

## Revista Sextante

ISSN : 2665-3923  
Vol: 25 No: 01 (2021 )

# Secado de productos típicos de la Costa Caribe Colombiana bajo el análisis del índice de rendimiento del secador

Luis Enrique Mealla Sánchez

Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla, Colombia

### Article History

Received Dec , 07th , 2021

Accepted Dec,8th , 2021

Published Dec, 17th,2021



© 2021 The Authors. This article is an Open Access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution(CC-BY)license  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

### Abstract

Se presenta la aplicación de una metodología de evaluación de la cinética de secado aplicada a un conjunto de medidas generadas secando productos regionales en un secador solar de flujo natural, que utiliza una chimenea para ayudar a impulsar el aire. Las experiencias se realizaron bajo radiación solar evaluada en la Costa Caribe de Colombia, flujo de aire impulsado por diferencia de densidad proporcionada para la diferencia de temperatura ocasionada por el calentamiento del secador. Se tomaron cuatro grupos de medidas con distintos productos: cerdo en filetes delgados, yuca en rodajas, mango verde y maduro en rodajas. En el presente trabajo se muestra el comportamiento del secado de productos regionales bajo una metodología de análisis: el denominado Índice de Performance del Secador (IPS). Los resultados de esta metodología aplicadas al análisis de los datos arrojados confirman que es apropiado evaluar bajo esta metodología.

### Keywords

Convección natural, Energía solar, Índice de rendimiento del secador, Secado

## INTRODUCTION

El secado constituye una de las técnicas más antiguas y efectivas utilizadas para la conservación de productos alimenticios. Su principio fundamental consiste en reducir el contenido de humedad presente en un alimento hasta alcanzar niveles que disminuyan la actividad microbiológica, las reacciones químicas y los procesos enzimáticos responsables del deterioro. En regiones tropicales como la Costa Caribe Colombiana, donde existe una disponibilidad considerable de radiación solar durante gran parte del año, el uso de sistemas de secado solar representa una alternativa tecnológica sostenible para la conservación de productos agrícolas y alimentarios. La energía solar ofrece ventajas importantes frente a las fuentes convencionales de energía utilizadas en los procesos térmicos. Su carácter renovable, su disponibilidad y su bajo impacto ambiental hacen posible desarrollar tecnologías de secado adaptadas a comunidades rurales y pequeñas unidades de producción. Los secadores solares permiten aprovechar directamente la radiación para elevar la temperatura del aire y favorecer la eliminación progresiva del agua contenida en los productos. El desempeño de un secador solar depende de diversos factores, entre ellos la intensidad de la radiación solar, la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad de circulación del aire, la geometría del sistema, la distribución de las bandejas y las propiedades físicas del alimento. Estos factores interactúan durante todo el proceso y determinan la rapidez con la que el producto pierde humedad. Los sistemas de convección natural resultan especialmente atractivos debido a que no requieren ventiladores eléctricos para mantener el movimiento del aire. La circulación se produce como consecuencia de las diferencias de densidad generadas por los cambios de temperatura. El aire calentado dentro del secador disminuye su densidad y asciende, mientras que el aire más frío entra al sistema y reemplaza el volumen desplazado. La incorporación de una chimenea permite reforzar este fenómeno y generar un flujo más continuo. El denominado efecto chimenea contribuye a extraer el aire húmedo de la cámara de secado, facilitando el ingreso de aire con menor contenido de humedad. Esta circulación mejora la transferencia simultánea de calor y masa entre el producto y el

ambiente interno del secador. El comportamiento del proceso puede variar significativamente según el producto tratado. La yuca posee una estructura rica en almidón, mientras que el mango presenta una elevada proporción de agua y compuestos solubles. Los productos cárnicos, por su parte, contienen proteínas y grasas que modifican sus características de transferencia de masa. Por esta razón, cada alimento presenta una curva de secado particular. Para evaluar de manera objetiva estos procesos es necesario utilizar indicadores que permitan comparar el desempeño del secador bajo distintas condiciones. El Índice de Performance del Secador, conocido como IPS, constituye una alternativa para analizar experimentalmente la capacidad del sistema para eliminar humedad y establecer comparaciones entre diferentes productos. El análisis de la cinética de secado mediante este índice proporciona información útil para identificar configuraciones eficientes y detectar posibles limitaciones del diseño. Su aplicación en productos típicos de la Costa Caribe Colombiana permite relacionar las características de cada alimento con su respuesta frente al secado solar y aporta elementos para mejorar el aprovechamiento de esta tecnología.

#### **Fundamentos del secado solar por convección natural**

El secado solar ocurre mediante un proceso combinado de transferencia de calor y transferencia de masa. La radiación solar captada por el secador produce un incremento en la temperatura del aire que circula dentro del sistema. Al aumentar su temperatura, el aire reduce su humedad relativa y adquiere una mayor capacidad para absorber vapor de agua procedente de los productos. Cuando el aire caliente entra en contacto con la superficie del alimento, proporciona la energía necesaria para que parte del agua contenida en el material cambie de estado líquido a vapor. Simultáneamente, la diferencia entre la presión de vapor del producto y la del aire circundante genera un gradiente que impulsa la humedad hacia el exterior. En los secadores de convección natural, el movimiento del aire se origina sin utilizar sistemas mecánicos. La elevación de la temperatura disminuye la densidad del aire, provocando su desplazamiento vertical. Este fenómeno genera una corriente natural que facilita el transporte del vapor de agua fuera de la cámara. La chimenea desempeña un papel importante porque aumenta la diferencia de presión entre la entrada y la salida del secador. Una mayor altura o una geometría apropiada puede favorecer el flujo de aire y mejorar la capacidad del sistema para retirar la humedad liberada durante el proceso. La eficiencia depende también de la distribución interna de las bandejas. Si el espacio entre ellas es reducido o si la carga es demasiado elevada, la circulación puede verse restringida. Esto produce diferencias en la temperatura, velocidad del aire y humedad relativa entre las distintas zonas del secador. Por lo tanto, el diseño de un sistema de convección natural debe buscar un equilibrio entre captación de energía, circulación de aire y capacidad de carga. La optimización de estas variables permite alcanzar procesos de secado más uniformes y reducir los tiempos necesarios para obtener niveles adecuados de humedad.

#### **Cinética de secado de los productos analizados**

La cinética de secado describe la evolución del contenido de humedad del producto a lo largo del tiempo. En términos generales, durante las primeras etapas del proceso existe una mayor disponibilidad de agua superficial, por lo que la pérdida de humedad puede producirse con relativa rapidez. A medida que avanza el secado, la cantidad de agua superficial disminuye y el proceso comienza a depender del movimiento de la humedad desde el interior del material hacia su superficie. Esta transferencia interna suele ser más lenta y provoca una reducción progresiva de la velocidad de secado. En la yuca, la elevada presencia de almidón y su estructura compacta pueden dificultar la migración interna del agua. Las rodajas de mayor espesor requieren más tiempo para que la humedad se desplace desde las zonas internas hasta la superficie, donde finalmente puede evaporarse. El mango verde presenta una estructura relativamente firme, mientras que el mango maduro contiene una proporción más elevada de agua disponible y presenta cambios estructurales derivados de la maduración. Estas diferencias explican parte de la variación observada en sus velocidades de secado. En el caso de los filetes de cerdo, la distribución de agua está relacionada con las proteínas musculares y el contenido de grasa. El espesor de los filetes representa un factor crítico porque determina la distancia que debe recorrer la humedad durante el proceso de difusión. Los resultados experimentales muestran que el mango maduro puede presentar una elevada velocidad inicial de eliminación de humedad. Sin embargo, el rendimiento global del proceso no debe evaluarse únicamente mediante la pérdida inicial de agua, sino considerando el comportamiento completo durante el periodo de secado.

#### **Índice de Performance del Secador**

El Índice de Performance del Secador permite evaluar comparativamente la respuesta del sistema durante el tratamiento de diferentes productos. Este enfoque utiliza información relacionada con la disminución de masa y la evolución temporal del proceso para generar un indicador representativo del desempeño. Una de las principales ventajas del IPS consiste en que permite comparar ensayos realizados con productos que tienen contenidos iniciales de humedad diferentes. Mediante la utilización de variables normalizadas se disminuye la influencia de ciertas diferencias iniciales y se obtiene una base común de análisis. Los valores elevados del índice se asocian con una capacidad favorable del secador para reducir el contenido de humedad. Cuando los resultados se sitúan alrededor o por encima de determinados valores de referencia, puede interpretarse que el sistema mantiene un comportamiento adecuado para el producto evaluado. El cerdo presentó un IPS aproximado de 1,4242, constituyendo el valor más elevado entre los productos

considerados. El mango maduro registró aproximadamente 1,1693 y el mango verde alrededor de 1,0844. En ambos casos, los valores reflejan un comportamiento favorable dentro del sistema. La yuca presentó un IPS global aproximado de 0,8437, valor inferior al observado en los otros productos. Esta diferencia sugiere que las condiciones utilizadas durante su secado fueron menos favorables y que podrían requerirse ajustes en la configuración del sistema. El IPS, por tanto, no solamente permite comparar productos, sino también identificar áreas donde pueden introducirse mejoras técnicas. Modificaciones en el tamaño de las muestras, la posición de las bandejas o la velocidad del flujo pueden incrementar el rendimiento cuando los valores obtenidos son relativamente bajos.

#### **Influencia de la distribución de las bandejas**

La ubicación de los productos dentro del secador puede producir variaciones significativas en el proceso debido a que la temperatura y la circulación del aire no siempre son uniformes en toda la cámara. Las zonas cercanas a la entrada, al colector o a la chimenea pueden presentar condiciones térmicas diferentes. Una bandeja ubicada en una región donde existe mayor velocidad de aire puede favorecer una eliminación más rápida del vapor generado en la superficie del producto. Por el contrario, una zona de baja circulación puede provocar acumulación de humedad y disminuir la eficiencia del secado. La presencia de varias bandejas también puede generar resistencia al flujo. Cuando el aire atraviesa sucesivamente diferentes niveles, pierde parte de su capacidad para absorber humedad y puede experimentar variaciones en su temperatura. En determinados productos, estas diferencias pueden ser relativamente pequeñas. Sin embargo, en materiales con una mayor resistencia interna a la transferencia de humedad, pequeñas variaciones en la circulación de aire pueden producir diferencias importantes en el resultado final. El comportamiento observado en la yuca permite considerar que la posición de las bandejas influyó en el rendimiento global. Una de las posiciones mostró un comportamiento menos favorable, contribuyendo a que el IPS general permaneciera por debajo del obtenido para los otros productos. Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de realizar estudios de distribución térmica y aerodinámica dentro del secador. Una distribución uniforme del aire puede contribuir a reducir diferencias entre bandejas y producir alimentos con contenidos de humedad más homogéneos.

#### **Comparación del comportamiento de cerdo, yuca y mango**

La comparación entre los cuatro grupos de productos muestra que las características físicas y químicas influyen directamente en la respuesta al secado solar. Cada alimento presenta una estructura particular que determina la forma en que el agua se encuentra retenida y la velocidad con la que puede ser eliminada. El mango maduro destaca por presentar una mayor pérdida inicial de humedad. Esta característica puede relacionarse con su elevado contenido de agua y con los cambios estructurales que ocurren durante el proceso de maduración. El mango verde muestra una tasa inicial menor, aunque mantiene un comportamiento favorable durante el proceso. La diferencia entre mango verde y maduro evidencia la importancia del estado fisiológico del alimento al momento de ser sometido al secado. El cerdo, aunque no presenta la mayor razón inicial de evaporación, alcanza el mayor valor del IPS global. Esto indica que el proceso completo resultó favorable y demuestra que una alta velocidad inicial de secado no necesariamente implica el mejor desempeño total. La yuca registra el rendimiento global más bajo entre los productos considerados. Su contenido de almidón, su estructura celular y la resistencia al movimiento interno del agua pueden contribuir a prolongar el proceso de deshidratación. La comparación confirma que los sistemas solares deben adaptarse a las características de los alimentos. El mismo diseño puede funcionar de manera eficiente para ciertos productos y requerir ajustes cuando se aplica a otros con propiedades diferentes.

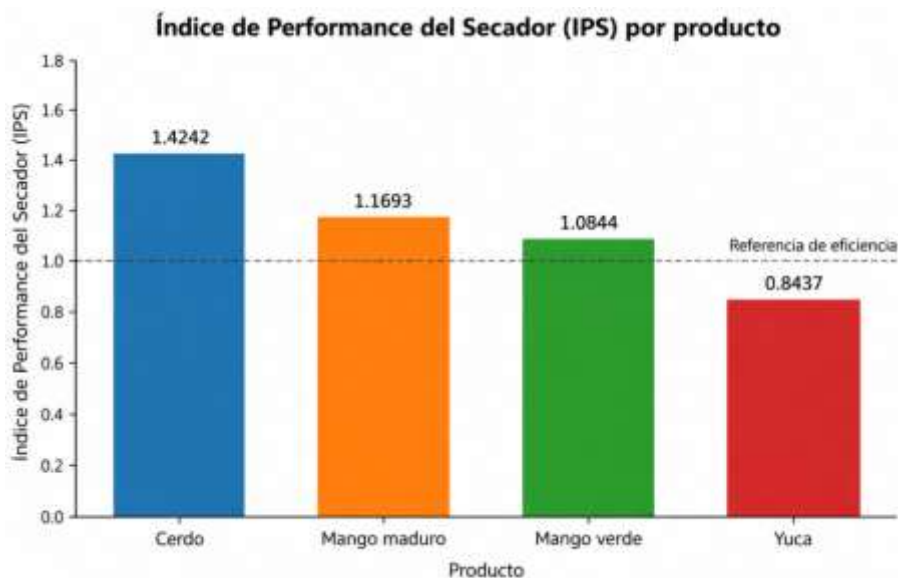
#### **Aplicaciones del secado solar en la Costa Caribe Colombiana**

La Costa Caribe Colombiana posee condiciones climáticas que pueden favorecer la utilización de secadores solares. La disponibilidad de radiación durante buena parte del año proporciona una fuente energética que puede ser aprovechada por agricultores, pequeñas empresas y comunidades locales. El secado de productos agrícolas puede contribuir a disminuir pérdidas poscosecha. Frutas como el mango presentan periodos de alta producción durante los cuales una parte considerable puede deteriorarse si no existe suficiente capacidad de conservación o comercialización inmediata. La transformación mediante secado permite reducir el peso y el volumen de los productos, lo cual puede facilitar su almacenamiento y transporte. Además, la producción de alimentos deshidratados puede representar una oportunidad para desarrollar productos con mayor valor agregado. En el caso de la yuca, el secado puede facilitar la producción de materias primas destinadas a harina, almidones o productos procesados. La reducción de humedad disminuye el riesgo de deterioro y amplía las posibilidades de almacenamiento. Para productos cárnicos, la aplicación de técnicas de secado requiere un control adecuado de las condiciones higiénicas y térmicas. El sistema debe asegurar que la reducción de humedad se produzca de forma suficientemente rápida para evitar riesgos microbiológicos. En conjunto, la aplicación del secado solar puede contribuir a mejorar la sostenibilidad de los sistemas productivos regionales. Su integración con buenas prácticas de procesamiento puede disminuir el consumo energético y favorecer el aprovechamiento de recursos renovables.

#### **Optimización y perspectivas de mejora del secador**

Los resultados obtenidos permiten identificar diferentes posibilidades para mejorar el funcionamiento del secador. Una

primera estrategia consiste en optimizar la geometría de la chimenea con el objetivo de incrementar el efecto de tiro natural y mantener una circulación más uniforme. También puede evaluarse el diseño de la entrada de aire. Un área demasiado pequeña puede restringir el flujo, mientras que una apertura excesiva puede reducir la temperatura interna. El dimensionamiento debe garantizar un equilibrio entre calentamiento y ventilación. Incorporación de superficies absorbentes dentro del colector puede aumentar la captación de radiación solar. Materiales con elevada absorción y baja reflectancia permiten transformar una mayor proporción de la energía incidente en calor. El espesor de las muestras constituye otra variable esencial. Rodajas más delgadas presentan una menor distancia para la difusión de la humedad, lo que normalmente reduce el tiempo de secado. Sin embargo, deben conservarse dimensiones apropiadas para mantener la calidad del producto. El seguimiento de la temperatura, la humedad relativa, la radiación y la velocidad del aire puede proporcionar información valiosa para realizar ajustes de diseño. La incorporación de sensores de bajo costo permitiría obtener registros continuos durante los ensayos. Finalmente, la comparación de los valores de IPS en diferentes configuraciones puede utilizarse como herramienta de optimización. El objetivo sería identificar aquellas condiciones que permitan alcanzar índices elevados de manera uniforme para todos los productos y posiciones dentro del secador.



### Summery

El secado solar mediante convección natural constituye una alternativa viable para la conservación de productos característicos de la Costa Caribe Colombiana. La disponibilidad de radiación solar y las temperaturas ambientales de la región proporcionan condiciones favorables para el desarrollo de sistemas capaces de reducir el contenido de humedad de alimentos sin utilizar grandes cantidades de energía convencional. El análisis realizado mediante el Índice de Performance del Secador permite evaluar la respuesta del sistema frente a productos con características diferentes. La metodología proporciona una forma de comparar el comportamiento global de los procesos y detectar diferencias asociadas tanto al producto como a la configuración del equipo. Los resultados muestran que el cerdo presentó el mayor IPS global, con un valor aproximado de 1,4242. El mango maduro alcanzó aproximadamente 1,1693 y el mango verde 1,0844. Estos valores indican que el secador tuvo un comportamiento favorable durante el tratamiento de estos productos. La yuca presentó un IPS global de aproximadamente 0,8437, siendo el valor más bajo del conjunto analizado. Este resultado sugiere que para este producto puede resultar conveniente optimizar algunos parámetros, especialmente la circulación del aire, la posición de las bandejas, el espesor de las rodajas y la carga utilizada. El estudio también demuestra que la velocidad inicial de evaporación no debe utilizarse como único indicador del rendimiento. Aunque el mango maduro mostró una elevada pérdida inicial de humedad, el mayor IPS global correspondió al cerdo. Esto confirma la importancia de considerar toda la evolución del proceso. El diseño de secadores solares de convección natural debe garantizar una distribución uniforme del aire y condiciones térmicas adecuadas en cada bandeja. La incorporación de una chimenea contribuye a generar el flujo necesario para retirar el vapor de agua y mantener el gradiente requerido para continuar el proceso. La aplicación de este tipo de tecnología puede contribuir a disminuir las pérdidas de alimentos, aumentar su vida útil y mejorar las posibilidades de procesamiento local. Para la Costa Caribe Colombiana, el aprovechamiento de la energía solar representa además una oportunidad para implementar sistemas productivos más sostenibles. En términos generales, el Índice de Performance del Secador constituye una

metodología útil para el estudio y optimización de sistemas solares. Su aplicación puede ampliarse a otros productos agrícolas y alimentarios, permitiendo comparar diseños y establecer configuraciones adaptadas a las necesidades específicas de cada proceso.

## **References**

- Belessiotis, V., & Delyannis, E. (2011). Solar drying. *Solar Energy*, 85(8), 1665–1691.
- Camaño, J. A., Rivera, A. M., & Zapata, J. E. (2020). Efecto del espesor de película y de la ubicación de la muestra en un secador solar directo sobre la cinética de secado de ensilado de vísceras de tilapia roja. *Información Tecnológica*, 31(1), 53–66.
- Corvalán, R., Román, R., & Saravia, L. (1995). Ingeniería del secado solar. CYTED-D.
- Dincer, I., & Dost, S. (1996). A modelling study for moisture diffusivities and moisture transfer coefficients in drying of solid objects. *International Journal of Energy Research*, 20, 531–539.
- Ekechukwu, O. V. (1999). Review of solar-energy drying systems I: An overview of drying principles and theory. *Energy Conversion and Management*, 40(6), 593–613.
- Ekechukwu, O. V., & Norton, B. (1999). Review of solar-energy drying systems II: An overview of solar drying technology. *Energy Conversion and Management*, 40(6), 615–655.
- Ekechukwu, O. V., & Norton, B. (1999). Review of solar-energy drying systems III: Low temperature air-heating solar collectors for crop drying applications. *Energy Conversion and Management*, 40(6), 657–667.
- Leon, M. A., Kumar, S., & Bhattacharya, S. C. (2002). A comprehensive procedure for performance evaluation of solar food dryers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6, 367–393.
- Mealla Sánchez, L. E. (2012). Conclusiones respecto al rendimiento del secadero tipo invernadero de simple y doble cámara según dos metodologías de comparación. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 16, 03-47–03-54.
- Mujumdar, A. S. (1987). *Handbook of Industrial Drying*. Marcel Dekker.
- Singh, S., & Kumar, S. (2012). New approach for thermal testing of solar dryer: Development of generalized drying characteristic curve. *Solar Energy*, 86, 1981–1991.
- Villalba Vidales, J. A., & Arzola de la Peña, N. (2015). Modelos matemáticos y experimentales sobre el secado de biomasa. *Ingeniería y Desarrollo*, 33(2), 301–330.