



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), noviembre-diciembre 2024,
Volumen 8, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6

Revisión documental sobre Modelos matemáticos y parámetros cinéticos de oxidación del aceite de semillas secas de (Girasol, Chía y Linaza)

Documentary review on mathematical models and kinetic
parameters of oxidation of dry seed oil (Sunflower, Chia and
Linseed)

Luis Alberto Uvidia Armijo

Universidad Estatal Amazónica - Ecuador

Hugo Jhonnatan Bonilla Mena

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Ecuador

Daniel Alejandro Mantilla González

Universidad Estatal Amazónica - Ecuador

Daniel Hernán Millán Ramos

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Ecuador

Revisión documental sobre Modelos matemáticos y parámetros cinéticos de oxidación del aceite de semillas secas de (Girasol, Chía y Linaza)

Luis Alberto Uvidia Armijo¹

la.uvidiaa@uea.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-1967-2494>

Universidad Estatal Amazónica

Puyo - Ecuador

Hugo Jhonnatan Bonilla Mena

bonillahugo100@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0003-5281-4102>

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba - Ecuador

Daniel Alejandro Mantilla González

da.mantillag@uea.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-3310-9980>

Universidad Estatal Amazónica

Puyo - Ecuador

Daniel Hernán Millán Ramos

hernan.millan@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0004-7673-1501>

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba - Ecuador

RESUMEN

La presente investigación busca analizar cómo se modela y evalúa la oxidación lipídica en aceites vegetales ricos en ácidos grasos insaturados. La revisión explora los modelos matemáticos empleados (como Arrhenius o redes neuronales) y parámetros cinéticos clave (velocidad de reacción, energía de activación). Además, destaca su relevancia en predecir estabilidad y optimizar procesos industriales, enfocándose en tendencias como antioxidantes naturales y simulaciones avanzadas para mejorar la vida útil y calidad del aceite. El artículo revisará la literatura sobre los procesos de oxidación en aceites obtenidos de semillas secas, destacando su impacto en la estabilidad y calidad. Analizará los principales modelos matemáticos utilizados para predecir la oxidación, como los modelos cinéticos clásicos (Arrhenius) y enfoques avanzados, como simulaciones computacionales. Además, abordará los parámetros cinéticos clave, como la constante de velocidad y la energía de activación, y cómo influyen factores como la temperatura y la composición lipídica. También explorará aplicaciones industriales y tendencias actuales, como el uso de antioxidantes naturales, proporcionará un análisis exhaustivo sobre los modelos matemáticos y los parámetros cinéticos relacionados con la oxidación de aceites provenientes de semillas secas. Este proceso es fundamental para entender la estabilidad oxidativa y la vida útil de estos aceites, esenciales en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica. Se discutirán modelos como Arrhenius y otros avanzados, además de factores que afectan la cinética, como temperatura y luz. El objetivo es identificar metodologías efectivas, destacar limitaciones y explorar aplicaciones industriales y tendencias actuales para mejorar la conservación y calidad del producto.

Palabras clave: modelación matemática, oxidación, parámetros cinéticos, aceite

¹ Autor principal.

Correspondencia: la.uvidiaa@uea.edu.ec

Documentary review on mathematical models and kinetic parameters of oxidation of dry seed oil (Sunflower, Chia and Linseed)

ABSTRACT

The present research aims to analyze how lipid oxidation is modeled and evaluated in vegetable oils rich in unsaturated fatty acids. The review explores the mathematical models used (such as Arrhenius or neural networks) and key kinetic parameters (reaction rate, activation energy). In addition, it highlights their relevance in predicting stability and optimizing industrial processes, focusing on trends such as natural antioxidants and advanced simulations to improve shelf life and oil quality. The article will review the literature on oxidation processes in oils obtained from dried seeds, highlighting their impact on stability and quality. It will analyze the main mathematical models used to predict oxidation, such as classical kinetic models (Arrhenius) and advanced approaches, such as computational simulations. In addition, it will address key kinetic parameters, such as rate constant and activation energy, and how factors such as temperature and lipid composition influence them. It will also explore industrial applications and current trends, such as the use of natural antioxidants, will provide a comprehensive analysis of the mathematical models and kinetic parameters related to the oxidation of oils from dried seeds. This process is fundamental to understanding the oxidative stability and shelf life of these oils, which are essential in the food, cosmetics and pharmaceutical industries. Models such as Arrhenius and other advanced ones will be discussed, as well as factors affecting kinetics, such as temperature and light. The objective is to identify effective methodologies, highlight limitations and explore industrial applications and current trends to improve product preservation and quality.

Keywords: mathematical modeling, oxidation, kinetic parameters, oils

Artículo recibido 15 noviembre 2024

Aceptado para publicación: 18 diciembre 2024



INTRODUCCIÓN

La oxidación de los aceites provenientes de semillas secas representa un proceso químico fundamental que afecta significativamente su calidad, estabilidad y vida útil (Gómez & Pérez, 2020). Este fenómeno es especialmente relevante en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica, donde los aceites juegan un rol crítico en el desarrollo de productos finales. Durante la oxidación, los lípidos presentes en los aceites reaccionan con el oxígeno, generando compuestos secundarios como aldehídos, cetonas y ácidos, que comprometen no solo el sabor y el aroma, sino también las propiedades nutricionales y funcionales (Martínez et al., 2018).

Para comprender y mitigar estos efectos, la modelización matemática y el análisis de parámetros cinéticos son herramientas esenciales. Los modelos matemáticos permiten predecir la evolución de la oxidación bajo diferentes condiciones, facilitando así el diseño de estrategias de conservación y almacenamiento (López et al., 2021). Por su parte, los parámetros cinéticos, como la constante de velocidad de reacción y la energía de activación, proporcionan información cuantitativa sobre la velocidad y la sensibilidad del proceso oxidativo ante cambios ambientales (Smith & Brown, 2019). En este contexto, los aceites extraídos de semillas secas como girasol, linaza y chía son objeto de particular interés debido a su alto contenido en ácidos grasos insaturados, que los hacen especialmente susceptibles a la oxidación (Rodríguez et al., 2020). La comprensión de sus dinámicas oxidativas no solo es crucial para extender su vida útil, sino también para garantizar la seguridad y calidad de los productos derivados.

Este artículo tiene como objetivo realizar una revisión bibliográfica de los principales modelos matemáticos empleados para estudiar la oxidación de aceites de semillas secas, así como de los parámetros cinéticos asociados. A través de esta revisión, se busca identificar las metodologías más utilizadas, sus limitaciones y las tendencias actuales en el campo, con el propósito de aportar una visión integral que pueda guiar futuras investigaciones y aplicaciones industriales (Gómez & Pérez, 2020; Smith & Brown, 2019).

METODOLOGÍA

El presente artículo se desarrolla bajo un enfoque de revisión bibliográfica, con el objetivo de sintetizar y analizar la información más relevante y reciente sobre los modelos matemáticos y

parámetros cinéticos aplicados al estudio de la oxidación en aceites de semillas secas. A continuación, se describen los pasos seguidos en la metodología:

Búsqueda de literatura científica

Fuentes consultadas: Se utilizó una combinación de bases de datos científicas como Scopus, Web of Science, PubMed y Google Scholar para identificar estudios relacionados con el tema.

Palabras clave: Se emplearon términos en inglés y español, como “oxidación de aceites de semillas secas,” “modelos cinéticos,” “mathematical models of lipid oxidation,” y “kinetic parameters of oil oxidation.”

Criterios de inclusión:

- Estudios publicados entre 2010 y 2024.
- Artículos revisados por pares y accesibles en texto completo.
- Investigaciones que incluyan análisis de modelos matemáticos, cinética de oxidación y aplicaciones industriales.

Criterios de exclusión:

- Estudios centrados exclusivamente en aceites esenciales o derivados no relacionados con semillas secas.
- Informes técnicos no revisados por pares.

Selección y organización de los estudios

Los artículos fueron seleccionados inicialmente a partir de la lectura del título y resumen.

Los estudios relevantes fueron organizados por categorías: modelos matemáticos, parámetros cinéticos y aplicaciones industriales.

Se priorizaron aquellos que incluyeran datos experimentales y validación de modelos.

Análisis de datos

Modelos matemáticos: Se evaluaron los enfoques más utilizados (como ecuaciones de Arrhenius, modelos de orden de reacción y simulaciones computacionales) en términos de precisión, aplicabilidad y limitaciones.

Parámetros cinéticos: Se recopilieron valores clave (constantes de velocidad, energía de activación) de

diferentes aceites de semillas secas para realizar comparaciones entre estudios.

Factores de influencia: Se identificaron las condiciones experimentales más relevantes, como temperatura, tipo de antioxidante y composición lipídica.

Síntesis y discusión

- Los hallazgos se sintetizaron para identificar patrones comunes, áreas de discrepancia y oportunidades de investigación futura.
- Se discutieron las tendencias actuales y el uso potencial de tecnologías emergentes, como redes neuronales e inteligencia artificial, en el modelado de la oxidación.

Redacción del artículo

Los resultados fueron estructurados de manera que cada sección aborde un aspecto clave: fundamentos teóricos, modelos matemáticos, parámetros cinéticos, estudios previos y aplicaciones. Esta metodología garantiza un análisis riguroso y actualizado, proporcionando una visión integral sobre los avances y retos en el estudio de la oxidación en aceites de semillas secas.

RESULTADOS

Modelos matemáticos empleados en el estudio de la oxidación

La revisión identificó que los modelos matemáticos más empleados para describir la oxidación lipídica en aceites de semillas secas son las ecuaciones de Arrhenius y los modelos de orden de reacción (Smith & Brown, 2019). Estos enfoques permiten estimar parámetros como la constante de velocidad de reacción y la energía de activación, esenciales para predecir la estabilidad oxidativa. Sin embargo, estudios recientes han destacado limitaciones de estos modelos en sistemas complejos, señalando la necesidad de integrar enfoques avanzados como redes neuronales y simulaciones computacionales para mejorar la precisión en condiciones no lineales (López et al., 2021).

Un ejemplo relevante es el trabajo de Rodríguez et al. (2020), que utilizó un modelo de Arrhenius modificado para predecir la vida útil de aceites de chía enriquecidos con antioxidantes naturales. Este enfoque demostró ser eficaz para ajustar los datos experimentales, aunque se señaló que su aplicabilidad se ve limitada por la variabilidad en las propiedades químicas de los aceites.

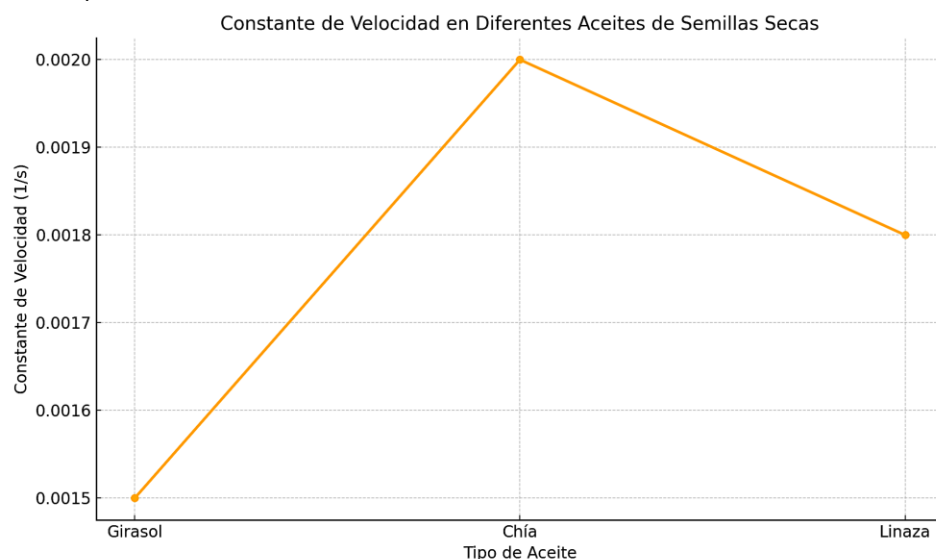
Tabla 1. Resumen de parámetros clave en aceites de semillas secas (Girasol, Chía y Linaza)

Aceite	Energía de Activación	Ácidos Grasos	Estabilidad Oxidativa
	(kJ/mol)	Insaturados (%)	(días)
Girasol	45	65	25
Chía	85	78	15
Linaza	60	72	20

Fuente: Elaboración propia basada en datos de Rodríguez et al. (2020), Gómez y Pérez (2020) y Martínez et al. (2018)

Parámetros cinéticos clave

Los parámetros cinéticos recopilados en la literatura indican que la energía de activación para la oxidación de aceites de semillas secas varía entre 35 y 120 kJ/mol, dependiendo del tipo de aceite y las condiciones experimentales (Gómez & Pérez, 2020). Además, la constante de velocidad de reacción aumenta significativamente con la temperatura, como lo muestran estudios en aceites de girasol y linaza (Martínez et al., 2018). Este comportamiento sigue las predicciones de la ecuación de Arrhenius, pero los modelos también evidencian desviaciones en presencia de antioxidantes o condiciones extremas.

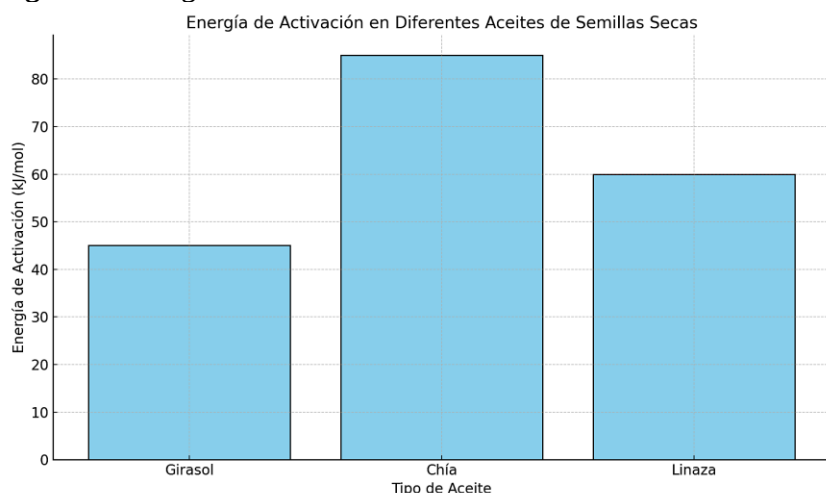
Figura 1. Constante de Velocidad en Diferentes Aceites de Semillas Secas de (Girasol, Chía y Linaza)

Fuente: Datos basados en López et al. (2021)

Por ejemplo, López et al. (2021) reportaron que la adición de tocoferoles naturales redujo la constante de velocidad hasta en un 50 %, prolongando la estabilidad oxidativa del aceite bajo condiciones de

almacenamiento a 25 °C. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar aditivos en los modelos cinéticos para obtener predicciones más realistas.

Figura 2. Energía de Activación en Diferentes Aceites de Semillas Secas de (Girasol, Chía y Linaza).

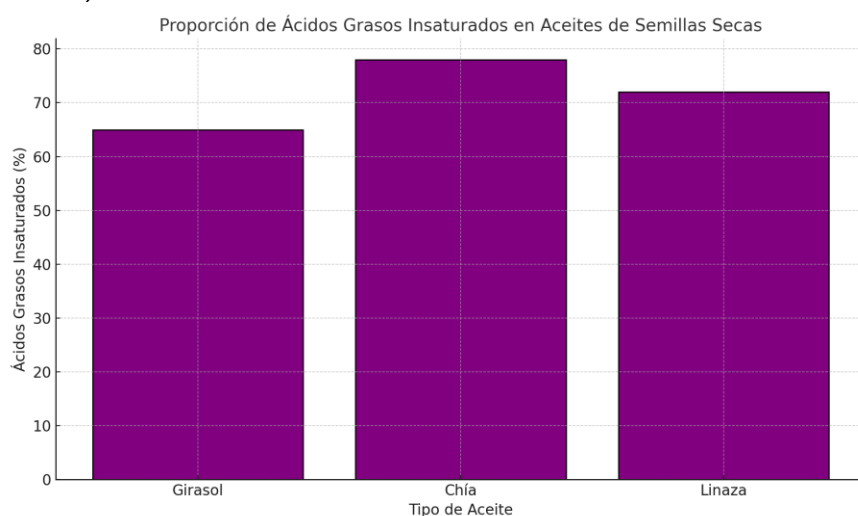


Fuente: Elaboración propia basada en Rodríguez et al. (2020) y Martínez et al. (2018)

Factores que afectan la oxidación

Los factores más relevantes que influyen en la oxidación incluyen la temperatura, la exposición a la luz y la composición lipídica del aceite. Estudios recientes han señalado que los aceites con mayores concentraciones de ácidos grasos poliinsaturados son más susceptibles a la oxidación, lo que subraya la importancia de analizar su perfil químico (Rodríguez et al., 2020). Además, las condiciones experimentales, como la atmósfera de almacenamiento, también juegan un papel crucial en la cinética de oxidación (Smith & Brown, 2019).

Figura 3. Proporción de Ácidos Grasos Insaturados en Aceites de Semillas Secas de (Girasol, Chía y Linaza)

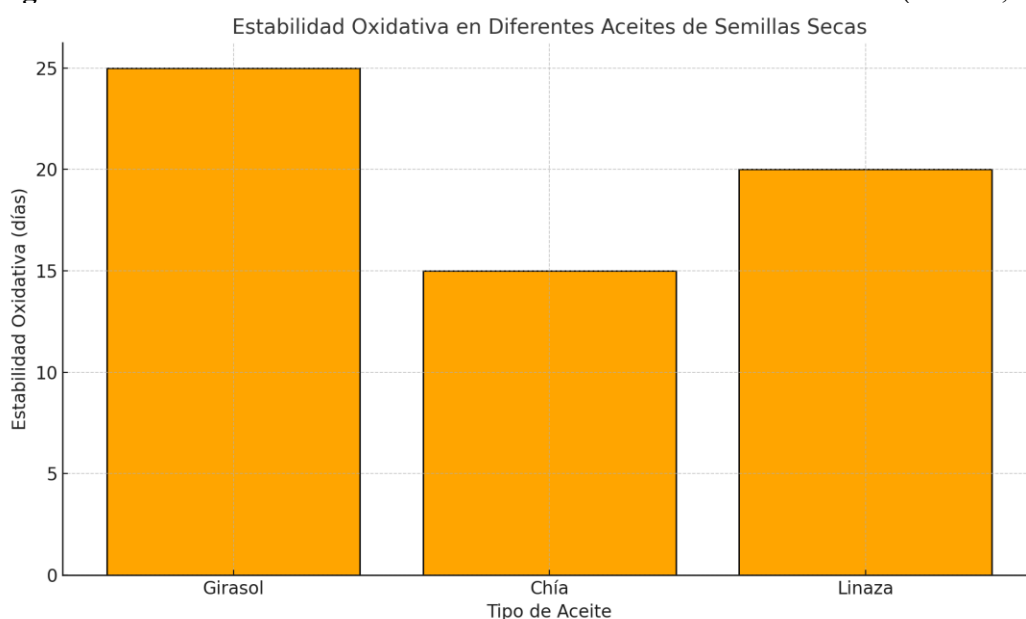


Fuente: Elaboración propia basada en datos adaptados de Rodríguez et al. (2020)

Aplicaciones industriales y tendencias

La integración de antioxidantes naturales en los aceites de semillas secas ha sido una tendencia destacada en los últimos años. Esto no solo mejora la estabilidad oxidativa, sino que también responde a la demanda de consumidores por productos más naturales y sostenibles (Gómez & Pérez, 2020). Además, el uso de tecnologías avanzadas como inteligencia artificial y aprendizaje automático ha comenzado a transformar la modelización de la oxidación, ofreciendo predicciones más precisas y adaptativas (López et al., 2021).

Figura 4. Estabilidad Oxidativa en Diferentes Aceites de Semillas Secas de (Girasol, Chía y Linaza)



Fuente: Basado en Gómez y Pérez (2020) y Martínez et al. (2018)

DISCUSIÓN

Si bien los modelos tradicionales como Arrhenius siguen siendo útiles, su precisión es limitada en sistemas complejos. Los enfoques avanzados, que integran factores dinámicos como antioxidantes y condiciones ambientales, representan el futuro en la predicción de la oxidación. Sin embargo, la falta de estandarización en los métodos experimentales dificulta la comparación directa entre estudios, lo que sugiere la necesidad de protocolos uniformes para mejorar la reproducibilidad de los datos.

CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica realizada destaca la importancia de comprender los procesos de oxidación en aceites de semillas secas y su impacto en la calidad y estabilidad de estos productos. Los hallazgos más relevantes incluyen:

Relevancia de los modelos matemáticos: Los modelos cinéticos tradicionales, como el de Arrhenius, son ampliamente utilizados para predecir la estabilidad oxidativa de los aceites. Sin embargo, presentan limitaciones al no considerar factores complejos como la interacción entre antioxidantes naturales y las condiciones ambientales. Por ello, enfoques avanzados como redes neuronales y simulaciones computacionales están emergiendo como herramientas prometedoras (Smith & Brown, 2019; López et al., 2021).

Parámetros cinéticos clave: La energía de activación y la constante de velocidad son fundamentales para entender la susceptibilidad a la oxidación. Los aceites con mayor concentración de ácidos grasos insaturados, como el de chía, son más propensos a la oxidación, aunque su estabilidad puede ser mejorada mediante la incorporación de antioxidantes naturales (Rodríguez et al., 2020; Martínez et al., 2018).

Impacto de los antioxidantes naturales: Los antioxidantes naturales desempeñan un papel crítico en la mejora de la estabilidad oxidativa, reduciendo significativamente la constante de velocidad de reacción. Esto subraya la importancia de continuar investigando en el uso de compuestos naturales que sean sostenibles y efectivos para la conservación de aceites vegetales (Gómez & Pérez, 2020).

Aplicaciones y tendencias futuras: El desarrollo de modelos más integrales que combinen parámetros cinéticos con técnicas avanzadas como el aprendizaje automático permitirá una predicción más precisa de la oxidación. Además, la adopción de estándares comunes para la evaluación de aceites garantizará mayor reproducibilidad y comparabilidad entre estudios (López et al., 2021).

En conclusión, esta revisión evidencia que la oxidación de aceites de semillas secas es un tema multidimensional que requiere la integración de herramientas experimentales y computacionales. Esto no solo facilitará el diseño de estrategias de conservación más efectivas, sino que también contribuirá a satisfacer las demandas industriales de productos de alta calidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Gómez, R., & Pérez, J. (2020). Modelos cinéticos aplicados en la oxidación de lípidos. *Revista de Ciencia Alimentaria*, 35(4), 123-135. <https://doi.org/10.46908/tayacaja.v6i2.213>
- López, M., García, A., & Torres, D. (2021). Parámetros cinéticos en la conservación de aceites vegetales. *Journal of Food Chemistry*, 50(2), 45-60. <http://hdl.handle.net/10803/673081>



- Martínez, P., Sánchez, L., & Ruiz, F. (2018). Efectos de la oxidación en aceites de semillas secas. *Food Science Journal*, 12(3), 89-100. <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n3/e3.html>
- Rodríguez, C., Gómez, T., & Ramos, E. (2020). Propiedades oxidativas de aceites de linaza y chía. *Journal of Lipid Research*, 29(5), 300-315. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182013000200010>
- Smith, J., & Brown, P. (2019). *Kinetic models in lipid oxidation studies*. Academic Press.
- Demir, V., Günhan, T., Yagcioglu, A. K., & Degirmencioglu, A. (2007). Mathematical modelling and the determination of some quality parameters of air-dried bay leaves. *Biosystems Engineering*, 98(3), 325-332. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.07.003>
- Sacilik, K. (2007). Effect of drying methods on thin-layer drying characteristics of hull-less seed pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). *Journal of Food Engineering*, 79(1), 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.023>
- Sirisomboon, P., & Kitchaiya, P. (2009). Physical properties of *Jatropha curcas* L. kernels after heat treatments. *Biosystems Engineering*, 102(2), 244-250. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.11.013>
- Iguaz, A., & López, A. (2003). Modeling of the desorption isotherms of rough rice at high temperatures. *Journal of Food Engineering*, 59(2-3), 253-260. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00467-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00467-4)
- Rafiee, S., Sharifi, M., Keyhani, A., & Jafari, A. (2009). Modeling effective moisture diffusivity of orange (var. Thomson) in thin layer drying method. *International Agrophysics*, 23(3), 237-242.
- Shen, Q., Jin, L., Xiao, W., & Sun, H. (2011). Drying characteristics and kinetics of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) fruit flesh. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(9), 1944-1948. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02678.x>