

# IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DIDÁCTICO PARA EL SECADO SOLAR DE FRUTAS Y HORTALIZAS. ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA DETERMINACIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN ÓPTIMAS EN EL MUNICIPIO DE GUANAJUATO

Hernández López Mauricio Javier (1), Martínez García Martín Trinidad (2), del Ángel Soto Julio (3)

1 [Licenciatura en Ingeniería Química] | [mj.hernandezlopez@ugto.mx]

2 [Departamento de ingeniería química, división de ciencias naturales y exactas, campus Guanajuato, universidad de Guanajuato] | [garciamt@ugto.mx]

3 [Departamento de Ingeniería Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [jasoto@ugto.mx]

## RESUMEN

En este trabajo se presenta el estudio comparativo del secado solar de productos agrícolas realizado en un prototipo de secador solar. Con los datos obtenidos experimentalmente se establece un modelo matemático que permite describir y predecir las velocidades para el secado de distintos frutos como; el plátano, manzana, fresa, pera, piña, jitomate y pimienta morrón. El trabajo se efectuó en dos etapas: la primera corresponde a la parte experimental donde se realizó el secado de frutas, considerando la operación del secador en convección natural con espirales de aluminio para promover la transmisión de calor. En la segunda se realizó el análisis e interpretación de los datos recolectados utilizando correlaciones para la velocidad del secado obtenidas de la bibliografía, estableciendo además las propias para el equipo y frutas utilizadas, de manera que se puede describir el comportamiento de secado a través de los parámetros básicos de tiempo y humedad.

## ABSTRAC

In this work the comparative study of the solar drying of agricultural products carried out in a prototype of solar dryer is presented. With the data obtained experimentally establishes a mathematical model that allows to describe and to predict the speeds for the drying of different fruits like: banana, apple, strawberry, pear, pineapple, tomato, and red pepper. The work was carried out in two stages; the first one corresponds to the experimental part where the drying of fruits was performed, considering the operation of the dryer in natural convection with aluminum spirals to promote the heat transfer. In the second one, the analysis and interpretation of the collected data were performed using correlations for the speed of drying obtained from the bibliography, establishing, also the ones for the equipment and fruits used, so that the drying behavior can be described through the basic parameters of time and humidity

## PALABRAS CLAVE

Energías Renovables; Deshidratación; Productos Comerciales; Condiciones de Operación; Modelamiento matemático

## INTRODUCCIÓN

Las frutas y hortalizas como cualquier alimento están sujetas a alteraciones y modificaciones provocadas por ciertos agentes (químicos, físicos o biológicos) que son los principales responsables de su deterioro [1]. Para disminuir este efecto se utilizan métodos de conservación, así los alimentos tienen un mayor tiempo de vida para su consumo. Uno de estos procesos de conservación es el secado.

El secado consiste en la extracción de agua (deshidratación) de un cuerpo mediante la evaporación o evo transpiración del producto que se desea secar, esto se realiza con el fin de detener, retardar y/o eliminar el proceso de degradación biológica de los alimentos.

Con anterioridad se ha utilizado el método de secado para la preservación de carne, granos, frutas y hortalizas utilizando el “método tradicional” el cual consiste en el secado al “aire libre” donde los alimentos son expuestos a la intemperie para su secado. Sin embargo, el resultado de esto recae en la mala calidad de los productos obtenidos, la presencia de polvo, insectos o animales son muy comunes en el producto final, lo que puede repercutir en la salud de los consumidores; además, el tiempo de secado es otro factor de análisis crítico debido a los altos porcentajes de humedad presentes en el ambiente, lo que retarda el proceso de secado.

El secado solar utiliza la energía radiante del sol como fuente de energía aprovechable para el secado. Son clasificados en dos tipos: directos, los cuales utilizan la incidencia de los rayos solares sobre el material que se desea secar e indirectos, estos utilizan la radiación solar para el calentamiento del aire circundante; este pasa a una cámara donde se encuentra el material que se desea secar. En los dos casos la efectividad del secado dependerá de las condiciones climatológicas.

### Diseño de un secador solar

Para diseñar un secador o sistema de secado, es esencial tener información cuantitativa sobre la velocidad a la cual el agua es removida del material húmedo.

Por lo general se realizan un conjunto de pruebas en un prototipo a escala que permite la simulación del proceso para su posterior escalamiento industrial.

Existen una serie de factores importante a considerar en el análisis del secado:

- Contenido de humedad en equilibrio
- Contenido libre del material
- Condiciones de aire seco y su variación con el tiempo
- Geometría del secador
- Coeficiente de difusión interna del sólido. [2]

En este trabajo se presenta el análisis obtenido a partir de los datos experimentales a través de un modelo matemático que describe el comportamiento analítico mediante los datos de humedad y tiempo de secado de frutas finalizando con el cálculo de la eficiencia del secador.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La experimentación se llevó a cabo mediante la utilización de un prototipo de secador solar que se restauró como parte del proyecto del verano de investigación. Este prototipo consta de las siguientes partes:

- Caja de secado
- Colector solar

Estas a su vez se componente de:

- Rejillas de secado
- Superficie negra
- Cubierta de vidrio
- Espirales generadoras de turbulencia
- Soporte
- Extractor de aire



Figura 1 Descripción del secador solar

Como se muestra en la Figura 1 el flujo de aire ingresa por la parte inferior del equipo pasa a través del colector donde el aire es calentado hasta alcanzar una cierta temperatura, y posteriormente ingresa a la caja de secado donde el aire caliente transfiere el calor a la materia orgánica para su secado, este está soportado en tres charolas de malla como base, ya que esta permite el flujo libre de aire hacia la materia orgánica que se desea secar.

Se analizaron las siguientes frutas: plátano, piña, pera, manzana, chile, fresa y jitomate.

Previo a la experimentación se realizó una medición de humedad presentes en cada una de las frutas.

### Deshidratación de fruta

Para realizar la experimentación se ingresaron a la cámara de secado aproximadamente de 170 a 240 gramos de producto rebanado y picado de fruta con un grosor aproximado de 5 mm para el

plátano, manzana, chile y fresa, y 2 cm para la piña.

**Tiempo de secado:** Se tomó como base un tiempo de secado aproximado de 330 minutos iniciando a las 9:40 a.m. y finalizando a las 15:10 p.m. tomando este horario y tiempo como base debido a las condiciones climatológicas presentadas en el verano del 2017.

**Perdida de agua y medición de temperatura:** Una vez ingresado, cada 30 minutos se realizó una medición para el cálculo de la pérdida de agua de la fruta dentro del secador. De igual forma se realizó la medición de la temperatura del colector y la caja.

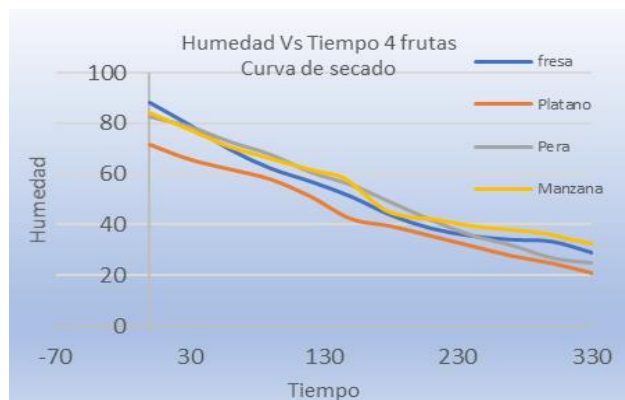
**Almacenamiento:** Una vez terminado el tiempo se almacenó el producto.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dentro del proceso de secado la forma como se aprecian las frutas cambia debido a la remoción de agua. Las frutas se vuelven cuando están casi secas a estructuras frágiles ya que estas al tacto se rompen o quiebran por lo que terminan convirtiéndose en polvo, un ejemplo claro es el jitomate o también el pimiento estos se vuelven polvosos ya que al removerlos de la malla se quiebran en fracciones muy pequeñas. La manzana, pera, piña y plátano a diferencia del pimiento y jitomate estas no se vuelven estructuras quebradizas sino se pueden apreciar como masas chiclosas, esto puede ser debido a que por el tipo de estructura que poseen estas conserven aún agua como se verá a continuación.

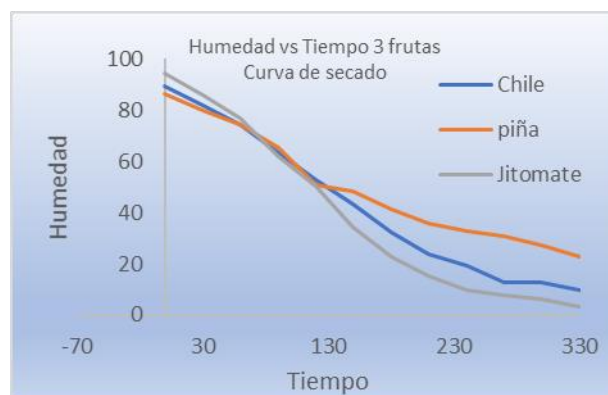
En las siguientes gráficas y tabla se muestran los resultados del comportamiento de secado obtenidos para cada una de las frutas y la comparación en su conjunto representando los días en los cuales se obtuvieron mejores resultados.

En el primer gráfico se muestra las curvas de secado para las frutas: pera, plátano, manzana y fresa, en el segundo gráfico se muestran las curvas para el chile, plátano y jitomate.



**GRAFICO 1** Tiempo de secado descrito por la humedad y tiempo de secado para fresa, plátano, pera y manzana.

temperaturas desde 23 a 26 grados cuando existieron periodos de nubosidad y de hasta 65 grados centígrados dentro de la cámara en periodos despejados máximos cada 30 minutos. En el gráfico 1 se muestran las curvas de secado para la fresa, pera, manzana y plátano con húmedas



**GRAFICO 2** Tiempo de secado descrito por la humedad y tiempo de secado para pimienta, piña y jitomate.

Eficiencias de secado %	Plátano	Piña	Pera	Manzana	Chile	Fresa	Jitomate
Eficiencia neta	73.77	73.55	83.43	65.46	92.82	68.9	96.83
Eficiencia por calor suministrado parcial	3.84	39.8	2.68	2.39	4.46	4.95	7.67
Eficiencia por remoción de agua parcial	10.4	11.24	11.21	6.69	17.75	9.2	25.78
Ecuación y modelo de secado	$y = 76.514e^{-0.004x}$ $R^2 = 0.9905$	$y = 89.061e^{-0.004x}$ $R^2 = 0.9895$	$y = 91.76e^{-0.004x}$ $R^2 = 0.9822$	$y = 83.926e^{-0.003x}$ $R^2 = 0.9801$	$y = 111.81e^{-0.006x}$ $R^2 = 0.9825$	$y = 85.253e^{-0.003x}$ $R^2 = 0.9846$	$y = 135.94e^{-0.011x}$ $R^2 = 0.9701$

**TABLA 1** Eficiencias de secado de las frutas, la \*eficiencia neta corresponde al porcentaje del agua total retenida con respecto al agua original de la muestra, la \*eficiencia por calor es la eficiencia parcial aprovechada de la radiación solar suministrada y la cantidad de agua evaporada, la \*eficiencia por remoción de agua es la cantidad de agua eliminada con respecto al agua restante cada 30 minutos, la

### Evolución del proceso de deshidratación

El proceso de secado se llevó a cabo en el prototipo de secador implementado para estas pruebas en el laboratorio de Ingeniería Térmica del departamento de Ingeniería Química, sede Pueblito de Rocha, durante varios días, tomando en consideración la variable de temperatura. Debido a las condiciones climatológicas las temperaturas del secador variaron con respecto al día, ya que se presentaron periodos de nublado y despejados que afectaron en la eficiencia y comportamiento del secador. Se presentaron

iniciales de 88.2, 82.7, 84.1, y 72.5 por ciento respectivamente y después del secado teniendo una humedad de 27.43, 13.7, 29.04, 19.2 por ciento respectivamente de humedad final de las frutas, como vemos las humedades son altas ya que los secados de estas frutas se presentaron en días que tuvieron periodos parciales de nubosidad mayormente.

En el segundo gráfico se presentan las curvas de secado para las frutas: piña, Chile y jitomate teniendo como humedad inicial 86.2, 89.4, 94.2 por ciento respectivamente y después del secado

se obtuvieron como humedad 22.80, 6.42, 2.98 por ciento respectivamente estas frutas están separadas debido a que la experimentación se realizó en un día soleado totalmente con semiciclos de nubosidad sin embargo el periodo de nubosidad no es significativo para un gran cambio en las temperaturas dentro del secador por lo tanto este día es tomado como el de mayor periodo de insolación aprovechada.

Las ecuaciones determinadas por las curvas de secado corresponden con buena aproximación a ecuaciones exponenciales, son tomadas de esta forma debido a investigaciones relacionadas en semillas y debido a que los periodos donde hay mayor radiación se considera como una mayor remoción de líquido entonces por lo tanto la curva baja hasta llegar a un cierto punto donde ya no existe un cambio significativo en el secado formando una curva tipo exponencial.

Comparando tanto las eficiencias como los porcentajes de remoción de líquido tenemos como resultados los siguientes:

- Las mayores eficiencias presentadas fueron de frutas con alto contenido de líquido (agua) reflejado en el porcentaje de humedad inicial.
- Los periodos de nubosidad afectan en gran medida las eficiencias del secador debido a la disminución de la radiación que pueda ser aprovechada.
- Se puede apreciar que en un día donde las condiciones sean favorables, frutas como jitomate y pimiento pueden tener una remoción de humedad de un 82 hasta un 92 %.
- Las velocidades de secado para una cierta fruta pueden estar determinadas a partir de las ecuaciones presentadas como resultado de las curvas de secado, en el caso en el que nosotros ocupemos determinar el tiempo de secado para una humedad deseada o en el caso contrario; determinar la humedad en un periodo de tiempo establecido, podemos hacer uso de

las ecuaciones de secado, estas nos determinaran los parámetros requeridos y además haciendo uso directo del grafico; los periodos donde puedan tenerse un menor tiempo con mayor secado de las frutas.

## CONCLUSIONES

Las condiciones de secado que nos dan mejores eficiencias como resultado son aquellas donde las temperaturas parciales en el ámbito de medición superan los 60 grados centígrados cercanos a las 2 de la tarde.

Las humedades alcanzadas cerca del 2 al 10 por ciento en las frutas nos muestran que el secado con energía solar es eficiente siempre y cuando se cuente con condiciones climáticas favorables.

La ecuación resultante del modelamiento matemático permite calcular el tiempo de secado o la humedad alcanzada en un periodo de tiempo, según sea el objetivo en el proceso.

Los resultados obtenidos en el presente estudio permiten caracterizar el prototipo para el secado solar de productos agrícolas, en forma experimental y/o teórica para su utilización en la docencia en la materia de Energías Renovables del programa de licenciatura en Ingeniería Química.

## REFERENCIAS

- [1]González, J. J. (s.f.). Secado Solar. En J. J. González, *Secado Solar* (págs. 5 - 20). Guanajuato: ANES.
- [2]Guanajuato, C. m. (28 de junio de 2013). *Estado de Guanajuato - Estudio de*. Obtenido de Estudio de irradiación solar en el Estado de Guanajuato: file:///C:/Users/MAU/Downloads/ddi-documentation-spanish-18.pdf
- [3]Hargreaves, G. (1985). *Reference crop evapotranspiration from temperature*. Samani, Z.A: Applied.
- [4]Monsalve, J., & Machado, M. (2007). Evaluación de dos métodos de deshidratación del tomate (*Lycopersicon esculentum* mill) variedad. *Multiciencias*, 256-265.
- [5]Osorio, M. C. (junio de 2009). Procesamiento de frutas y verduras a nivel casero. Montecillo, Estado de México, México.