





ARTÍCULO ORIGINAL

IMPORTANCIA DEL CFD EN EL DISEÑO DE DESHIDRATADORES SOLARES EFICIENTES Y SOSTENIBLES PARA FRUTAS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

IMPORTANCE OF CFD IN THE DESIGN OF EFFICIENT AND SUSTAINABLE SOLAR DEHYDRATORS FOR FRUITS: A SYSTEMATIC REVIEW

Paucarchuco, Soto Joselin ¹ Montalvo Morales, Kenny Ruben ² Paucar Vega, Sharol Yasayda ³
Mendez Chocce, Daniel Omar ⁴

¹ Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma, Tarma, Perú.

Para citar este artículo:

Paucarchuco, J., Montalvo, K., Paucar, S., & Mendez, D. (2023). Importancia del CFD en el diseño de deshidratadores solares eficientes y sostenibles para frutas: Una versión sistemática. *Advances in Science and Innovación*, 2 (1).

RESUMEN

Entre los mecanismos de conservación poscosecha, los secadores solares se reportan como sistemas de conservación sostenibles y adecuados para las frutas. Este artículo resume los avances, oportunidades y desafíos recientes en el secado solar de frutas. Además, la revisión analiza los modelos matemáticos comúnmente utilizados para la evaluación, diseño y optimización de secadores solares. Para la revisión sistemática, se empleó las bases de datos (Scopus, Scielo y Science Direct), siguiendo la directriz PRISMA, el cual ayudo a realizar el análisis bibliométrico y a identificar los artículos más relevantes de los últimos 5 años (25 artículos analizados). También se empleó el software Vosviewer para poder visualizar conexiones y mapas de conocimiento científico.

Llegando a destacar la importancia de las condiciones de simulación, características del modelamiento matemático y materiales de construcción en el diseño de deshidratadores solares más eficientes y sustentables. Además, se mencionan algunos resultados específicos, como la eficiencia térmica de un deshidratador solar indirecto y valores óptimos de la temperatura y humedad en un modelo predictivo. También se han producido inmensos resultados de investigación utilizando CFD basado en la transferencia de masa y calor a nivel micro. El modelado CFD a nivel micro indica que el modelado y las simulaciones se realizaron a nivel de frutas, sin considerar el rendimiento del secador solar. Sin embargo, el rendimiento de un secador solar tiene un efecto enorme en la velocidad y la cinética del secado y, en consecuencia, determina la calidad del producto.

Palabras Claves: *Dinámica de fluidos computacional; Deshidratador solar; Parámetros óptimos; Eficiente; Sostenible.*

ABSTRACT

Among the postharvest conservation mechanisms, solar dryers are reported as sustainable and appropriate

conservation systems for fruits. This article summarizes recent advances, opportunities and challenges in solar fruit drying. Furthermore, the review analyzes the mathematical models commonly used for the evaluation, design and optimization of solar dryers. For the systematic review, databases (Scopus, Scielo and Science Direct) were used, following the PRISMA guideline, which helped carry out the bibliometric analysis and identify the most relevant articles from the last 5 years (25 articles analyzed). Vosviewer software was also used to visualize connections and maps of scientific knowledge.

Highlighting the importance of simulation conditions, characteristics of mathematical modeling and construction materials in the design of more efficient and sustainable solar dehydrators. In addition, some specific results are mentioned, such as the thermal efficiency of an indirect solar dehydrator and optimal values of temperature and humidity in a predictive model. Immense research results have also been produced using CFD based on heat and mass transfer at the micro level. Micro-level CFD modeling indicates that modeling and simulations were performed at the fruit level, without considering the performance of the solar dryer. However, the performance of a solar dryer has a huge effect on the speed and kinetics of drying and consequently determines the quality of the product.

Keywords: *Computational Fluid Dynamics; solar dehydrator; Optimal parameters; Efficient; Sustainable.*

INTRODUCCIÓN

En esta revisión sistemática se analizó la implementación de la Dinámica de fluidos computacional (CFD) en el análisis de rendimiento de deshidratadores solares para frutas (Getahun et al., 2021). Considerando que el deshidratado solar es la opción más adecuada para conservar frutas por mucho tiempo y reducir las pérdidas poscosecha, aumentar la vida útil, preservar sus atributos de calidad, reducir el peso y costo de transporte (Ahmadi et al., 2023).

La energía solar es una fuente de energía muy atractiva, sostenible y renovable en comparación con otros combustibles fósiles que contaminan el medio ambiente (Samimi Akhijahani et al., 2023). Una de las ventajas del secado solar es que ofrece técnicas de conservación altamente efectivas y eficientes para reducir las pérdidas poscosecha, la calidad del producto y equilibrar la escasez de oferta durante la temporada de no producción (Jahromi et al., 2022). También es una energía alternativa más conveniente para las sociedades rurales que viven lejos de la red eléctrica. Estudios realizados sobre secado solar han demostrado que es una buena alternativa de suministro de energía en tecnologías de secado solar para la producción de productos secos de alta calidad (Mirzaee et al., 2023).

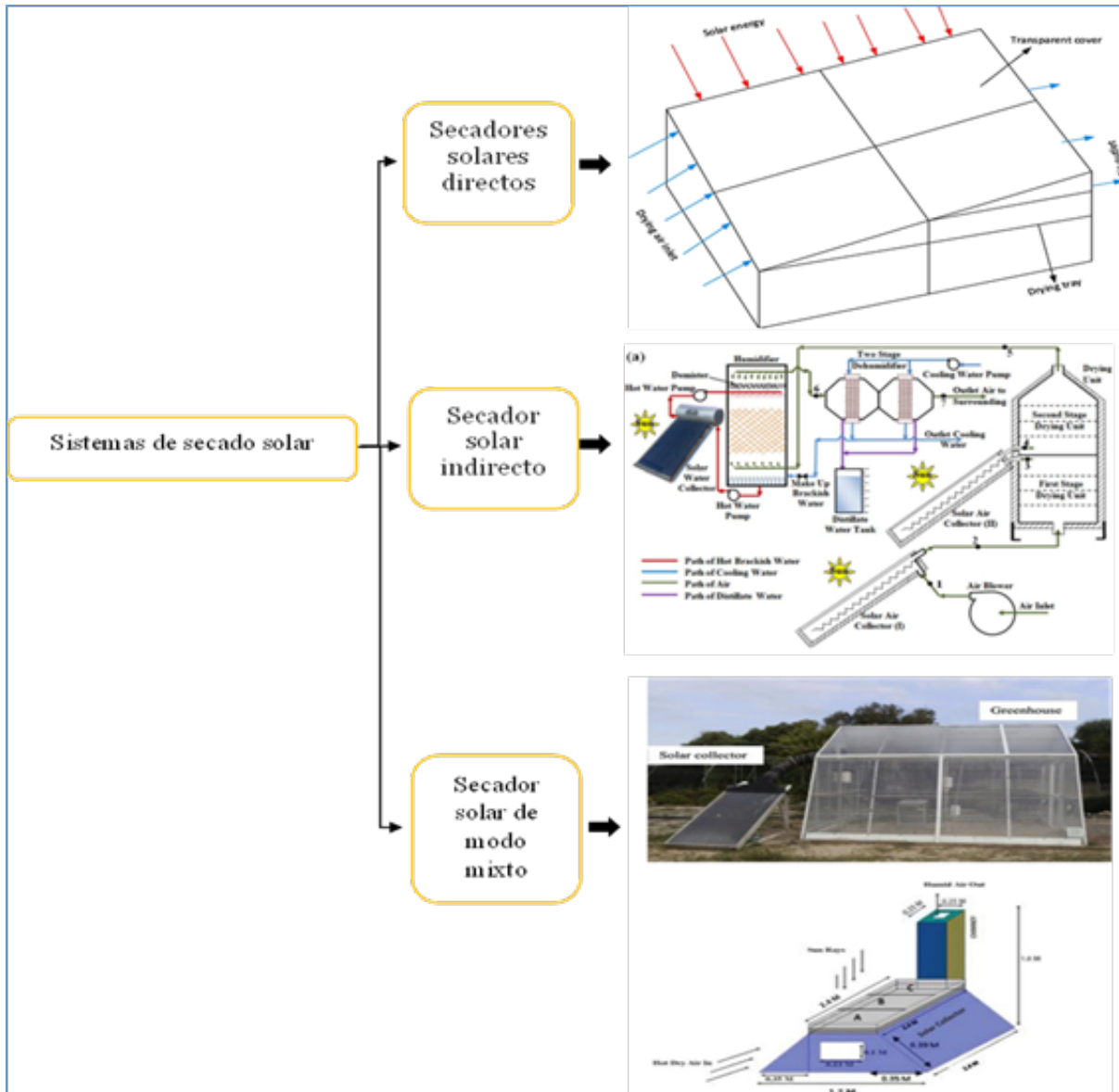
La mayoría de los países en desarrollo utilizan el método tradicionalmente conocido de secado al aire libre para secar los cultivos. El secado al sol al aire libre es el método más barato y sencillo de secar productos agrícolas como verduras, frutas, cereales, tabaco, madera, etc., extendiéndolos en el suelo y mezclándolos regularmente hasta que estén suficientemente deshidratados (Barghi Jahromi et al., 2022). Sin embargo, aunque el secado al sol al aire libre requiere poco capital y mano de obra, tiene una enorme limitación en la calidad de los productos (Alimohammadi et al., 2020). Las limitaciones del secado al aire libre son que requiere largos períodos de secado y un gran espacio de secado, deterioro de la calidad por sobrecalentamiento, condiciones climáticas hostiles, contaminación de las frutas por materiales extraños e infestación por roedores, insectos, aves y otros animales. Además, el secado al sol al aire libre puede provocar cambios estructurales y físicos en el producto, como contracción, endurecimiento, pérdida de nutrientes y componentes volátiles y menor reabsorción de agua durante la rehidratación (Lad et al., 2023). Debido a estas limitaciones, la pérdida total de vitamina C y betacaroteno de frutas y verduras aumenta significativamente cuando se secan al sol. Para superar la limitación del secado al aire libre, es muy esencial la mejora y el uso de se-

cadores solares bien diseñados y controlados. Sin embargo, durante el secado solar, algunas propiedades importantes de las frutas como sabor, textura, color, pungencia y nutrientes suelen cambiar (Srivastava et al., 2021). Diferentes informes indicaron que los parámetros

de secado solar como la humedad, la velocidad del aire, la temperatura, la porosidad aparente y la actividad del agua tienen un impacto significativo en la calidad de los productos (Sharshir et al., 2023).

Figura 1

Tipos de sistemas de secado solar



Por lo descrito, la presente revisión tiene por objetivo analizar la aplicación de la dinámica de fluidos computacional CFD en la evaluación de desempeño de deshidratadores solares para frutas.

METODOLOGÍA

Tipo de investigación

El presente estudio está sustentado en la de-

claración PRISMA, cuya orientación se enfoca en la búsqueda de información acerca del impacto del CFD en el diseño de deshidratadores solares eficientes y sostenibles para frutas. Las principales fuentes y bases de datos consideradas en la revisión sistemática fueron (Scopus, Scielo y Science Direct). Para realizar la búsqueda de información se empleó la siguiente ecuación:

“Computational fluid dynamics AND Solar dehydrator) OR (Optimal parameters AND Efficient AND Sustainable) OR (Dehydrated fruits)”

Figura 2
Metodología de investigación y selección de artículos



Criterios de inclusión

Se realizó una búsqueda avanzada empleando las palabras claves en el idioma inglés en 3 bases de datos. Se incluyeron artículos científicos publicados en español, inglés y portugués, considerando el criterio de no menos de 5 años de publicación.

Criterios de exclusión

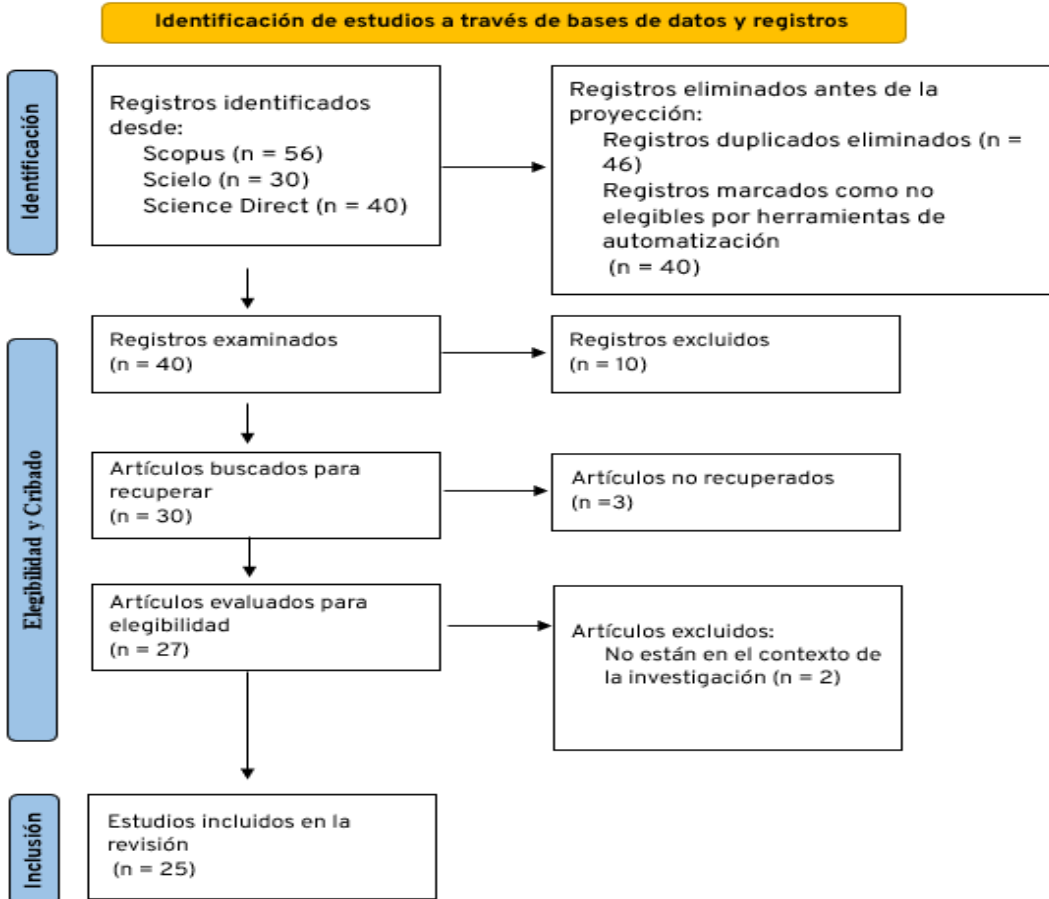
Se excluyeron los artículos cuyo contenido no

contribuía al objetivo de estudio, como aquellos que hicieran referencia a temas Astronómicos, Biotecnología médica y temas de econometría.

Método de Análisis

Para reportar las diferentes etapas del proceso de la revisión sistemática, se utilizó la metodología PRISMA, el que consistió en una lista de comprobación y un diagrama de flujo.

Figura 3
Proceso de selección de estudios



Análisis cualitativo y extracción de datos

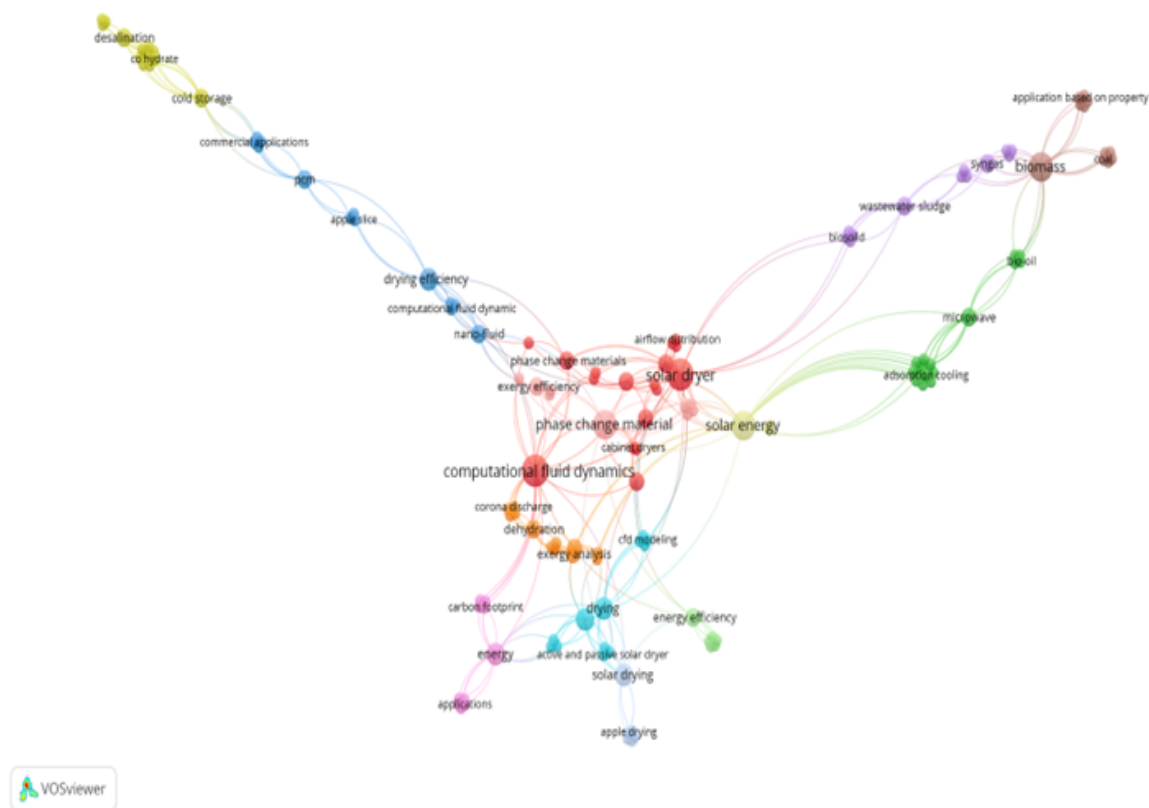
La ecuación de búsqueda permitió encontrar un total de 126 documentos. Una vez identificadas todas las publicaciones, se realizó una preselección considerando el tema impacto del CFD en el diseño de deshidratadores solares eficientes y sostenibles para frutas. Todos los resultados de búsqueda se exportaron en formato “CSV” y se subieron al programa

VosViewer, el cual permitió realizar el análisis bibliométrico.

El análisis por palabras clave permitió establecer las áreas temáticas de las investigaciones (Figura 4). Con ello fue posible identificar las características más relevantes del CFD en el diseño de deshidratadores solares.

Figura 4

Visualización de red por palabras claves



Hallazgos

Existen en total tres tipos de deshidratadores solares: directo, indirecto y de modo solar mixto, siendo este último capaz de tener diseños y modelos variables para distintas funciones. Con respecto a las formas de secado existen dos: natural y forzada, siendo el primero útil para producción menor o familiar de frutas, mientras que la segunda forma destaca en grandes producciones (Getahun et al., 2021).

Al momento de evaluar sobre cuál de los tipos de deshidratador solar es el más adecuado y

eficiente para el mercado, se debe tomar en cuenta las variables ambientales que determinan estos resultados (humedad relativa, la temperatura, velocidad del aire, radiación solar, contenido de humedad inicial, el tipo y la masa del producto y los materiales para el almacenamiento de la energía térmica) (Bhaskara Rao & Murugan, 2021).

Diferentes modelos matemáticos para el secado de frutas

El secado en capa fina se define como el secado de una partícula de muestra de una capa

o rodajas. Debido a su estructura delgada, se puede asumir fácilmente que la distribución de temperatura es uniforme en todo el pro-

ducto, lo que es muy adecuado para modelos de transferencia de calor concentrado.

Tabla 1

Modelos matemáticos para el secado de frutas

Ecuación modelo	Nombre del modelo	Referencia
$MR = \exp(-kt)$	Newton	(Liu & Bakker-Arkema, 1997)
$MR = \exp(-kt^n)$	Page	(Zhang & Litchfield, 1991)
$MR = \alpha \exp(-kt)$	Henderson and Pabis	(Koua et al., 2009)
$MR = \alpha \exp(-kt) + c$	Logarithmic	(Rayaguru & Routray, 2012)
$MR = 1 + \alpha * t + b + t^2$	Wang and Singh	(Omolola et al., 2014)
$MR = \alpha \exp(-kt^n) + b * t$	Midilli and Kucuk	(Tunde-Akintunde, 2011)

Nota. Los modelos empíricos, semiteóricos y teóricos se pueden utilizar comúnmente en el secado en capa fina.

Dinámica de fluidos computacionales

En esta parte se revisaron y analizaron exhaustivamente la cinética de secado y el modelado CFD. Se revisaron y discutieron diferentes modos de secado en capa fina con respecto a sus ventajas y desventajas en la mayoría de los procesos de secado de frutas (Romero et al., 2014a).

Balance energético general del deshidratador solar plano de aire:

$$\frac{1}{A_c} \left(\frac{dU_T}{dt} \right)_{v.c.} = \dot{Q}_{NETO} + \dot{m}_{aire}(h_s - h_e)$$

Donde:

A_c : Área del calentador

U_T : Energía interna total en el calentador solar plano de aire

Para estimar el flujo másico de agua evaporada y la velocidad de deshidratado, se utilizan:

$$\dot{m}_{aguaevaporada} = R * Area_{CAMARA}$$

$$R = \begin{cases} f_1(w) = h_D * (W_s - W_{e2}); HumedadInicial < w < HumedadCrítica \\ f_2(w) = R_2 + \frac{(w - w_2)}{(w_2 - w_2)} * (R_2 - R_3); HumedadCrítica < w < 1^{er} PeriodoDecreciente \\ f_3(w) = \frac{(w - w_{equilibriofinal})}{(w_3 - w_{equilibriofinal})} * R_3; 1^{er} PeriodoDecreciente < w < HumedadFinal \end{cases}$$

Donde:

h_D : Coeficiente de transporte de masa

w : Contenido de humedad del sólido húmedo

w_{e2} : Humedad específica del aire entre la entrada y la salida de la cámara de deshidratado

Balance energético general del almacenador térmico

$$\frac{1}{A_{aim}} \left(\frac{dU_{T2}}{dt} \right)_{v.c.} = \dot{Q}_{NETOaim} + \dot{m}_{aire}(h_{s2} - h_{e2})$$

Donde:

A_{aim} : Área del almacenador térmico

U_{T2} : Energía interna total en el almacenador térmico

Para el volumen de control sobre el aire en el almacenador térmico

$$\dot{Q}_{NETOaireaim} = \dot{m}_{aireaim}(h_{e2} - h_{s2})$$

Balance energético general de la cámara de deshidratado

Para el proceso total de secado se emplea la siguiente relación que considera la transferencia de masa y la transferencia de calor, por convección y por radiación:

$$R * h_{fg,w} = h_{conv}(\bar{T}_{e,s} - T_w) + h_{rad}(\bar{T}_{e,s} - T_{pp}) + I_H * \tau_p$$

Aplicación de CFD en diversos secadores solares de frutas

En la Tabla 2 se resumen en detalle diferentes secadores solares de frutas que aplicaron modelos y simulaciones CFD.

Tabla 2

Estudios previos que aplican el modelado CFD en el análisis y evaluación de secadores solares para productos hortofrutícolas.

Tipo de secador solar	Tipo de producto	Software de CFD	Criterios de estudio	Enfoque de medios porosos	modelo de turbulencia	modelo de radiación	Tipo de malla	Recomendaciones	Referencia
Gabinete	Vainilla	ANSYS-FLUIDO	Distribución de temperatura, humedad y humedad relativa.	No	Flujo transitorio y laminar	-	-	62% de reducción de la humedad en 1 mes	(Romero et al., 2014b)
Gabinete	-	ANSYS-FLUIDO	Distribución de la velocidad del aire y la temperatura.	No	Modelo RNG k-ε	Modelo de radiación P-1	Malla triple/no estructurada	Temperatura y velocidad no uniformes, temperatura máxima = 46 °C, velocidad máxima = 0,26 m/s	(Yunus & Al-Kayiem, 2013)
Gabinete	Maíz	ANSYS-FLUIDO	Distribución de temperatura, velocidad del aire, humedad y humedad relativa.	Sí	Modelo RNG k-ε	Modelo de dos bandas	Malla independiente	Resultado de la simulación similar al experimental con cierta sobrepredicción de temperatura (8,5%), Rh (21,4%)	(Sanghi et al., 2018)
Gabinete	Uva	C++	Distribución de temperatura, velocidad del aire y humedad relativa.	Sí	modelo k-ε	-	Tetraédrico no uniforme	Tiempo de secado = 7 días sin deflector y 2,5 días con, $T_{max} = 68$ °C, velocidad uniforme con $V_{max} = 0,126$ m/s, humedad del producto reducida del 82% al 18%	(Ghaffari & Mehdipour, 2015)
Secadora de modo mixto	-	ANSYS-FLUIDO	Distribución de temperatura y velocidad del aire.	No	modelo k-ε	Tipo de transferencia discreta (DTRM)	rectangular estructurado	Velocidad y temperatura uniformes con $V_{max} = 3,9$ m/s y $T_{max} = 66,85$ °C.	(Alqadhi et al., 2017)
Invernadero	Patata, hojuelas de tomate	ANSYS-FLUIDO	Distribución de temperatura y Rh.	No	modelo k-ε	-	Hexaédrico no estructurado	Temperatura variable con $T_{max} = 57$ °C.	(Purusothaman & Valarmathi, 2019)
Gabinete con PCM	rodaja de manzana	ANSYS-FLUIDO	Distribución de temperatura y velocidad del aire.	seudo	modelo k-ε	-	Hexaédrico y tetraédrico	Eficiencia de secado = 39,9%, $T_{max} = 69$ °C, caudal másico = 0,025 kg/s, con cierta uniformidad, energía térmica aumentó 1,72% con PCM, tiempo de secado con PCM = 810 a 870 min, sin PCM = 900 a 960 min.	(Iranmanesh et al., 2020)

Retos actuales y futuros

La tecnología de secado desempeña un papel importante en la conservación de frutas y hortalizas y en la minimización de las pérdidas poscosecha en los países en desarrollo. Las frutas y verduras son fuentes importantes de carbohidratos digeribles, minerales, antioxidantes, fibra y vitaminas, y son una buena fuente de ingresos para los agricultores y su país (Sanghi et al., 2018). Sin embargo, las frutas y verduras son muy perecederas y necesitan mecanismos de conservación adecuados para prolongar su almacenamiento y vida útil. Se ha informado que las pérdidas poscosecha de frutas y verduras en los países en desarrollo llegan al 40%. Una de las técnicas de conservación recomendadas es el secado solar de los productos (Alimohammadi et al., 2020).

Para aprovechar al máximo la operación de secado solar, es esencial mejorar las condiciones de secado, el diseño del secador y la calidad del producto. En este estudio, se revisó el progreso actual del secado solar de frutas, centrándose en la velocidad de secado, el tiempo de secado, los atributos de calidad y el enfoque de modelado CFD para obtener una comprensión clara del diseño y el rendimiento de los secadores solares de frutas (Iranmanesh et al., 2020).

La técnica de modelado CFD es la mejor opción para obtener detalles espaciales y temporales del flujo de aire, humedad relativa, temperatura y distribuciones de humedad del secador solar (Ahmadi et al., 2023). El secado en poco tiempo, la velocidad uniforme del aire de secado y la distribución de la temperatura en la cámara de secado son los parámetros críticos en el proceso de secado solar. Para lograr esta uniformidad, el modelado CFD jugó un papel importante y puede usarse para seleccionar las condiciones óptimas de secado y el diseño del secador. Para seleccionar las condiciones óptimas de secado solar y el procedimiento de operación, el modelado CFD podría integrar la calidad del producto con las propiedades de flujo de aire, masa y transferencia de calor de las operaciones de secado solar (Srivastava et al., 2021).

CONCLUSIÓN

Esta revisión indicó que existían extensos estudios de simulación y modelado CFD en frutas utilizando métodos convencionales. Sin embargo, hubo resultados limitados de investigación sobre el modelado CFD y la simulación de secadores solares en términos de fenómenos de transporte hidrodinámico y térmico que explican explícitamente el rendimiento del secado solar en términos de la calidad de los alimentos secos. Por lo tanto, el modelado y simulación CFD del secador solar es una de las áreas de investigación futuras, específicamente en el desarrollo de un modelo que sea capaz de predecir la calidad del producto en relación con las condiciones de secado, como el flujo de aire, el calor y las características de transferencia de masa del secador solar.

Finalmente, el proceso de simulación, por medio del módulo Fluent de ANSYS, ofrece la posibilidad de calcular los valores de radiación solar según las coordenadas de ubicación, fecha y hora, brindando a si valores cercanos a temperaturas determinadas de acuerdo al ambiente seleccionado.

REFERENCIAS

- Ahmadi, M., Samimi-Akhijahani, H., & Salami, P. (2023). Thermo-economic and drying kinetic analysis of Oleaster using a solar dryer integrated with phase change materials and recirculation system. *Journal of Energy Storage*, 68, 107351. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.107351>
- Alimohammadi, Z., Samimi Akhijahani, H., & Salami, P. (2020). Thermal analysis of a solar dryer equipped with PTSC and PCM using experimental and numerical methods. *Solar Energy*, 201, 157-177. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.02.079>
- Alqadhi, A., Misha, S., Mohd Rosli, M. A., & Akop, M. Z. (2017). Design and simulation of an optimized mixed mode solar dryer integrated with desiccant material. *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering*, 17.

Barghi Jahromi, M. S., Kalantar, V., Samimi Akhijah-

- ani, H., & Kargarsharifabad, H. (2022). Recent progress on solar cabinet dryers for agricultural products equipped with energy storage using phase change materials. *Journal of Energy Storage*, *51*, 104434. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104434>
- Bhaskara Rao, T. S. S., & Murugan, S. (2021). Solar drying of medicinal herbs: A review. *Solar Energy*, *223*, 415-436. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.05.065>
- Getahun, E., Delele, M. A., Gabbiye, N., Fanta, S. W., Demissie, P., & Vanierschot, M. (2021). Importance of integrated CFD and product quality modeling of solar dryers for fruits and vegetables: A review. *Solar Energy*, *220*, 88-110. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.03.049>
- Ghaffari, A., & Mehdipour, R. (2015). Modeling and Improving the Performance of Cabinet Solar Dryer Using Computational Fluid Dynamics. *International Journal of Food Engineering*, *11*(2), 157-172. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2014-0266>
- Iranmanesh, M., Samimi Akhijahani, H., & Barghi Jahromi, M. S. (2020). CFD modeling and evaluation the performance of a solar cabinet dryer equipped with evacuated tube solar collector and thermal storage system. *Renewable Energy*, *145*, 1192-1213. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.038>
- Jahromi, M. S. B., Iranmanesh, M., & Akhijahani, H. S. (2022). Thermo-economic analysis of solar drying of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) integrated with evacuated tube solar collector and phase change material. *Journal of Energy Storage*, *52*, 104688. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104688>
- Koua, K. B., Fassinou, W. F., Gbaha, P., & Toure, S. (2009). Mathematical modelling of the thin layer solar drying of banana, mango and cassava. *Energy*, *34*(10), 1594-1602. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.07.005>
- Lad, P., Kumar, R., Saxena, R., & Patel, J. (2023). Numerical investigation of phase change material assisted indirect solar dryer for food quality preservation. *International Journal of Thermofluids*, *18*, 100305. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100305>
- Liu, Q., & Bakker-Arkema, F. W. (1997). Stochastic modelling of grain drying: Part 2. Model development. *Journal of Agricultural and Engineering Research*, *66*(4), 275-280. Scopus. <https://doi.org/10.1006/jaer.1996.0145>
- Mirzaee, P., Salami, P., Samimi Akhijahani, H., & Zareei, S. (2023). Life cycle assessment, energy and exergy analysis in an indirect cabinet solar dryer equipped with phase change materials. *Journal of Energy Storage*, *61*, 106760. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.106760>
- Omolola, A. O., Jideani, A. I. O., & Kapila, P. F. (2014). Modeling microwave drying kinetics and moisture diffusivity of mabonde banana variety. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, *7*(6), 107-113. Scopus. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20140706.013>
- Purusothaman, M., & Valarmathi, T. N. (2019). Computational fluid dynamics analysis of greenhouse solar dryer. *International Journal of Ambient Energy*, *40*(8), 894-900. <https://doi.org/10.1080/01430750.2018.1437567>
- Rayaguru, K., & Routray, W. (2012). Mathematical modeling of thin layer drying kinetics of stone apple slices. *International Food Research Journal*, *19*(4), 1503-1510. Scopus.
- Romero, V. M., Cerezo, E., Garcia, M. I., & Sanchez, M. H. (2014a). *Simulation and validation of vanilla drying process in an indirect solar dryer prototype using CFD Fluent program*. *57*, 1651-1658. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.156>
- Romero, V. M., Cerezo, E., Garcia, M. I., & Sanchez, M. H. (2014b). Simulation and Validation of Vanilla Drying Process in an Indirect Solar Dryer Prototype Using CFD Fluent Program. *Energy Procedia*, *57*, 1651-1658. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.156>

- Samimi Akhijahani, H., Salami, P., Iranmanesh, M., & Jahromi, M. S. B. (2023). Experimental study on the solar drying of Rhubarb (*Rheum ribes* L.) with parabolic trough collector assisted with air recycling system, nanofluid and energy storage system. *Journal of Energy Storage*, *60*, 106451. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.106451>
- Sanghi, A., Ambrose, R. P. K., & Maier, D. (2018). CFD simulation of corn drying in a natural convection solar dryer. *Drying Technology*, *36*(7), 859-870. <https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1359622>
- Sharshir, S. W., Joseph, A., Peng, G., Kandeal, A. W., Abdullah, A. S., Abdelaziz, G. B., Edreis, E. M. A., & Yuan, Z. (2023). Recent efforts in developing agricultural product drying processes using solar energy. *Solar Energy*, *257*, 137-154. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.04.022>
- Srivastava, A., Anand, A., Shukla, A., Kumar, A., Buddhi, D., & Sharma, A. (2021). A comprehensive overview on solar grapes drying: Modeling, energy, environmental and economic analysis. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *47*, 101513. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101513>
- Tunde-Akintunde, T. Y. (2011). Mathematical modeling of sun and solar drying of chilli pepper. *Renewable Energy*, *36*(8), 2139-2145. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.01.017>
- Yunus, Y. M., & Al-Kayiem, H. H. (2013). Simulation of Hybrid Solar Dryer. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *16*(1), 012143. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/16/1/012143>
- Zhang, Q., & Litchfield, J. B. (1991). An optimization of intermittent corn drying in a laboratory scale thin layer dryer. *Drying Technology*, *9*(2), 383-395. Scopus. <https://doi.org/10.1080/07373939108916672>