.0 °C. En cuanto a la humedad relativa, los porcentajes **mínimos** alcanzados se encontraron entre 59.0 % y 61.0 %.

En estudios futuros, se realizarán análisis adicionales en las muestras secas para determinar los niveles de azúcares, vitaminas y antioxidantes, con el objetivo de evaluar la pérdida de estas propiedades durante el proceso de secado al sol.

Referencias Bibliográficas

- Amjad, W., Ali Gilani, G., Munir, A., Asghar, F., Ali, A., & Waseem, M. (2020). Energetic and exergetic thermal analysis of an inline-airflow solar hybrid dryer. *Applied Thermal Engineering*, 166. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114632>
- Arslan, D., & Özcan, M. M. (2011). Dehydration of red bell-pepper (*Capsicum annum* L.): Change in drying behavior, colour and antioxidant content. *Food and Bioprocess Technology*, 89(4), 504–513. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.09.009>
- Castillo T., M., Castillo T., B., Viviana, M. M. E., & Carlos, O. S. J. (2018). Technical and Experimental Study of the Solar Dehydration of the Moringa Leaf and Its Potential Integration to the Sustainable Agricultural Industry. *European Journal of Sustainable Development*, 7(3), 65–73. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2018.v7n3p65>
- Castillo Téllez, M., Castillo-Téllez, B., Alanis Navarro, J., Ovando Sierra, J. C., & Marzoug, R. (2020). Drying of medicinal plants through hybridization of solar technologies, as a proposal to support food security in Mexico. *Proceedings of the ISES Solar World Congress 2019 and IEA SHC International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry 2019*, 290–299. <https://doi.org/10.18086/swc.2019.08.01>
- Desa, W. N. Y. M., Fudholi, A., & Yaakob, Z. (2020). Energy-economic-environmental analysis of solar drying system: A review. In *International Journal of Power Electronics and Drive Systems* (Vol. 11, Issue 2, pp. 1011–1018). Institute of Advanced Engineering and Science. <https://doi.org/10.11591/ijped.v11.i2.pp1011-1018>
- El Hage, H., Herez, A., Ramadan, M., Bazzi, H., & Khaled, M. (2018). An investigation on solar drying: A review with economic and environmental assessment. *Energy*, 157, 815–829. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.197>
- Fudholi, A., Sopian, K., Ruslan, M. H., Alghoul, M. A., & Sulaiman, M. Y. (2010). Review of solar dryers for agricultural and marine products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 1–30. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.032>

- Hernández Estrella, C. J., Castillo-Téllez, M., Castillo Téllez, B., Carlos, J., Sierra, O., & Gutiérrez González, J. A. (2019). *Estudio experimental del secado solar de la semilla de marañón*. 23(2).
- Lamidi, Rasaq. O., Jiang, L., Pathare, P. B., Wang, Y. D., & Roskilly, A. P. (2019). Recent advances in sustainable drying of agricultural produce: A review. *Applied Energy*, 233–234, 367–385. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.044>
- Lingayat, A. B., Chandramohan, V. P., Raju, V. R. K., & Meda, V. (2020). A review on indirect type solar dryers for agricultural crops – Dryer setup, its performance, energy storage and important highlights. *Applied Energy*, 258, 114005. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114005>
- López-Ortiz, A., Navarrete Salgado, M., Nair, P. K., Balbuena Ortega, A., Méndez-Lagunas, L. L., Hernández-Díaz, W. N., & Guerrero, L. (2024). Improved preservation of the color and bioactive compounds in strawberry pulp dried under UV-Blue blocked solar radiation. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 9, 100112. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clcb.2024.100112>
- Prakash, O., & Kumar, A. (2014). Solar greenhouse drying: A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 29, pp. 905–910). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.084>
- SAGARPA. (2017). *Chiles y pimientos mexicanos*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257072/Potencial-Chiles_y_Pimientos-parte_uno.pdf
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural _ gob.mx. (2022, December). *México, principal exportador mundial de pimientos frescos*. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/mexico-principal-exportador-mundial-de-pimientos-frescos-agricultura#:~:text=Agricultura%20destac%C3%B3n%20que%20en%20el,participaci%C3%B3n%20de%2023.6%20por%20ciento.>
- Tunde-Akintunde, T. Y., Afolabi, T. J., & Akintunde, B. O. (2005). Influence of drying methods on drying of bell-pepper (*Capsicum annuum*). *Journal of Food Engineering*, 68(4), 439–442. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.06.021>