

## Secado solar de chile pimiento *Capsicum annuum* L. y su Influencia en el cambio de color

Margarita Castillo-Téllez <sup>1</sup>, Beatriz Castillo-Téllez <sup>2\*</sup>, Alfredo Domínguez-Niño <sup>2</sup>, Luz María Hernández Cruz<sup>1</sup>, Diana C. Mex Álvarez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, Campeche, México

<sup>2</sup> Centro Universitario de Tonalá, Universidad de Guadalajara, Tonalá, Jalisco, México.

<sup>3</sup> Instituto de Energías Renovables, UNAM, Temixco, Morelos, México.

**Energías Renovables** (Energía solar). **Ponencia Virtual.**

Recibido: 15 de mayo de 2023

Aceptado: 28 de agosto de 2023

Publicado: 23 de noviembre de 2023

**Resumen:** El chile pimiento es considerado una fruta, tiene una característica esponjosa y varía de colores como el rojo, verde, amarillo y naranja; en cada una de estas coloraciones se puede encontrar gran variedad de propiedades y sabores. El *Capsicum* en México representa una tradición cultural, ya que se considera como una de las primeras plantas cultivadas en Mesoamérica, en especial el *Capsicum annuum* que se domesticó desde la época prehispánica; contiene un bajo porcentaje de grasas, posee gran cantidad de agua y potasio, contiene calorías, sodio, carbohidratos, fibra dietética y proteínas, vitamina A, calcio y ácido fólico, además es una gran fuente de vitamina C ya que contiene más que los frutos que se conocen como "cítricos". En este trabajo se realizó un estudio experimental del secado solar de chiles pimientos en su gran variedad de colores: rojo, verde, amarillo y naranja, mediante métodos de secado directos: cielo abierto, gabinete con convección natural y gabinete con convección forzada con la finalidad de estudiar la afectación del color en cada una de las variedades descritas, mediante su evaluación en el sistema CIELAB. Los resultados nos indican que las cinéticas de secado son muy semejantes sin importar la variación del chile; por otro lado, el secado con convección forzada resultó conservar más el color en las muestras de las cuatro variedades, mientras el método de secado con el que se degradó más el color fue la convección natural; los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  indicaron que en el caso del pimiento verde y el secado a cielo abierto se obtuvo un color verde seco oscuro, en el caso del pimiento amarillo a cielo abierto se obtuvieron colores amarillos oscuros-pardos, en cuanto al chile rojo con este mismo método de secado se obtuvieron colores rojizos oscuros y finalmente en el pimiento naranja se obtuvo un color naranja opaco, cercano al área de los cafés claros. El pimiento amarillo fue el que conservó mejor el color en los diferentes métodos de secado evaluados. Las pruebas se realizaron en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche, en un clima cálido-húmedo, entre los paralelos 17°49' y 20°51' de latitud norte y los meridianos 89°06' y 92°27' de longitud oeste.

**Palabras clave:** Secado solar, Cinética de secado, Convección natural, convección forzada, Escala CIELAB

## Solar drying of chili pepper *Capsicum annuum* L. and its influence on color change

**Abstract:** The bell pepper is considered a fruit; it has a spongy characteristic and varies in colors such as red, green, yellow, and orange; In each of these colors, you can find a wide variety of properties and flavors. *Capsicum* in Mexico represents a cultural tradition, is considered one of the first cultivated plants in Mesoamerica, especially *Capsicum annuum*, which was domesticated since pre-Hispanic times; contains a low percentage of fat, has very much water and potassium, contains calories, sodium, carbohydrates, dietary fiber and protein, vitamin A, calcium and folic acid, it is also a great source of vitamin C since it contains more than the fruits which are known as "citrus." In this work, an experimental study of the solar drying of chili peppers in their great variety of colors: red, green, yellow, and orange, was carried out through direct drying methods: open sky, cabinet with natural convection, and cabinet with forced convection with the purpose to study the affectation of color in each of the varieties described, through its evaluation in the CIELAB system. The results indicate that the drying kinetics are very similar regardless of the variation of the pepper; on the other hand, drying with forced convection resulted in more color preservation in the samples of the four varieties; the values of  $L^*$ ,  $a^*$ , and  $b^*$  indicated that in the case of green pepper and open sun, a dark, dry green color was obtained; in the case of yellow pepper in the open sun, yellow-brown colors were obtained, as for the red pepper with this same drying method dark reddish colors were obtained and finally in the orange pepper an opaque orange color was obtained, close to the area of light coffees. The yellow pepper that best retained the color in the different drying methods evaluated. The tests were carried out at the Faculty of Engineering of the Autonomous University of Campeche, in a warm-humid climate, between parallels 17°49' and 20°51' north latitude and meridians 89°06' and 92°27' west longitude.

**Keywords:** Solar drying, Drying kinetics, Natural convection, forced convection, CIELAB scale

### Introducción

El secado solar es una de las técnicas más populares y antiguas para conservar cultivos, carne, pescado, semillas u otros productos agrícolas en país en vías de desarrollo. En la actualidad los secadores solares se pueden clasificar de manera general en secadores solares directos, secadores solares indirectos (Castillo Téllez *et al.*, 2018) y secadores solares

híbridos (Amjad *et al.*, 2020). Existen una importante cantidad de investigaciones y publicaciones científicas que han demostrado que el secado solar puede asegurar la calidad deseable del producto bajo ciertas condiciones (Sethi *et al.*, n.d.). Por otro lado, la energía solar tiene una gran perspectiva de aplicación y potencial en la utilización térmica, especialmente en el secado de productos agrícolas, debido a que tiene las ventajas de que parte de una forma de aprovechamiento de energía renovable, abundante y no contaminante (Devan *et al.*, 2020).

En la producción de Chile, México se ha caracterizado como uno de los principales productores y consumidores de este picoso pero delicioso producto nacional y la tradición del consumo del Chile se ha conservado desde tiempos prehispánicos. El Chile es el 8° cultivo con mayor valor generado en la agricultura nacional, alcanzando alrededor de 13 mil mdp anualmente, con un volumen de producción promedio de 2.2 millones de toneladas, del cual se exportan cerca de 900 mil toneladas de Chile frescos, secos y en preparaciones (SAGARPA, 2010). El Chile morrón forma parte del reducido género de hierbas tropicales perteneciente a la familia de la Dulcamara Solanáceas, se refiere a las variedades de Chile dulce, hay muchas variedades, de diferente crecimiento, tamaño, forma, color y pungencia del fruto. En México la mayor parte de la producción de pimiento morrón se exporta hacia los Estados Unidos de América y Canadá, el cultivo del pimiento representa el 16% de la superficie sembrada en condiciones de agricultura protegida en el país, solo superado por el cultivo de tomate el cual se cultiva en un 70% (Berrones Morales *et al.*, 2013).

Se han realizado importantes estudios sobre modelos matemáticos y experimentales del proceso de secado de Chile pimiento (Akpınar & Bicer, 2008a); en cuanto al secado solar, se han encontrado investigaciones en la bibliografía internacional relacionadas con el secado solar con diferentes tecnologías, por ejemplo, en secadores tipo túnel, invernadero, gabinetes, convección forzada, convección natural y cielo abierto (Akpınar & Bicer, 2008b), y secadores con hibridación de tecnologías solares (Hao *et al.*, 2018). En este estudio se analiza el secado solar de Chile pimiento en sus diferentes colores mediante un secador solar directo tipo Gabinete, con convección natural y con convección forzada, así como a cielo abierto; se realizaron estudios de porcentaje de humedad inicial y final en muestras secas y frescas, actividad de agua; se presentan gráficas de cinética de secado, contenido de humedad y velocidad de secado y finalmente se realiza un análisis de colorimetría, con la finalidad de obtener los principales parámetros de cambio de color una vez deshidratados.

## Materiales y Métodos

### *Dispositivo experimental*

Para el proceso de secado solar, se empleó un secador solar de tipo directo construido íntegramente en material plástico transparente con una superficie de tratamiento de 0.5 m<sup>2</sup>. La cámara de secado solar consta de una charola absorbente de la radiación solar en donde se coloca el producto, se utilizaron dos cámaras de secado similares para la realización de las diferentes pruebas en forma simultánea. La Figura 1 muestra el tipo de secador solar directo del tipo de gabinete (SSD). En cada secador se registró la temperatura interior a la altura de la charola, el peso y tamaño de las muestras, así como la irradiación solar, la humedad relativa y la temperatura del aire.

El SSD, tiene una cara frontal con una pendiente de 20° para aprovechar la radiación solar incidente y permitir la condensación y escurrimiento del agua. Posee perforaciones en las partes laterales, fondo y trasera, para permitir la circulación y extracción del aire húmedo caliente. Puede operar en convección natural o forzada, mediante un ventilador colocado en la parte trasera, de una potencia de 20 W, y permite una velocidad del aire máxima de 2 ms<sup>-1</sup>.

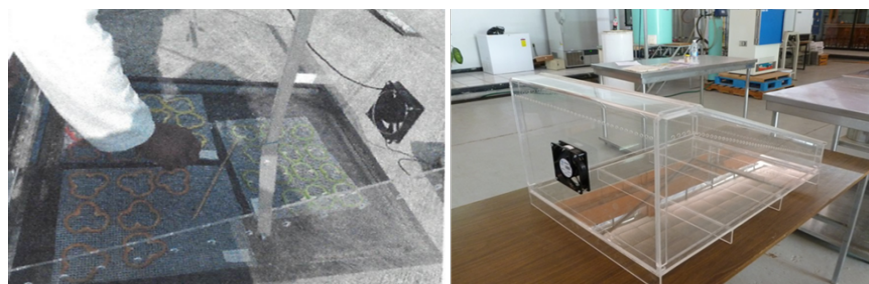


Figura 1. Secador solar directo tipo gabinete.

### 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. Secador solar a cielo abierto

### Materia Prima

Los chiles pimientos se adquirieron en el Mercado Municipal de la ciudad de Campeche, Campeche. Se lavaron, se eliminó el residual de agua y se cortaron en rodajas cuidando que las muestras mantuvieran el mismo tamaño tanto en espesor como en el ancho y largo. Posteriormente se dispusieron en los secadores solares para iniciar el proceso de secado. Se tomaron datos de colorimetría, actividad de agua y porcentaje de humedad en muestras tanto frescas como secas. Se obtuvo la pérdida de peso cada hora.

Datos meteorológicos. En la Tabla 1 se describen los datos de la estación meteorológica instalada en la facultad de ingeniería de la UAC: los valores de las variables determinadas, el equipo utilizado, así como los porcentajes de exactitud (datos del fabricante).

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

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

### Control del proceso de secado

Determinación de porcentaje de humedad. 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 (Figura 3).



Figura 3. Medidor de Humedad

Determinación de Actividad de agua ( $a_w$ ). 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 (Figura 4).



Figura 4. Actividad de agua Aw

Determinación de la pérdida de peso. 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 (Figura 5).



Figura 5. Balanza de Precisión

Temperatura en la cámara de secado. Se utilizaron termómetros de esfera, marca Brannan (exactitud  $\pm 1.0$  °C) y digitales, marca OEM (exactitud 1.0 °C), con los cuales se midieron las temperaturas dentro de las cámaras de secado (Figura 6).



Figura 6. Registro de temperaturas en los secadores solares

Colorimetría. 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 (Figura 7).



Figura 7. Registro de colorimetría en muestras frescas y secas

## Resultados y Discusión

### Climatología

En la Figura 8 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 1000 W/m<sup>2</sup>, siendo el intervalo de los valores máximos promedio entre 950 y 990 W/m<sup>2</sup>. Los valores mínimos de la temperatura ambiente oscilaron entre 22.0 °C y 27.69 °C, mientras que los promedios máximos medidos variaron entre 29.0 °C y 33.29 °C. En cuanto a la humedad relativa, los porcentajes mínimos alcanzados variaron entre 18.11 % y 29.2 %, mientras que los valores máximos medidos se encontraron entre 32.65 % y 50.0 %.

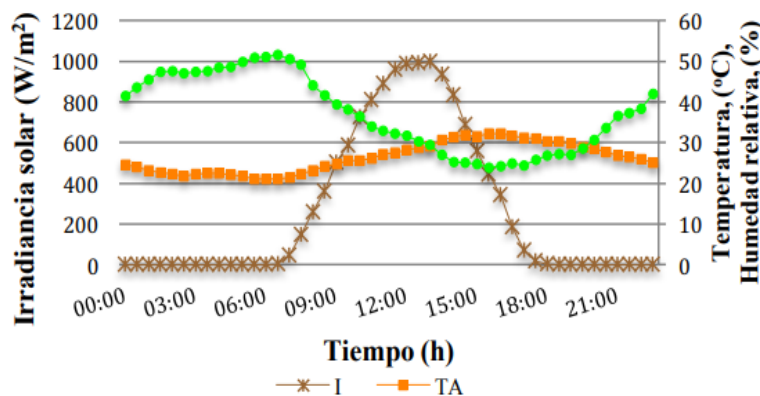


Figura 8. Irradiancia solar global, temperatura ambiente y humedad relativa durante un día de prueba tomado como ejemplo.

En la Figura 9, se pueden apreciar las curvas de la pérdida de peso de las muestras de chile pimienta a cielo abierto y en los secadores de gabinete con convección natural y forzada.

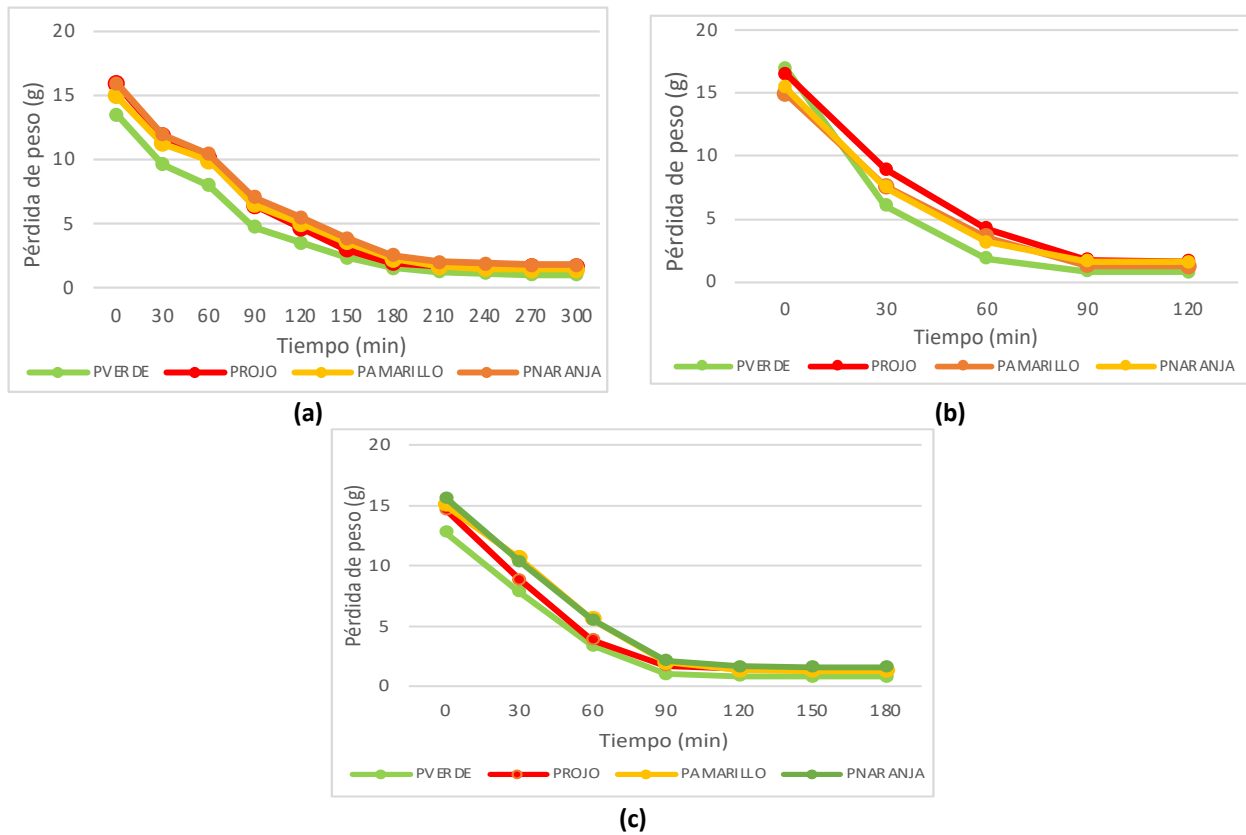


Figura 9. Pérdida de peso en muestras de chile pimienta: a) Cielo abierto, b) Convección natural, c) Convección forzada

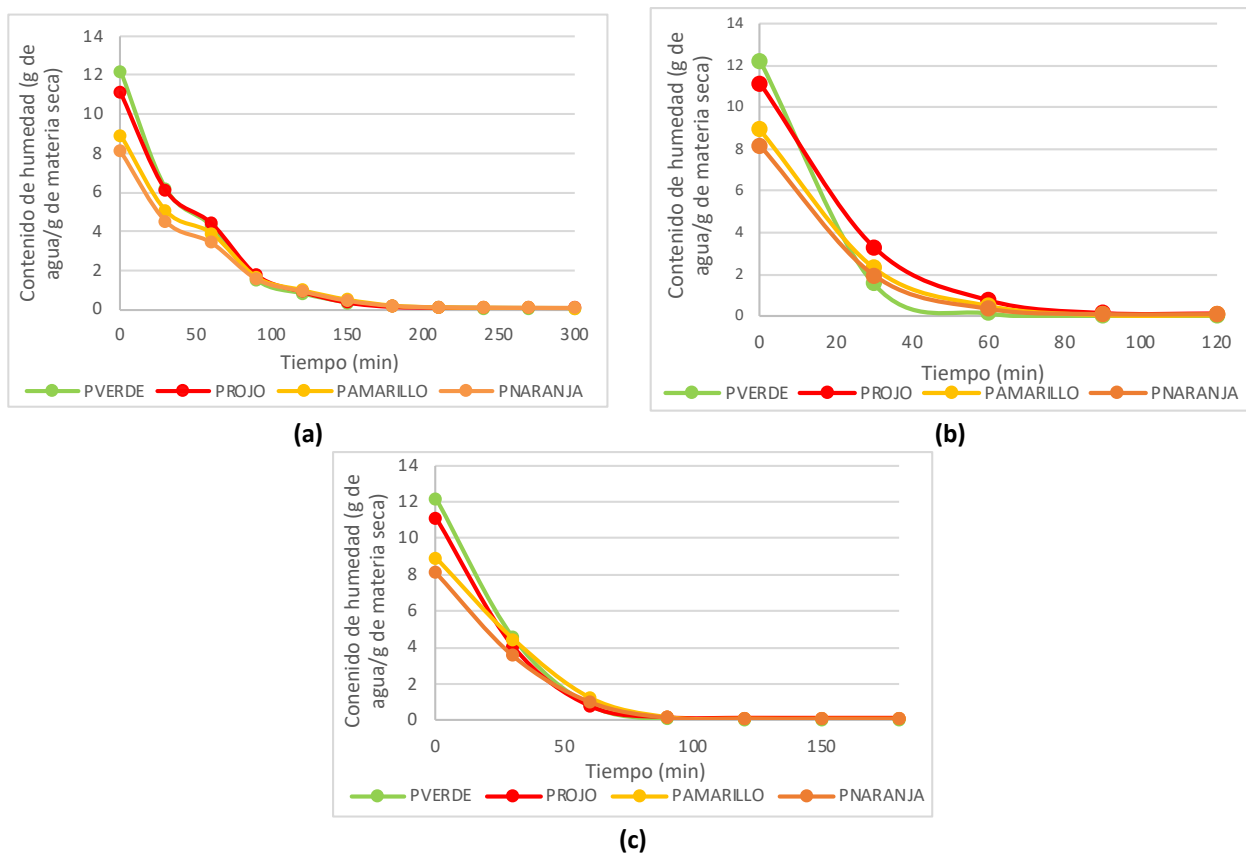


Figura 10. Contenido de humedad en función del tiempo de secado en muestras de chile pimienta: a) Cielo abierto, b) Convección natural, c) Convección forzada

En la Figura 10, 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 trabajó 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.

#### 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 pimiento 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  $\Delta E$  (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  $a/b$ ,  $\Delta E$  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
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
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
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
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

Tabla 3.  $\Delta E$  en muestras secas

Pimiento Morrón Método	Verde			Rojo			Amarillo			Naranja		
	a/b	$\Delta E$	Color final	a/b	AE	Color final	a/b	AE	Color final	a/b	AE	Color final
Cielo Abierto	0.107	10.978		0.107	9.305		0.506	2.86		0.794	12.281	
Conv. Natural	0.116	12.219		0.116	7.977		0.477	4.415		0.84	13.208	
Conv. Forzada	0.072	12.582		0.072	9.562		0.445	2.663		0.721	11.075	
Raw material	NA	NA		NA	NA		NA	NA		NA	NA	

En la Figura 11, se presenta el  $\Delta E$ , en las muestras secas; como se puede observar, las muestras de chile pimiento 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.

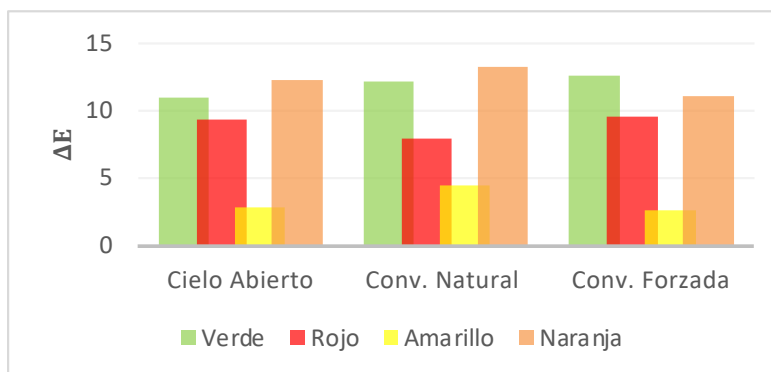


Figura 11. Diferencia de color en las muestras de pimientos analizadas.

## Conclusiones

En este trabajo se realizó un estudio experimental del secado solar de chiles pimientos en su gran variedad de colores: rojo, verde, amarillo y naranja, mediante métodos de secado directos: cielo abierto, gabinete con convección natural y gabinete con convección forzada con la finalidad de estudiar la afectación del color en cada una de las variedades descritas, mediante su evaluación en el sistema CIELAB. Los tiempos de secado fueron más cortos en el secador de gabinete con convección natural, seguido del secador con convección forzada y finalmente, cielo abierto, con tiempos de secado de 120, 180 y 300 minutos respectivamente. Las muestras de pimientos verdes y naranjas resultaron ser las que tuvieron mayor cambio de color, sin embargo, los valores obtenidos resultaron muy semejantes a los que se pueden encontrar comercialmente en los mercados nacionales. Las muestras de pimientos amarillos conservaron mejor el color en todos los métodos evaluados y en comparación con los demás colores. La convección natural fue el que más degradó el color en las muestras evaluadas con excepción del pimiento rojo y el secado a convección forzada fue el método que conservó más el color. En cuanto al trabajo a futuro, se analizarán las muestras para obtener valores de azúcares, vitamínicos y antioxidantes con la finalidad de determinar la pérdida de dichas propiedades en las muestras secas al sol.

## Bibliografía

- Akpınar, E. K., & Bicer, Y. (2008). Mathematical modelling of thin layer drying process of long green pepper in solar dryer and under open sun. *Energy Conversion and Management*, 49(6), 1367–1375. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.01.004>
- Berrones Morales, M., Garza Urbina, E., & Vázquez García, E. (2013). Producción de pimiento morrón en casa-malla para el sur de Tamaulipas. In INIFAP (Ed.), *INIFAP/CIRNE/A-509* (Primera Edición). 2013.
- Castillo Téllez, M., Pilatowsky Figueroa, I., Castillo Téllez, B., López Vidaña, E. C., & López Ortiz, A. (2018). Solar drying of Stevia (*Rebaudiana Bertoni*) leaves using direct and indirect technologies. *Solar Energy*, 159, 898–907. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.11.031>
- Devan, P. K., Bibin, C., Asburris Shabrin, I., Gokulnath, R., & Karthick, D. (2020). Solar drying of fruits - A comprehensive review. *Materials Today: Proceedings*, 33, 253–260. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.041>
- Hao, W., Lu, Y., Lai, Y., Yu, H., & Lyu, M. (2018). Research on operation strategy and performance prediction of flat plate solar collector with dual-function for drying agricultural products. *Renewable Energy*, 127, 685–696. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.05.021>
- Lopez, A; Di Sarli, A. R. (2016). El Modelo Cielab , Las Fórmulas De Diferencia De Color Hormigones Coloreados Cielab Model , Color-Difference Formulas and Use of the European En 12878 Standard in Colored Mortars and Concretes. *Ciencia Y Tecnología De Los Materiales*.
- Mendoza, F., Dejmeq, P., & Aguilera, J. M. (2006). Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 41(3), 285–295. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.04.004>
- SAGARPA. (2010). Un panorama del cultivo del chile. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 1(1), 20. <http://infosiap.siap.gob.mx/images/stories/infogramas/100705-monografia-chile.pdf>
- Sethi, C. K., Ghanem, R., Kumar Acharya, S., Patnaik, P. P., Nath Thatoi, D., & Mohapatra, S. S. (n.d.). *Journal of Cleaner Production Advances in Solar Drying Technology for Vegetables Fruits and Marine Products: A Review-Manuscript Draft-Advances in Solar Drying Technology for Vegetables Fruits and Marine Products: A Review*.