

## **Análisis de propiedades físicas en el deshidratado de Guayaba por medio de energía solar utilizando convección natural y forzada.**

L.I. Méndez-Robles<sup>1</sup>, E.U. Carrera-Arellano<sup>2</sup>, J.M. García-González<sup>2</sup>, y V.M. García-Saldivar<sup>1,2</sup>.

1 Maestría en Ciencias de la Ingeniería, Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de Zacatecas.

2 Programa Académico de Ingeniería Química, Unidad Académica de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Zacatecas. [jmgarcia@uaz.edu.mx](mailto:jmgarcia@uaz.edu.mx)

### **RESUMEN:**

El objetivo de este trabajo es deshidratar guayaba de la región del Cañón Jalpa-Juchipila del estado de Zacatecas, mediante el uso de secadores solares de caseta que operan en convección natural o convección forzada, aprovechando que esta región ocupa el tercer lugar a nivel nacional en la producción de guayaba y el elevado potencial solar en Zacatecas. Mediante el uso del secador de caseta, se desea obtener un producto de alta calidad en tiempos aceptables, que se pueda comercializar a un mayor costo con un gasto mínimo de operación y además, empleando energías alternas y amigables con el medio ambiente. Las variables determinadas en este estudio fueron; la temperatura de secado, la velocidad del flujo del aire en la convección forzada, el tiempo de secado, el porcentaje de humedad retirada, el color del producto y la irradiancia. El contenido de humedad del producto que se obtiene después de someterlo al secado fue de 4.9 % con respecto al inicial. El tiempo de secado en la operación por convección natural fue de 8.13 h y empleando convección forzada 6.51 h en promedio. La irradiancia medida durante el proceso fue de 960 W/m<sup>2</sup>.

**Palabras clave:** Secado Solar, Guayaba, Propiedades Físicas

### **ABSTRACT:**

The objective of this work is to dehydrate guava from the Jalpa-Juchipila Canyon region of the state of Zacatecas, through the use of solar cabin dryers that operate in natural convection or forced convection, taking advantage that this region occupies the third place at level National in the production of guava and the high solar potential in Zacatecas. By using the solar cabin dryers, it is desired to obtain a product of high quality in acceptable times, which can be commercialized at a higher cost, with a minimum operation cost and using alternating energies and friendly with the environment. The variables determined in this study were; drying temperature, air flow rate in forced convection, drying time, the moisture percentage removed, product color and irradiance. The moisture content of the product obtained after drying was 4.9 % with respect to the initial. The drying time in the natural convection operation was 8.13 h and using forced convection 6.51 h on average. The irradiance measured during the process was 960 W/m<sup>2</sup>.

**Keywords:** Solar drying, Guava, Convection

## INTRODUCCIÓN

El mercado mundial de la Guayaba en promedio es de 6,000 toneladas/año, siendo el primer importador mundial el Reino Unido con cerca del 64 % del total del producto. Los Mercados para la guayaba son dos, Europa y Estados Unidos-Canadá. México es el cuarto productor mundial de guayaba, y su mercado está direccionado a Estados Unidos y Canadá. De acuerdo a los datos publicados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Estados Unidos en 2007 importó 11,595 Ton de productos procesados de guayaba, el principal proveedor fue Brasil con el 22 % del total, seguido por República Dominicana con el 19 % y Ecuador con el 16 %. México ocupó el cuarto lugar con el 9 %. Los productos procesados de guayaba importados a los Estados Unidos se clasifican en 3 categorías: Pasta y puré, donde Brasil es el principal proveedor; los preparados y conservas, donde México tiene una participación del 13 % después de Rep. Dominicana y Ecuador; y las mermeladas. Según el estudio “*Snacks Foods in U.S.*” (Septiembre 2012) publicado por *Packaged Facts*, se presenta un auge de productos con valor agregado en Estados Unidos, en especial de *snacks* funcionales, *snacks* energéticos y en *snacks* naturales, lo que hace que este mercado sea atractivo para proponer nuevas formas en la presentación de la guayaba como snack saludable.

Zacatecas cosecha 860 hectáreas de guayaba por ciclo, con un rendimiento de 4.55 toneladas/hectárea de producto. Esta cifra ubica a Zacatecas como el tercer estado con mayor producción de guayaba, luego de Aguascalientes y Michoacán. La guayaba proviene de los municipios de Apozol, Jalpa, Huanusco, Juchipila, Moyahua, Nochistlán, Tabasco y Villanueva.

En la Tabla I. se presentan las propiedades promedio de la guayaba, y que se toman como referencia para este estudio.

<b>Tabla I. Propiedades físicas de la guayaba (Muñoz M., 2014)</b>	
<b>Nutriente</b>	<b>Guayaba Promedio (100 g)</b>
Energía	64.3 – 269 kcal
Humedad	77.97 %
Fibra dietética	5.50 g
Carbohidratos	11.80
Proteínas	1.80
Lípidos totales	1.10
Cenizas	1.83
Ácidos grasos	0.43 g
Calcio	20 mg
Fósforo	35 mg
Hierro	0.7 mg
Sodio	3 mg
Potasio	250 mg
Vitamina A	280 µg
Ácido ascórbico	75 mg
Niacina	1 mg

El **Objetivo** de este trabajo es deshidratar guayaba de la región del Cañón Jalpa-Juchipila del estado de Zacatecas, mediante el uso de secadores solares de caseta, y así, poder incrementar el costo a la venta del producto y una mejor ganancia al productor. Además de utilizar a la deshidratación como un método de conservación y así aumentar el tiempo de anaquel del producto.

El proceso de secado involucra simultáneamente transferencia de calor desde los alrededores a la superficie del producto que se seca en combinación con la transferencia de calor en el material, y la transferencia de masa desde el interior del producto a su superficie, seguido por el transporte externo de la humedad a los alrededores. Los parámetros del producto tales como las propiedades físicas (tamaño, densidad, etc.), contenido de humedad y el coeficiente de transferencia de masa entre el aire y los productos alimenticios varían durante el proceso de secado. Esto es influenciado por las condiciones externas al producto, tales como temperatura, humedad y velocidad del aire de secado y también por los cambios en la composición química y física de los productos alimenticios (López, 2011). El análisis energético del sistema para este estudio se basa en los datos de radiación obtenidos en la Estación Solarimétrica del Campus UAZ Siglo XXI, ubicada en el edificio E6 de Ingeniería Química de la Unidad Académica de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Zacatecas (Latitud 22.77 ° N, Longitud 102.64 ° W, la cual tiene una altura de 2,440 m sobre el nivel del mar), con los cuales es posible conocer la energía disponible para llevar a cabo el proceso de secado.

En la investigación de antecedentes se encontró que Jiménez y col. (2011), determinaron que el tiempo de secado de guayaba requerido es de mínimo 8 horas para alcanzar un valor de humedad del 6 %. Por su parte Serpa y col. (2015), presentaron un estudio donde afirman que el proceso de deshidratación por liofilización, cuya congelación se llevó a cabo por 6 horas, permite obtener guayaba con mayores características técnico-funcionales permitiendo una mejor conservación de la vitamina C.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

En este trabajo se emplea guayaba fresca con un grado de maduración similar. Éstas se lavan y rebanan en rodajas entre 0.3 cm y 0.5 cm de espesor, Figura 1.a. Se colocan en charolas, con dimensiones de 34 cm x 23.5 cm, empleando como absorbedor un polímero color negro. Las muestras se identifican, se numeran y se pesan. Los colores iniciales de las muestras, en coordenadas  $L^*a^*b^*$ , se determinan mediante la prueba D65 utilizando un colorímetro TPM, Figura 1. b.

Para deshidratar la guayaba se utilizó un secador solar de acrílico tipo caseta con grosor de 4 mm, con una base de 70 cm x 80 cm, con perforaciones para permitir la salida del aire húmedo Figura 1.d. En la parte trasera central de la caseta se encuentra fijo un ventilador que funge como extractor del aire húmedo (diámetro de 9 cm). Las pruebas se realizan mediante convección natural y posteriormente se realizan con convección forzada con velocidades de salida del aire a 0.55 m/s, 0.87 m/s y 3.81 m/s.

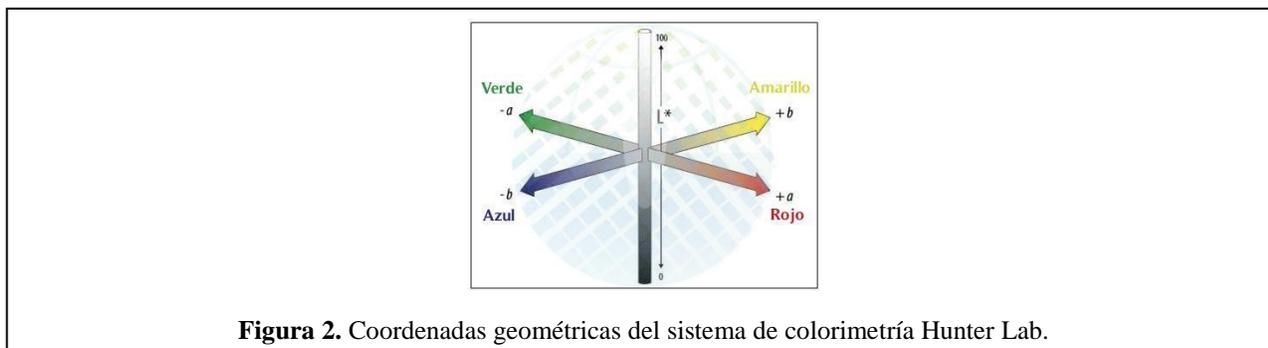
La caseta se coloca con orientación al sur y se colocan dos termopares. Se introducen las charolas con las rodajas de guayaba. De acuerdo a las dimensiones y al peso se seleccionan las muestras más homogéneas medir el contenido de humedad a lo largo del proceso. El porcentaje de humedad se mide tomando una muestra cada 15 min, posteriormente cada 30 min y finalmente cada 60 min con una balanza termogravimétrica, Figura 1.c. Al momento de tomar cada muestra se registra la temperatura en la caseta y se mide nuevamente las dimensiones y el color de las rodajas de guayaba.

Se toman muestras hasta alcanzar humedades menores de 6 %. En los registros de tiempo sólo se consideraron las horas Sol; por lo tanto, si el proceso de secado no ha terminado y ya no hay Sol disponible por el horario, se guarda la caseta con producto en un lugar que no tenga humedad elevada y se pesa alguna de las muestras. El día siguiente se vuelve a exponer el sistema a la radiación, luego de pesar la muestra para estimar la variación de humedad durante el tiempo en que el producto no estuvo expuesto al sol.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La colorimetría es un método físico no destructivo muy utilizado para determinar el color de una muestra. Existen diferentes modelos para la especificación de objetos en colores de una forma estándar. El sistema de color CIELab se utiliza ampliamente para la determinación de colores en alimentos. Este sistema utiliza los valores L, a y b los cuales describen un espacio tridimensional uniforme de color, donde L es el eje vertical a y b son los ejes horizontales, Figura 2 (Carreño, 1995).



La diferencia en claridad está indicada por  $\Delta L$ , la desviación del punto acromático rojo-verde es  $\Delta a$  y la desviación de amarillo-azul es  $\Delta b$ , valores indicados por el colorímetro al hacer mediciones. Con lo anterior es posible calcular el cambio total de color ( $\Delta E$ ) mediante la ecuación 1, este valor determina la diferencia entre las muestras analizadas sin dar información de la dirección de la diferencia de color. El sentido de la desviación será indicado por el valor y por el signo de los deltas individuales ( $\Delta L$ ,  $\Delta a$  y  $\Delta b$ ).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (1)$$

Los análisis colorimétricos para la guayaba revelaron una tendencia de productos a oscurecerse conforme transcurría el tiempo de secado, Figura 3.



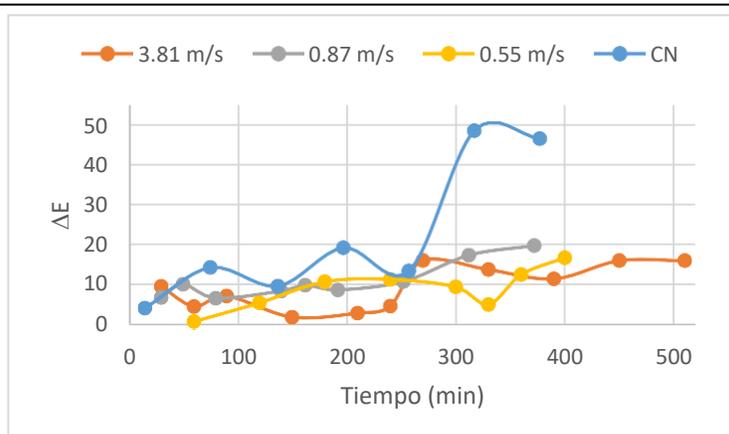
**Figura 3.** Aspecto y color de la guayaba a lo largo del proceso de deshidratado.

En la Tabla II, se muestran las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  de la diferencia de color a diferentes tiempos de secado para el estudio de convección forzada con velocidad de 3.81 m/s y convección natural. Se obtuvo una tendencia de disminución de la luminosidad ( $L^*$ ) y un aumento de  $a^*$ , indicando un cambio de verde a rojo.

**Tabla II.** Coordenadas cromáticas de color de la guayaba durante el deshidratado.

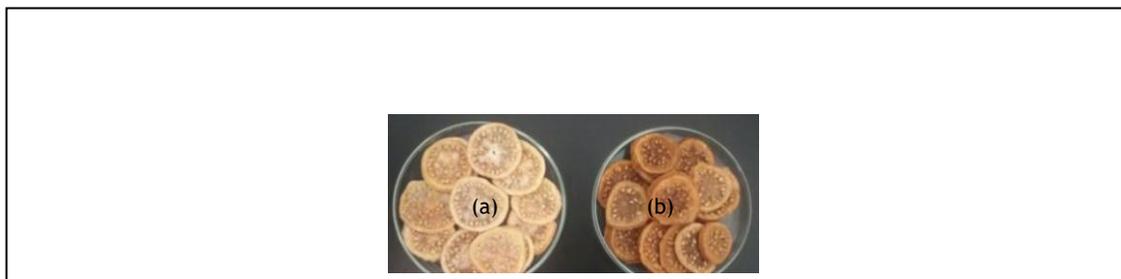
Convección forzada								Convección natural							
Valores Iniciales				t (min)	Valores en función del tiempo			Valores iniciales				t (min)	Valores en función del tiempo		
M	$L^*$	$a^*$	$b^*$		$L^*$	$a^*$	$b^*$	M	$L^*$	$a^*$	$b^*$		$L^*$	$a^*$	$b^*$
1	72.3	1.91	16.56	30	63.17	3.58	16.86	1	57.34	3.07	18.59	30	57.42	1.87	14.94
2	68.76	2.64	17.35	150	67.77	2.78	18.55	2	67.54	3.84	17.81	137	54.13	5.73	14.25
3	69.39	2.07	13.2	270	55.06	4	19.45	3	61.24	2.7	16.49	197	52.49	5.88	17.42
4	70.29	1.21	12.59	390	67.51	2.31	11.11	4	58.38	3.1	17.08	257	41.35	9.98	21.72
5	65.44	3.54	16.9	450	55.54	8.41	28.12	5	60.34	3.17	18.35	317	48.84	8.05	22.7

Al graficar el cambio de color  $\Delta E$  de diferentes muestras de las charolas como función del tiempo de secado se obtiene la Figura 4, donde se observa que hay un mayor cambio de color en la convección natural, en contraste con la convección forzada con velocidad de 3.81 m/s.



**Figura 4.** Cambio de color de la guayaba en función del tiempo de secado con convección forzada y convección natural.

En la Figura 5 se compara la apariencia del producto final deshidratado donde el inciso a) corresponde al secado con convección forzada a 3.81 m/s y el inciso b) al secado con convección natural.



En la Tabla III se resumen los resultados obtenidos en la deshidratación de guayaba mediante secadores solares tipo caseta. Se observa que el tiempo de secado en convección natural coincide con el reportado en literatura. Además es apreciable que el realizar el secado con convección forzada ocasiona una disminución en la temperatura en el interior de la caseta, lo que repercute en el tiempo de secado y en la calidad del producto final.

<b>Tipo de Convección</b>	<b>Velocidad promedio (m/s)</b>	<b>Temperatura interior (°C)</b>	<b>Tiempo de secado (h)</b>	<b>% Agua retirada</b>	<b>Irradiancia (W/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Natural</b>		53.0	8.13	74	987
<b>Forzada</b>	0.55	41.7	5.93	71	995
	0.87	45.0	6.95	74	936
	3.81	33.5	9.52	78	951

Se puede concluir que entre mayor es la velocidad en el ventilador extractor se obtienen colores más claros; por lo que de acuerdo a los resultados obtenidos la mejor opción es trabajar a velocidades de 0.55 m/s a 0.87 m/s, porque requiere un menor tiempo de secado y se obtiene un color aceptable. Sin embargo, a una velocidad de 3.81 m/s se obtiene un producto visualmente más aceptable, pero no se recomienda por el prolongado tiempo de secado que presenta.

## BIBLIOGRAFÍA

- Oficina Comercial de ProChile en Washington DC. “Estudio de Mercado de Snacks en Estados Unidos”. Ed. ProChile. 2012.
- López Vidaña E., Caracterización y evaluación de la eficiencia térmica y de secado en un deshidratador híbrido (solar-gas), Tesis M. en C. Centro Interdisciplinario para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, 2011.
- Jiménez A., Barbosa H, Morales A., Osorio C., “Deshidratación de la guayaba, Una opción para su aprovechamiento integral”. Proyecto: Desarrollo de aditivos naturales de color y aroma a partir de frutas de guayaba. [http://www.bdigital.unal.edu.co/8536/6/06\\_Parte02\\_Cap04.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/8536/6/06_Parte02_Cap04.pdf)
- Serpa A. M., Vásquez D.C., Castrillón D.C, Hincapié G. A., “Comparación de dos técnicas de deshidratación de guayaba-pera (*Psidium guajava* L.) sobre los efectos del contenido de vitamina C y el comportamiento de las propiedades técnico-funcionales de la fibra dietaria”. Revista Lasallista De Investigación - Vol. 12 No. 1 - 2015 – págs. 10-20
- Carreño J. Proposal of an index for the objective evaluation of the colour of red table grapes. Food Research International, 4(28), 373-377, 1995
- Rettig, M., Ah-Hen, K. Color in food as a measurable quality criterion. Agro Sur 42(2). 2014.