

# CINÉTICA DE SECADO DE CHILE VERDE SERRANO (CAPSISUM ANNUUM) MEDIANTE TECNOLOGÍAS SOLARES DIRECTAS

Margarita Castillo Téllez, Beatriz Castillo Téllez, Erick López Vidana, Isaac Pilatowsky Figueroa, Diana C. Mex Álvarez

aFacultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche, Campus V, C.P. 24085, San Francisco de Campeche, Campeche, México.

bCentro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara. Km. 191, No. 23, 46200 Jalisco

cCentro De Investigación En Ingenierías Y Ciencias Aplicadas, UAEM. Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México. C.P.62209

dCentro de Investigación en Materiales Avanzados-Unidad Durango.C.P. 34147 Victoria de Durango, Durango.

\*autor de correspondencia: beatriz.castillo@academicos.udg.mx

## RESUMEN

*El chile es un producto agrícola de gran importancia para México, dado que ocupa el segundo lugar mundial como productor de esta hortaliza. El secado solar es un proceso esencial en la preservación de los productos de origen agrícola, el cual ha venido siendo utilizado por el hombre desde hace muchos años. En este artículo, se analiza experimentalmente el proceso de secado del chile serrano en un secador solar y en un secador convencional no convectivo a temperatura controlada en un rango entre 45, 55 y 65°C. Las cinéticas de secado bajo condiciones controladas mostraron tiempos de deshidratación entre 474, 679 y 1065 minutos, en 45 °C y 65 °C, siendo lo óptimo 65 °C, con un tiempo de 12.9 h. Los tiempos de secado obtenidos en los gabinetes solares fueron más cortos y similares a las condiciones controladas de 55 °C. Se llevaron a cabo tres experiencias con cada una de las temperaturas seleccionadas. El color y la textura fueron mejores en el caso del secado en gabinete con convección forzada, sin embargo, el tiempo de secado resultó ser más lento. La irradiancia global máxima alcanzada en promedio los días de prueba alcanzó los 1000 W/m<sup>2</sup>, los valores máximos promedio de los días bajo estudio variaron entre 950 y 990 W/m<sup>2</sup>. Estos estudios se llevaron a cabo en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM.*

## Introducción

El chile es un producto agrícola de gran importancia para México, ya que es el primer exportador mundial de chiles y pimientos; siendo el 29,71% de su producción total lo que se destina al mercado internacional. Actualmente, el principal destino de estos productos es Estados Unidos, las importaciones de chile para ese país son 77,99% productos mexicanos; seguido de Canadá con 55,45% y Guatemala, cuyas i

importaciones de chile son 52,25% mexicanas [1]. El chile pertenece junto con el tomate, la berenjena, el tabaco y la papa, a la familia de las solanáceas. El género incluye alrededor de 26 especies, todas nativas de las Américas. Su nombre científico Capsicum proviene del griego kapsakes o cápsula. Su nombre común proviene del chile náhuatl [2]. Los chiles pueden clasificarse en verdes y secos, éstos últimos se someten a un proceso de



deshidratación para su venta. En nuestro país se conocen cerca de 90 variedades, aunque sólo cerca de 30 dominan el mercado, como el jalapeño que participa con el 22,8% del valor de producción, bell pepper (15,4%), serrano (8,4%), seco mirasol (7,8%), poblano (7,3%) y seco ancho (6,8%) [3].

El crecimiento promedio anual de la producción de chile es de 4.82%; se pronostica que durante el periodo de inicio de 2016 y final del 2030, el crecimiento acumulado de la producción será de 61.40%; mientras que para las exportaciones en millones de toneladas es de 139.66% [4]; su consumo es muy diverso. En fresco se suele utilizar como verdura o condimento; el seco se destina principalmente a la industria alimentaria y farmacéutica. Los chiles secos son ampliamente utilizados en la cocina mexicana y se caracterizan por un sabor suave y menos picante que los frescos.

*El chile serrano es también llamado simplemente chile verde, ya que se consume exclusivamente fresco en salsas y en encurtidos. Los frutos son rectos, alargados o ligeramente encorvados, y de cuerpo cilíndrico.*

Son muy picantes, de color verde, generalmente cambiando de color a rojo al madurar [5]. La superficie sembrada de chile verde a nivel nacional en los últimos 10 años ha sido en promedio de 156 mil hectáreas anuales, de las cuales se cuantificaron casi 9 mil hectáreas de chile serrano y alrededor de 3,100 hectáreas en Tamaulipas [6].

En este artículo presenta un estudio de la cinética del secado solar del chile serrano, utilizando un secador tipo gabinete con y sin convección forzada y un horno convencional con temperaturas controladas.

#### Estudio experimental

Se analiza experimentalmente el proceso de secado del chile serrano en un secador solar tipo gabinete y en un secador convencional no convectivo a temperatura controlada en un rango entre 45, 55 y 65°C, con el objetivo de optimizar el proceso. El estudio experimental tiene como objetivos específicos determinar:

a) humedad del chile serrano fresco y seco. b) actividad del agua del chile serrano fresco y seco. c) obtener las cinéticas de secado del chile por medio de los métodos.

#### Descripción del dispositivo experimental

Horno eléctrico no convectivo. Para la obtención de la cinética de secado, se utilizó un horno eléctrico marca Riossa sin convección. Durante las pruebas de secado se empleó un programa que permitió registrar la pérdida de peso de las muestras en las diferentes pruebas de secado, en el cual se variaron las temperaturas de secado en 45, 55 y 65°C.

Secador solar tipo gabinete. Para el proceso de secado solar, se empleó un secador solar de tipo directo construido íntegramente de acrílico transparente con una superficie de tratamiento de 0.5 m<sup>2</sup> cada uno. La cámara de secado solar consta de una charola absorbidora 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. En cada secador se registró la temperatura interior a la altura de la charola, el peso y tamaño de las muestras, así como la irradiancia solar, la humedad relativa y la temperatura del aire. El SSD (secador solar directo), tiene una cara frontal con una pendiente de 20° para aprovechar la radiación solar incidente y permitir la condensación y escurrimiento del agua. 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 m/s La figura 1 muestra el horno eléctrico convectivo y el secador solar directo del tipo de gabinete (SSD).



#### Descripción del dispositivo experimental

Materia prima. La materia prima fue el chile serrano, se adquirieron en el mercado municipal de Cuernavaca, Morelos. Se seleccionaron para obtener un grupo homogéneo, basado en la madurez, color, frescura, por medio de un análisis visual. Se lavaron y pesaron, se midió el ancho, largo y espesor antes de la realización de las pruebas. Seleccionamos los chiles maduros para su estudio experimental.

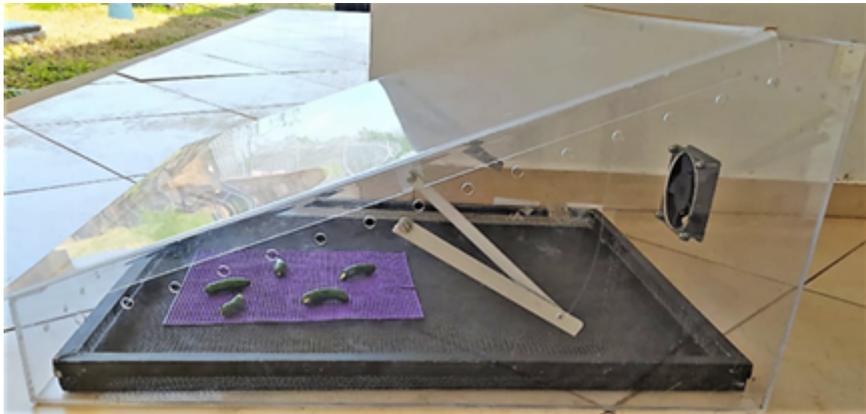


Figura 1. Preparación del secado del chile verde en el horno eléctrico (a) y en el secador solar directo tipo gabinete (b).

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN.

En la figura 2 se presentan los datos climáticos de la ciudad de Temixco, Morelos, estos datos se adquirieron de la estación meteorológica ubicada en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM; el periodo de pruebas fue durante los meses de junio, julio y agosto del año 2019; se puede ver que la irradiancia global máxima alcanzada en este día alcanzó los 1000 W/m<sup>2</sup>, los valores máximos promedio de los días bajo estudio variaron entre 950 y 990 W/m<sup>2</sup>. De igual forma se puede analizar que los valores mínimos de la temperatura ambiente oscilan entre 26 y 28°C, mientras que los valores promedio máximos medidos variaron entre 33 y 35°C. Humedad relativa: los porcentajes mínimos alcanzados durante los días de experimentación variaron entre 15.23% y 16.55%, mientras que los valores máximos medidos se encontraron entre 36% y 40%.

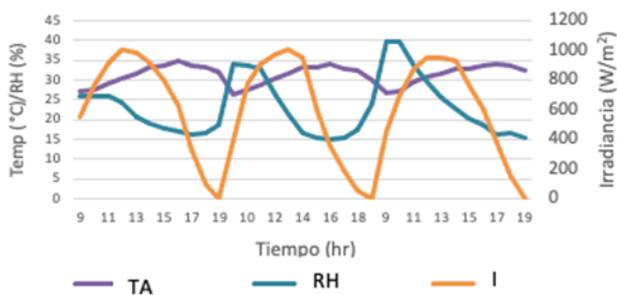


Figura 2. Evolución de la Irradiancia global, temperatura ambiente y humedad relativa, considerando tres días de estudio como ejemplo

Horno con temperatura controlada. En la Tabla 1 se muestran las humedades iniciales y finales y actividad de agua del chile fresco y seco tanto en horno como en los secadores solares, ambos parámetros se tomaron en una balanza de medición de humedad en alimentos marca Ohaus y medidor de actividad de agua, marca Rotronic. Se llevaron a cabo tres experiencias con cada una de las temperaturas seleccionadas: las humedades iniciales oscilaron muy poco, debido a que se cuidó que las muestras con las que se trabajó tuvieran el mismo grado de maduración, mientras que las finales fueron inferiores a las obtenidas en los productos comerciales entre 12 y 13%. Secador solar con convección natural y con convección forzada: los incrementos de humedad y actividad de agua obtenidos en cada prueba prácticamente fueron los mismos e independientes del tipo de funcionamiento. En la figura 3 se presentan los resultados del secado en horno en las tres temperaturas seleccionadas.

MUESTRA	HUMEDAD (%)		<i>a<sub>w</sub></i> (Actividad del agua)	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
45 °C	83.40	9.46	0.591	0.205
55 °C	81.58	6.88	0.426	0.139
65 °C	82.06	7.71	0.600	0.205
Secador con ventilador	83.40	8.71	0.993	0.128
Secado sin ventilador	82.36 %	7.85 %	0.989	0.149

Tabla 1. Humedades y actividad del agua en horno y secado solar.

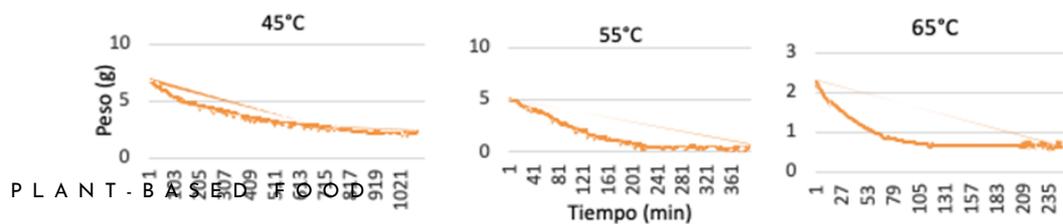


Figura 3. Cinéticas de secado obtenidas en condiciones controladas a 45°C, 55°C y 65°C en el horno eléctrico.

Secado solar con y sin ventilador. En la figura 4 se pueden observar las cinéticas de secado de los chiles verdes en los secadores solares, como puede verse el tiempo de secado se reduce considerablemente en el secador solar sin convección, en un tiempo de 13 horas, mientras que en el secado con convección se secó en 17 horas, promedio. En cada charola se colocaron 5 muestras de chiles, en las que como se mencionó anteriormente, se cuidó que tuvieran aproximadamente el mismo tamaño, grosor, ancho y grado de madurez.

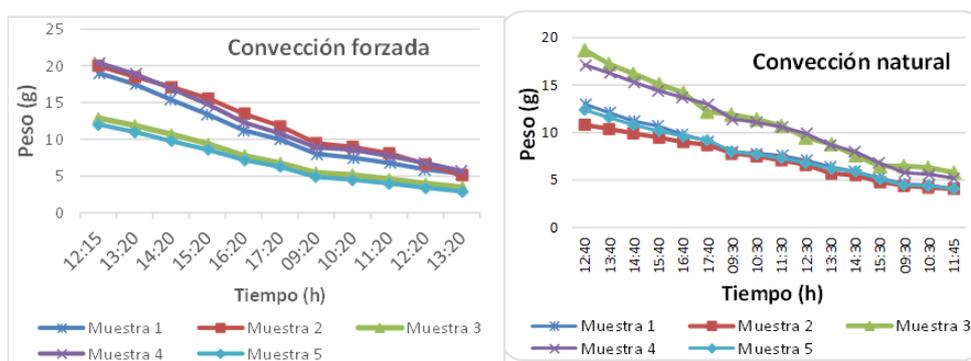


Figura 4. Pérdida de peso en secadores solares con y sin convección forzada.

### Conclusiones

Las cinéticas de secado en horno eléctrico mostraron tiempos de deshidratación entre 13 y 5 horas, entre 45 °C y 65 °C, siendo lo óptimo 55 °C, con un tiempo de 8.5 h. Los tiempos de secado obtenidos en los gabinetes solares fueron más largos en el caso de convección forzada, alcanzando hasta 10 h y sin convección, 9 horas en promedio, en este último caso muy similares a las condiciones controladas de 55 °C, lo anterior se debe a que en convección natural se pueden alcanzar temperaturas más altas o cercanas a los 55 °C. El color y la textura fueron mejores en el caso del secado en gabinete con convección forzada. Con base a los resultados obtenidos la tecnología de secado solar directo, en este caso, en gabinete, constituye un método simple, económico y por lo tanto puede ser muy adecuado para adoptarlo en los hogares mexicanos, teniendo una economía energética importante, con poca inversión y con una aceptable calidad del producto deshidratado.

### Bibliografía

- [1] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Un panorama del cultivo del chili, 2019. <https://www.gob.mx/siap>.
- [2] Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. [www. conabio.gob.mx/ usos/alimentacion/chili.html](http://www.conabio.gob.mx/ usos/alimentacion/chili.html)
- [3] Hernández Eva Aguirre y Muñoz Ocotero Verónica. El chili como alimento. [revistaciencia.amc.edu.mx](http://revistaciencia.amc.edu.mx).
- [4] Sagarpa. Planeación agrícola nacional 2017-2030. Chilis y pimientos mexicanos, 2018.
- [5] Jorge A. Zegbe Domínguez, Ricardo D. Valdez Cepeda y Alfredo Lara Herrera. Cultivo de chili en México. Proy. Editorial Universidad Autónoma de Zacatecas (ISBN: 978-607-7678-69-4), 2012.
- [6] Anuario estadístico de la producción agrícola, SIAP-SAGARPA 2005. [http://infosiap.siap.gob.mx/agricola\\_siap/icultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/agricola_siap/icultivo/index.jsp)