

## **Deshidratado de ajo (*Allium sativum*) utilizando tecnología solar por convección natural y forzada.**

**Del Rio Félix U.F.<sup>a</sup>, Carrera Arellano E.U.<sup>b</sup>, García Saldivar V.M.<sup>a,b</sup>, García González J.M.<sup>a,\*</sup>**

- a. Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Ciencias Químicas, Programa Académico de Ingeniería Química. *Campus UAZ Siglo XXI*. Carretera Zacatecas- Guadalajara Km. 6. Ejido la Escondida. C.P. 98160. Zacatecas, México.
- b. Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Ciencias Químicas, Programa Académico de Maestría en Ciencia y Tecnología Química. *Campus UAZ Siglo XXI*. Carretera Zacatecas- Guadalajara Km. 6. Ejido la Escondida. C.P. 98160. Zacatecas, México. \* [jmgarcia@uaz.edu.mx](mailto:jmgarcia@uaz.edu.mx)

### **RESUMEN:**

El objetivo de este trabajo es deshidratar ajo (*Allium sativum*) del municipio Zacatecas del estado de Zacatecas, mediante el uso de secadores solares de caseta que operan en convección natural o convección forzada, aprovechando que ésta región ocupa el primer lugar a nivel nacional en la producción de ajo (SAGARPA, 2017), y el elevado potencial solar en Zacatecas. Mediante el uso de un 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. 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 10.3 % con respecto al inicial. El tiempo de secado en la operación por convección natural fue de 5.75 h y empleando convección forzada 7 h en promedio. La irradiancia medida durante el proceso fue de 569.9 W/m<sup>2</sup>.

**Palabras clave:** Secado Solar, ajo, velocidad de secado

### **ABSTRACT:**

The objective of this work is to dehydrate garlic from the Zacatecas municipality 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 first place at level National in the production of garlic 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. 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 10.03 % with respect to the initial. The drying time in the natural convection operation was 5.75 h and using forced convection 7 h on average. The irradiance measured during the process was 569.9 W/m<sup>2</sup>.

**Keywords:** Solar drying, garlic, drying speed

**Área:** Frutas y hortalizas.

### **INTRODUCCIÓN**

La deshidratación o secado asistido de alimentos es una de las operaciones unitarias más utilizadas en la conservación de los mismos. Es el proceso en el que se elimina la mayor parte del agua presente en el alimento mediante la aplicación de calor o no, bajo condiciones controladas. La finalidad de esta operación es lograr la reducción de peso, la reducción de volumen e incrementar la vida útil del producto final en comparación con los alimentos frescos.

Cuando se observa el proceso de deshidratado en el tiempo. En ella, se puede advertir que, al principio, hay una caída muy rápida del contenido de humedad y, luego, se va desacelerando y haciéndose asintótico su pendiente. Esto es así porque cuando más baja es la humedad final más dificultosa es su extracción del tejido vegetal. Cuando la curva toca el eje de abscisas, ese punto corresponde al valor de humedad analítica.

Hay varias razones por las cuales es importante secar los alimentos:

- Conservar los alimentos durante muchos meses y consumirlos conservados en períodos de escasez o fuera de temporada.
- Asegurar la calidad de la alimentación de la familia durante todo el año.
- Aprovechar la energía gratis y limpia del sol y la gran cantidad de frutas que todos los años se producen, como mangos, piñas, aguacates y entre otras sólo durante muchos meses.
- Generar trabajo. Las frutas y otros alimentos, se pueden secar, guardar adecuadamente y preparar para la venta, de esta manera se puede abrir una nueva fuente de trabajo. La elaboración de frutas secas para consumo directo o en galletitas o en panes es ahora, muy valorado por el azúcar y las vitaminas que poseen.

Zacatecas cosecha 2726 hectáreas de ajo por año agrícola, con un rendimiento de 22.376 toneladas/hectárea de producto. Esta cifra ubica a Zacatecas como el primer estado con mayor producción de ajo. El ajo proviene de los municipios de Fresnillo, Jerez, Ojo Caliente, Rio Grande y Zacatecas.

El ajo deshidratado debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- Características sensoriales. El color es entre blanco y amarillo libre de partículas quemadas tostadas y cocidas; el olor es característico picante y libre de olores extraños; y sabor característico, picante y libre de sabores extraños.
- Características físicas y químicas se presentan en la Tabla I.

Tabla I. Características físicas del ajo (Avila, 1998)

Especificaciones	
Humedad, % máx.	7
Cenizas totales, % (base seca), máx.	5.0
Cenizas insolubles en ácido, (base seca), % máx.	0.5
Fibra cruda % máx.	14.5
Proteínas % mín.	15
Partículas negras, % máx.	0.25

- Características microbiológicas se presentan en la Tabla II.

Tabla II. Características microbiológicas del ajo (deshidratado, 1980)

Especificaciones	
Cuenta de mesofílicos aerobios	200,000
Organismos coliformes	200
Hongos y levaduras	500
Staphylococcus aureus	Negativo
Salmonella	Negativo

El Objetivo de este trabajo es deshidratar ajo del municipio de Zacatecas 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. 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 (Méndez *et al*, 2018).

### MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se emplea ajo con un grado de maduración similar. Estos se pelan y rebanan en rodajas entre 0.1 cm y 0.2 cm de espesor, Fig 1.a. Se colocan en mallas de plástico, con dimensiones de 27 cm x 34 cm. 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, Fig 1. b.

Para deshidratar del ajo se utilizó un secador solar transparente 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 Fig 1.c. 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 3.2 m/s.

La caseta se coloca con orientación al sur y se colocan un termopar. Se introducen las mallas de plástico con las rodajas de ajo. El porcentaje de humedad se mide por diferencia de peso de las charolas a lo largo del proceso de secado tomando lecturas de peso en función del tiempo, iniciando con intervalos de 30 min y terminando con intervalos de 60 min con una balanza analítica. Al momento de tomar cada malla se registra la temperatura en la caseta y el color de las rodajas de ajo.



Figura 1. a) Ajos en rodajas. b) Colorímetro TPM. c) Secador tipo caseta

Se toman muestras hasta que ya no haya cambio de peso entre ellas. 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 CIE-Lab 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, Fig. 2 (Carreño, 1995).

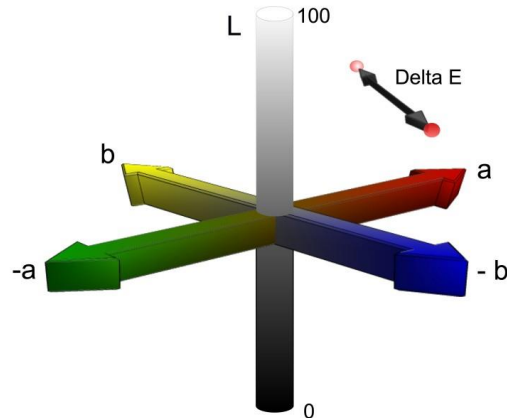


Figura 2. Coordenadas geométricas del sistema de colorimetría Hunter Lab.

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  $\Delta b$ ).

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad \text{Ec. 1}$$

Los análisis colorimétricos para el ajo revelaron una tendencia de productos a aclararse conforme transcurría el tiempo de secado, Fig. 3.



Figura 3. Color del ajo a lo largo del proceso de deshidratado.

En la Tabla III, se muestran las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  de la diferencia de color en el tiempo total de secado para el estudio de convección forzada con velocidad de 3.2 m/s y convección natural. Se obtuvo una tendencia de aumento de la luminosidad  $L^*$  y cambios en  $a^*$  y  $b^*$  insignificantes.

Tabla III. Coordenadas cromáticas de color del ajo durante el deshidratado.

Convección forzada								Convección natural							
Valores Iniciales				Valores al término de la prueba				Valores iniciales				Valores al término de la prueba			
M	L*	a*	b*	M	L*	a*	b*	M	L*	a*	b*	M	L*	a*	b*
1	65.71	0.78	18.16	1	78.52	0.75	19.66	1	63.03	0.023	16.02	1	68.75	1.68	18.31

El cambio de color  $\Delta E$  desde el inicio de cada prueba hasta finalizarla, vemos que es poco variable respecto a las coordenadas cromáticas de  $a^*$  y  $b^*$  y respecto al eje L tenemos que se incrementa aumentando su luminosidad, es más patente en la convección forzada. Con velocidad de 3.2 m/s. Esto lo podemos justificar ya que al rebanar el ajo las rodajas tienen un pequeño grosor y al disminuir su cantidad de agua estas se vuelven más traslucidas.

En la Figura 4 se compara la apariencia del producto final deshidratado donde el inciso a) corresponde al secado con convección forzada a 3.2 m/s y el inciso b) al secado con convección natural.



Figura 4. Ajo deshidratado.

En la Tabla IV se resumen los resultados obtenidos en la deshidratación de ajo mediante secadores solares tipo caseta. 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.

Tabla IV. Resultados Experimentales

Tipo de Convección	Velocidad promedio (m/s)	Temperatura interior (°C)	Tiempo de secado (h)	% Agua retirada	Irradiancia (W/m <sup>2</sup> )
Natural		39.0	5.75	92	569.9
Forzada	3.2	34.4	7	90	569.9

En la Fig. 5, se observa que el porcentaje de humedad en base seca va disminuyendo conforme pasa el tiempo donde también se observa que los decrementos de la humedad son más pequeños hasta llegar a una asíntota en la cual, en su inicio indica el tiempo de secado óptimo, que en este caso corresponde a 5.75 h para convección natural y 7 h para convección forzada respectivamente.

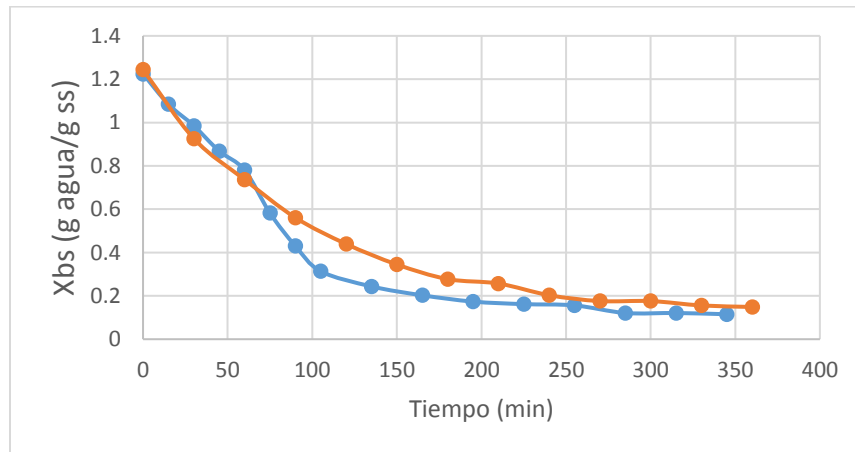


Figura 5. Humedad en base seca vs el tiempo. (Círculo azul convección natural; círculo naranja, convección forzada)

## CONCLUSIÓN

Se puede concluir que en la convección forzada el tiempo de secado es mas y para el tiempo de secado en convección natural es menor por lo que es mejor trabajar a convección naturl en las condiciones dadas en la caseta,

también podemos decir que es factible la deshidratación del ajo gracias a la irradiación que existe en el estado y además el producto es visualmente aceptable y es más económico el de convección natural.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Avila, G. (1998). Variables para la estimación del tiempo oportuno de secado de ajo (*Allium sativum* L.). *Avances en Horticultura*, 7.

Deshidratado, A. (1980). *Norma mexicana NMX-F-250-S-1980*.

SAGARPA. (2017). El Ajo

Méndez Robles L.I., Carrera Arellano E.U. , García-González J.M., García Saldivar V.M. (2018) “Análisis de propiedades físicas en el deshidratado de Guayaba por medio de energía solar utilizando convección natural y forzada”. *Rev. Investigación y desarrollo en Ciencia y tecnología de Alimentos*. Vol. 3. pp 264-269

Carreño J. “Proposal of an index for the objective evaluation of the colour of red table grapes”. *Food Research Internationa*, 4(28), 373-377, 1995