



CINÉTICA DE SECADO DE AJÍ JALAPEÑO (*CAPSICUM ANNUUM L.*) ENCURTIDO

Secado de una variedad de *Capsicum*

Drying kinetics of pickled jalapeño pepper (*Capsicum annuum L.*)

DÁNIZA MIRTHA GUERRERO ALVA ¹, RENATO MOTTA GUERRERO ²

¹ Universidad Nacional del Callao, Perú

² Instituto de Investigación y Desarrollo y Tecnología, Perú

KEYWORDS

Capsicum annuum L.
pickling
drying
effective diffusivity
activation energy
soluble solids
vitamin C

ABSTRACT

Pickled jalapeño pepper (*Capsicum annuum L.*) was dried in hot air at 70°C, 50°C, and 35°C, and in a no-frost refrigeration chamber (10°C); finding the drying kinetic curves, the drying time (19 h to 744 h), high relationship between moisture rate and drying time and between temperature and drying time; effective diffusivity (6.59E-11 m².s⁻¹ and 1.2176E-9 m².s⁻¹), activation energy (39.90 kJ/mol), soluble solids, pH, and vitamin C retention of 133% at 10°C but losing at least 50% of vitamin C by drying with hot air.

PALABRAS CLAVE

Capsicum annuum L.
encurtido
secado
difusividad efectiva
energía de activación
sólidos solubles
vitamina C

RESUMEN

Ají jalapeño (*Capsicum annuum L.*) encurtido fue secado en aire caliente a 70°C, 50°C, y 35°C, y en cámara de refrigeración no frost (10°C); hallándose las curvas de cinética de secado, el tiempo de secado (19 h a 744 h), alta correlación entre tasa de humedad y tiempo de secado y entre temperatura y tiempo de secado; la difusividad efectiva (6.59E-11 m².s⁻¹ a 1.2176E-9 m².s⁻¹), la energía de activación (39.90 kJ/mol), los sólidos solubles, el pH, y la retención de vitamina C de 133% a 10°C pero perdiéndose al menos el 50% de vitamina C al secar con aire caliente.

Recibido: 07/ 09 / 2022

Aceptado: 18/ 11 / 2022

1. Introducción

Los vegetales y frutas son alimentos que se caracterizan por ser fuentes naturales de nutrientes esenciales para la buena salud, pero también son muy perecibles; por lo que uno de los procesos más empleados para incrementar el tiempo de vida de los vegetales es el secado (Bassey et al., 2021). Durante la remoción del agua por deshidratación del alimento, es posible que ocurra pérdida de nutrientes (Ren et al., 2021), especialmente de vitaminas (Crowley y O'Mahony, 2016), por lo que la temperatura de secado es una variable importante, así como los componentes del alimento y la geometría de la muestra (Kosasih et al., 2020).

El consumo de vegetales reduce el estrés oxidativo causado por el incremento de radicales libres en la dieta, relacionados con enfermedades crónicas y degenerativas que incluyen el cáncer, las enfermedades cardiovasculares, artritis (Sinisgalli et al., 2020), diabetes y obesidad (Mohammed et al., 2020).

Por otro lado, en la dieta sudamericana y mediterránea es muy usual el consumo de especias que incluyen a los ajíes como el jalapeño (*Capsicum annuum L.*) porque dan aroma, sabor y color agradable (Loizzo et al., 2015).

Además, la tendencia en el consumo de alimentos a nivel mundial es emplear aditivos naturales (Deng et al., 2018) y el ají jalapeño peruano posee características sensoriales muy apreciadas para la gastronomía por su alta calidad, productividad y precio competitivo (Hopkins et al., 2018). Este ají se comercializa fresco, seco, escabechado y encurtido (Alvarez et al., 2019).

El objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto de la temperatura en la cinética de deshidratación de ají jalapeño (*Capsicum annuum L.*) encurtido, determinando la tasa de humedad, el tiempo de secado, la difusividad efectiva, la energía de activación; el grado de correlación entre la tasa de humedad y el tiempo de secado, así como entre la temperatura y el tiempo de secado, además de la variación de los sólidos solubles (°Brix), el pH y el contenido de vitamina C en el producto encurtido y al concluir el proceso de secado.

2. Metodología

Las muestras empleadas en el estudio fueron ajíes jalapeño (*Capsicum annuum L.*) encurtidos de producción peruana. Cada unidad fue pesada en una balanza SARTORIUS y medida (en su longitud y diámetro) con un pie de rey. Las características físicas de las muestras en promedio fueron: longitud de 5,54 cm, diámetro de 2,54 cm, peso 6,74 g y color verde claro, brillante y uniforme; sin defectos físicos observables.

2.1. El proceso de secado

Se efectuó en un secador eléctrico de aire caliente por convección a las temperaturas de 70°C, 50°C, y 35°C; y en una cámara de refrigeración no frost, a 10°C. Las muestras fueron pesadas hasta obtener pesos constantes por cada temperatura experimental ensayada.

Las curvas de secado fueron trazadas de acuerdo a la ecuación siguiente (Jeevarathinam et al., 2021; Keneni et al., 2019):

$$MR = (M_t - M_e) / (M_o - M_e) \quad \text{Ec (1)}$$

donde MR es la tasa de humedad, M_t , M_o y M_e es el contenido de humedad inicial, el contenido de humedad final y el contenido de humedad en el equilibrio, pero como M_e es un valor muy pequeño la ecuación (1) puede simplificarse a $MR = (M_t - M_e) / (M_o - M_e)$ Ec (2).

El ajuste de los resultados se obtuvo mediante Excel y la calidad del modelo mediante el coeficiente de correlación (R^2) (Martins et al., 2022), entre la tasa de humedad y el tiempo de secado del ají jalapeño (*Capsicum annuum L.*) encurtido, y el valor de la desviación cuadrática media de la raíz (RMSD) se obtuvo empleando el SPSS versión 24.0 (SPSS Inc., USA). También se halló el coeficiente de correlación entre la temperatura y el tiempo de secado.

Difusividad efectiva (m^2s^{-1}). Se considera la transferencia de humedad durante el secado como un evento complejo porque puede ser a través del flujo de vapor, de líquido o de capilares (Huang et al., 2021), y es definida como la facilidad con la que el agua es removida del material. Considerando que las muestras se asemejan a una lámina plana, es posible usar la ecuación de la segunda ley de Fick, que varía con la temperatura y con el cambio del contenido de humedad según la siguiente ecuación:

$$MR = 8/\pi^2 \exp(-\pi^2 ((D_{ef,t})/L^2)) \quad \text{Ec (3)}$$

de la que la difusividad efectiva puede ser calculada por el método de la pendiente (m) (Cao et al., 2016; Salehi & Kashaninejad, 2018):

$$m = (-\pi^2 D_{ef} / (4L^2)) \quad \text{Ec (4)}$$

Energía de Activación ($kJmol^{-1}$). Es la energía necesaria para evaporar una mol de agua (Keneni et al., 2019), y que se requiere para iniciar el proceso de deshidratación. Puede ser calculada por la ecuación de Arrhenius, la cual expresada en términos de logaritmos naturales corresponde a:

$$\ln(D_{ef}) = \ln(D_o) - E_a/R \cdot 1/T_{abs} \quad \text{Ec (5)}$$

Al graficar los valores de $\ln(D_{ef})$ versus el recíproco de la temperatura absoluta ($1/T_{abs}$) experimental se halló la pendiente en la recta que es igual a $(-E_a/R)$ (Younis et al., 2018) siendo el valor de R igual a 8.3143 kJ/molK.

2.2. Otros análisis

Determinación de vitamina C (mg/L): fue efectuada en el ají jalapeño encurtido desde el inicio y durante todo el proceso de secado empleando las tiras de prueba de MACHEREY-NAGEL QUANTOFIX (Alemania), para determinar el ácido ascórbico en alimentos; y la retención de vitamina C mediante la relación siguiente:

$$\text{Retención de vitamina C (\%)} = V_t/V_o \times 100\% \quad (6)$$

donde V_o (mg/L) y V_t (mg/L) son los contenidos de vitamina C retenidos antes y después del tratamiento de secado de los ajíes jalapeños encurtidos (Guo et al., 2020).

Determinación de sólidos solubles (AOAC, 2000), expresados en grados Brix y empleando un refractómetro.

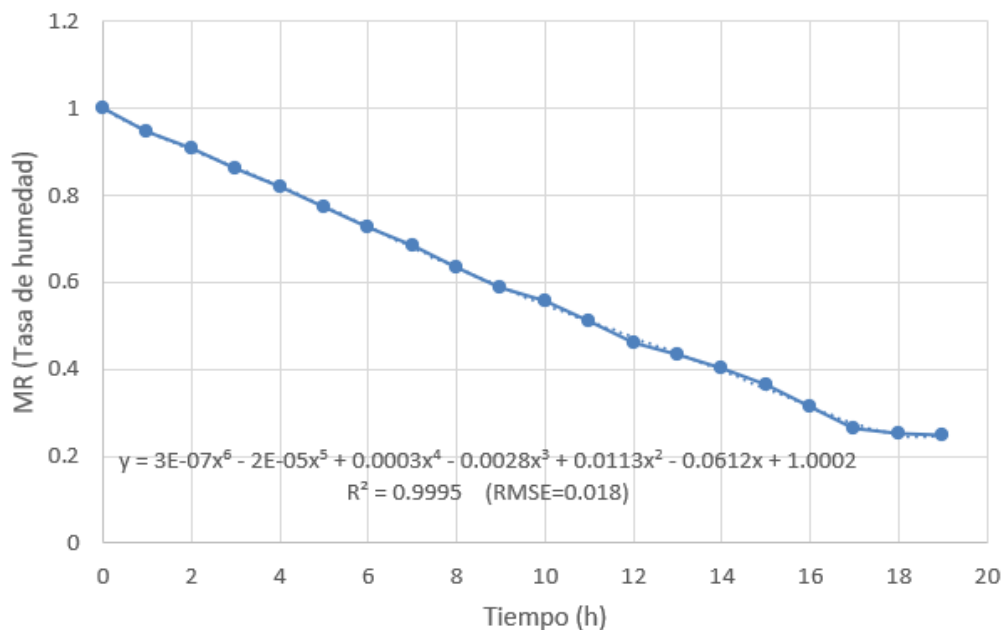
Determinación de pH (AOAC, 2000), mediante un potenciómetro HANNA.

3. Resultados

3.1. Cinética de secado

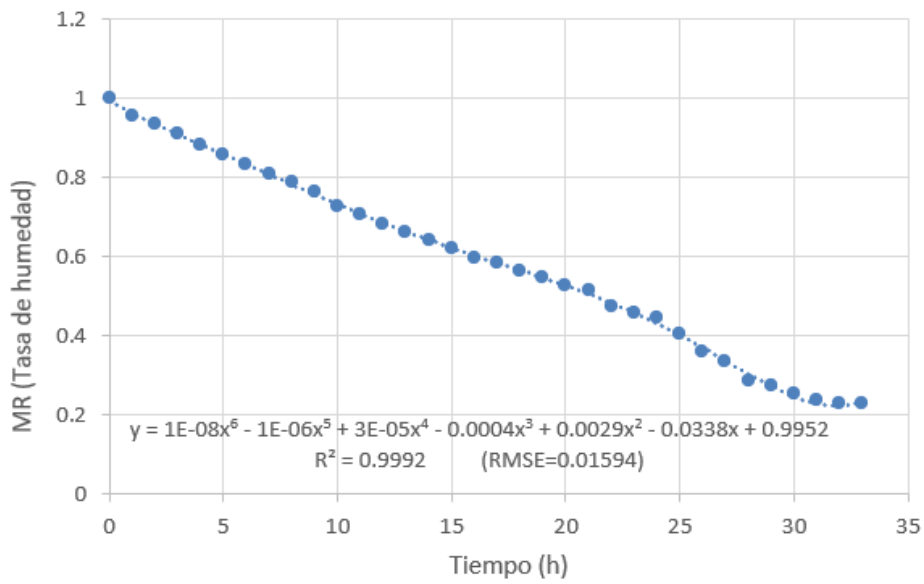
A continuación se exponen las curvas de secado (a las temperaturas de 70°C, 50°C, 35°C y 10°C), el tiempo de secado hasta obtener peso constante, el coeficiente de correlación (R^2) y el valor de la desviación cuadrática media de la raíz (RMSD) de cada una de ellas.

Figura 1. Cinética de secado a 70°C y coeficiente de correlación (R^2) del ají jalapeño (*Capsicum annuum L.*) encurtido



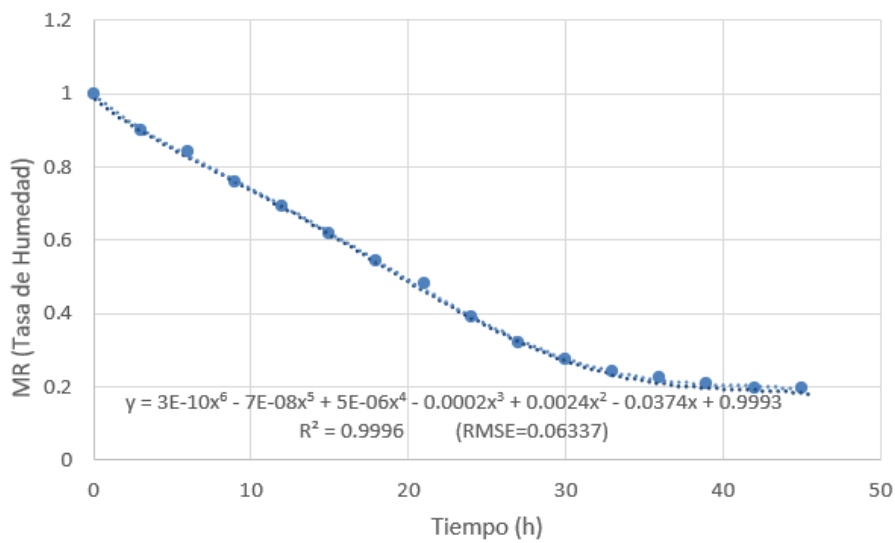
Fuente: Elaboración propia, 2022.

Figura 2. Cinética de secado a 50°C y coeficiente de correlación (R^2) del ají jalapeño (*Capsicum annuum L.*) encurtido



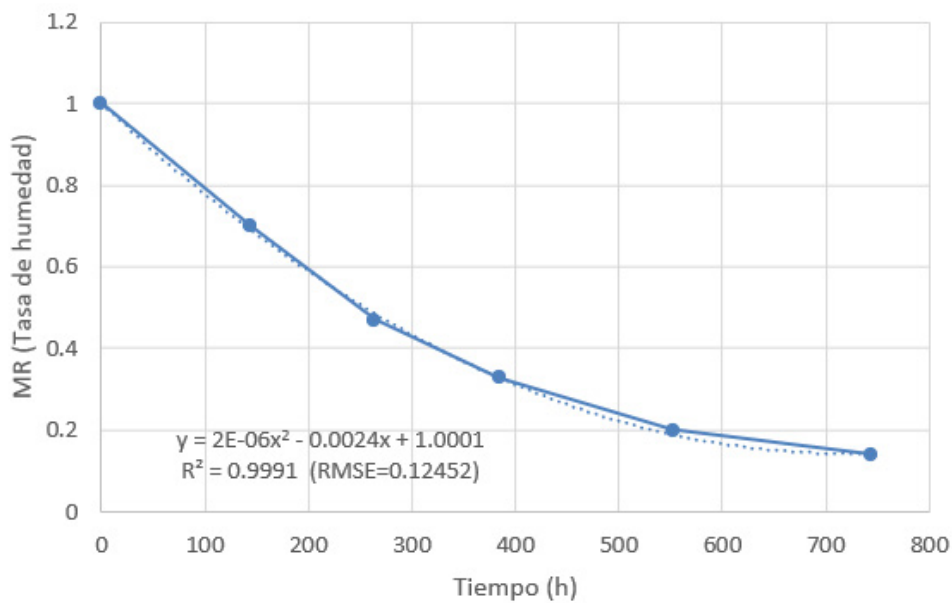
Fuente: Elaboración propia, 2022.

Figura 3. Cinética de secado a 35°C y coeficiente de correlación (R^2) del ají jalapeño (*Capsicum annuum L.*) encurtido



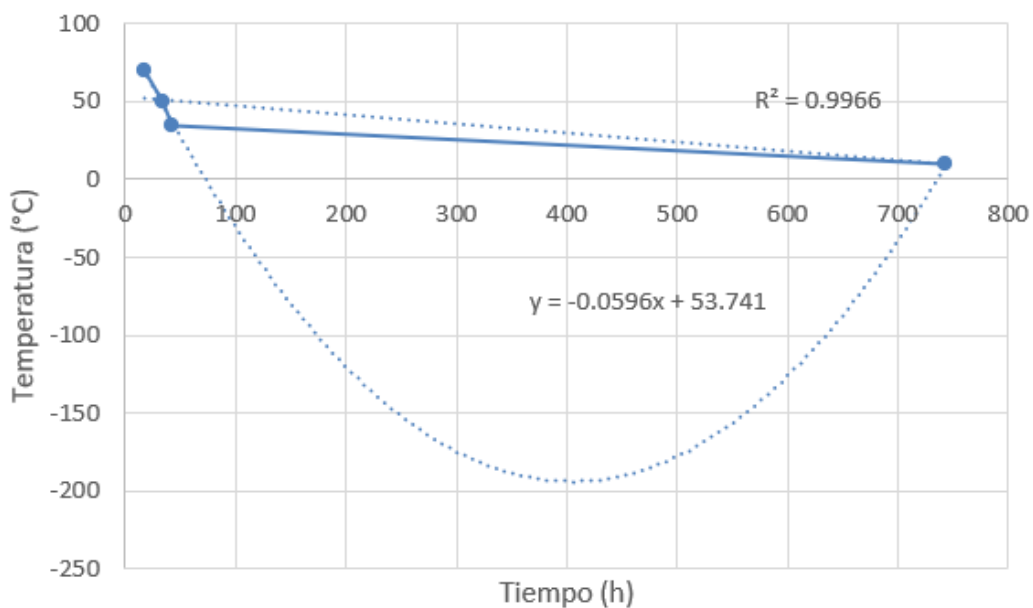
Fuente: Elaboración propia, 2022.

Figura 4. Cinética de secado a 10°C y coeficiente de correlación (R^2) del ají jalapeño (*Capsicum annuum L.*) encurtido



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Figura 5. Coeficiente de correlación (R^2) entre la temperatura (°C) de secado de ají jalapeño (*Capsicum annuum L.*) encurtido y el tiempo (h)



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Difusividad efectiva (D_{ef}).

La Difusividad efectiva hallada con cada temperatura se cita a continuación:

Tabla 1. Difusividad efectiva durante el secado de ají jalapeño (*Capsicum annuum L.*) encurtido

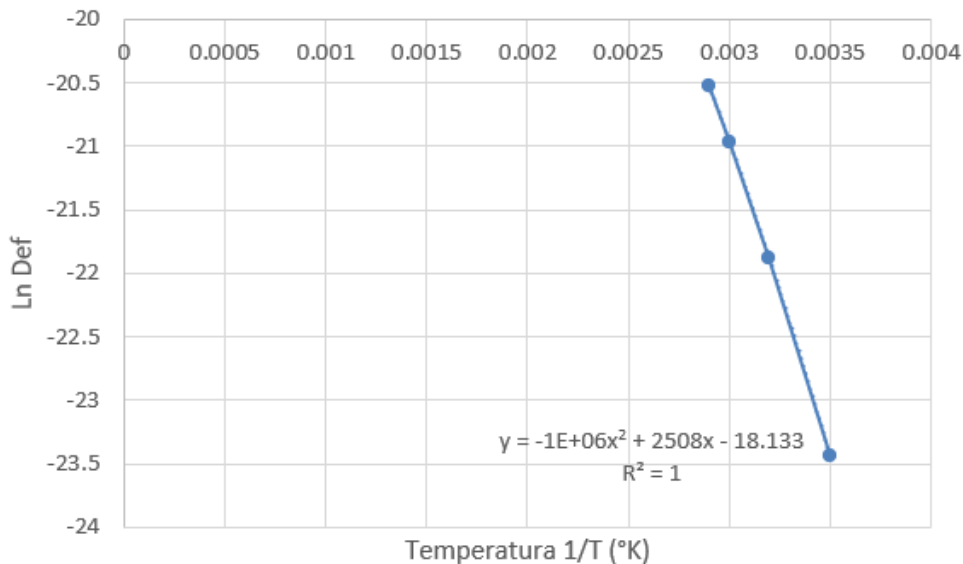
Temperatura (°C)	Tiempo de secado (h)	Difusividad efectiva (m ² s ⁻¹)
70	19	1.2176E-9
50	33	7.846E-10
35	45	3.156E-10
10	744	6.59E-11

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Energía de activación (Ea).

Al graficar el logaritmo natural de la Difusividad efectiva versus el inverso de la temperatura en grados Kelvin se halló la pendiente de la recta (m) siendo la Energía de activación de 39.90 kJ/mol.

Figura 6. Logaritmo natural de la Difusividad efectiva versus el inverso de la temperatura absoluta (°K)



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Determinación de vitamina C (mg/L).

Los resultados iniciales de contenido de vitamina C y los porcentajes de retención obtenidos al final del proceso se citan a continuación:

Tabla 2. Contenido inicial y porcentaje de retención de vitamina C en el secado de ají jalapeño (*Capsicum annuum L.*) encurtido

Temperatura (°C)	Vitamina C Inicial (mg/L)	Retención de Vitamina C (%)
70	100	50
50	200	25
35	150	33
10	75	133

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Sólidos solubles (Brix).

Las lecturas refractométricas fueron las siguientes:

Tabla 3. Contenido inicial y final de sólidos solubles (°Brix) en el secado de ají jalapeño (*Capsicum annuum L.*) encurtido

Temperatura (°C)	Sólidos solubles iniciales (°Brix)	Sólidos solubles finales (°Brix)
70	12	36
50	10	23
35	17	40
10	10	30

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Sólidos solubles (Brix).

Las lecturas refractométricas fueron las siguientes:

Tabla 3. Contenido inicial y final de sólidos solubles (°Brix) en el secado de ají jalapeño (*Capsicum annuum L.*) encurtido

Temperatura (°C)	Sólidos solubles iniciales (°Brix)	Sólidos solubles finales (°Brix)
70	12	36
50	10	23
35	17	40
10	10	30

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Determinación de pH.

El valor de pH inicial de las muestras y el obtenido al final del secado se presentan seguidamente.

Tabla 4. Valores de pH inicial y final en el secado de ají jalapeño (*Capsicum annuum L.*)

Temperatura (°C)	pH inicial	pH final
70	4.0	3.0
50	3.0	3.5
35	4.0	3.5
10	4.0	3.5

Fuente: Elaboración propia, 2022.

4. Discusión

La cinética de secado está basada en la intensidad con la que se evapora el agua del ají jalapeño (*Capsicum annuum L.*) encurtido durante el tiempo de secado hasta obtener en las muestras un peso constante. En los experimentos

de secado desarrollados a las temperaturas constantes de 70°C, 50°C, 35°C y 10°C, se observó al graficar las curvas de cinética de secado (Figura 1, 2, 3 y 4) que los procesos tuvieron diferentes tiempos de duración siendo de 19 horas, 33 horas, 45 horas y 744 horas respectivamente. Por consiguiente, se cumplió que a mayor temperatura el proceso de secado fue más rápido y a menor temperatura el proceso se torna lento.

Respecto a la temperatura de deshidratación, el rango entre 65°C y 75°C es empleado en México para el secado industrial de chipotle, que es el chile secado y ahumado (Alvarez et al., 2019). Por otro lado, Hidar et al. (2020), usaron temperaturas de 50°C, 60°C, 70°C y 80°C y flujos de aire de 300 y 150 m³/h; reportando que a temperatura de 80°C y mayor flujo de aire ocurrieron deformaciones en el producto a nivel microestructural, cuando el secado está manejado por la difusividad a altas tasas de evaporación del agua. Pero en el secado de dika (*Irvingia gabonensis*) como nuez y nuez partida en granos, se empleó las temperaturas experimentales de 50°C, 60°C, 70°C y 80°C en un deshidratador de aire caliente y se reportó buenos resultados (Aregbesola et al., 2015). Por tanto, la temperatura fue el factor más importante que influyó en el secado por aire caliente (Cao et al., 2016), como también pudimos observar en la presente investigación.

Con relación al tiempo de secado, el chile jalapeño rojo requirió de 12 horas a 85°C, 54 horas a 75°C, 60 horas a 65°C y 105 horas a 55°C tal como lo refiere Alvarez et al. (2019); por tanto, en este caso el proceso de encurtido previo del ají jalapeño (*Capsicum annum L.*) redujo significativamente el tiempo de secado respecto al fruto fresco y maduro. En el secado solar de páprika el tiempo de secado varió entre 7 y 10 días en los que se debió retirar los productos que presentaban problemas fitosanitarios; por lo que se colocó una capa delgada de producto que debió ser volteada para facilitar la salida del agua ya que concluido el secado, los productos debían de tener entre 8% y 12% de humedad (Perez et al., 2017); lo cual no fue necesario cuando se empleó las diferentes temperaturas ensayadas y especialmente de 10°C, posiblemente por la calidad sanitaria del producto fresco y el subsecuente proceso de encurtido. Pero también se puede reducir el tiempo de secado aplicando otros tratamientos como el ultrasonido utilizado en el secado de rodajas de manzana (Sabares, 2021) o variando el tamaño de la muestra como con las nueces dika, cuyo tiempo de secado fue de 840, 960, 1080 y 1440 minutos mientras que secando la nuez en granos los tiempos fueron menores; de 600, 720, 840 y 960 minutos empleando las mismas temperaturas experimentales comprendidas entre 80°C y 50°C tal como lo reportó Aregbesola et al., (2015). En la presente investigación los tiempos de secado se incrementaron con el descenso de la temperatura haciéndose más largos a 10°C, temperatura que requirió 31 días, vale decir 744 horas para terminar el proceso de secado; hallándose que la baja temperatura ensayada fue gravitante en la conservación de nutrientes como la vitamina C, presente en el ají jalapeño encurtido.

También se halló el Coeficiente de correlación (R^2) entre la tasa de humedad o proporción de humedad (MR) observada durante la deshidratación de ají jalapeño (*Capsicum annum L.*) encurtido respecto al tiempo (h) a la temperatura de 70°C, 50°C y 35°C en las que se obtuvo valores de R^2 de 0.9995, 0.9992, y 0.9996 respectivamente y una relación no lineal polinómica de sexto grado; y a la temperatura de 10°C la correlación hallada fue no lineal polinómica de quinto grado y R^2 de 1 cuando el tiempo se expresa en días, pero de 0.9991 de tipo no lineal polinómica y de segundo grado cuando el tiempo de secado se expresó en horas. Determinando el coeficiente de correlación (R^2) entre las temperaturas experimentales usadas de 70°C, 50°C, 35°C y 10°C respecto al tiempo en horas, se halló un valor de R^2 de 0.9966 con una relación no lineal polinómica de segundo grado. Por tanto, se demostró un grado de correlación alto entre la tasa de humedad graficada y el tiempo de secado, así como de las temperaturas experimentales y el tiempo de deshidratación de las muestras de ají jalapeño (*Capsicum annum L.*) encurtido. Al respecto Ayadi et al. (2014), reportaron que el modelo de Midilli -Kucuk fue el que mejor describió el secado convectivo de la hierbabuena a temperatura constante en base a una relación polinómica de tercer grado ($R^2=1$) y cuando la temperatura fue constante y luego se incrementa o cuando la temperatura se mantiene constante y luego se reduce, entre 45°C y 55°C; en ambos casos la relación fue polinómica de quinto grado con R^2 de 0.8074 y R^2 de 0.3759 respectivamente.

En cuanto a la humedad residual observada, esta puede ser muy reducida por la combinación de equipos empleados, como en el secado de la fruta tropical yaca (Wu et al., 2021) al combinar el secado infrarrojo con ultrasonido; por infrarrojos a diferentes intensidades (100 W a 300 W) como lo probado en tajadas de fresas por Adak et al. (2017) o por las características de la muestra como en el secado de cebolla de descarte (Roman et al., 2020). En nuestro caso fue de 14% a 70°C y 13% a 10°C, siendo ligeramente superior a las temperaturas de 50°C y 35°C, no registrándose cambios de color como sí se observa aplicando secado al vacío, por microondas, en horno, e infrarrojos durante el secado de estigmas de azafrán (Chen et al., 2020).

Se determinó la difusividad efectiva del ají jalapeño según las temperaturas evaluadas siendo el valor mayor a 70°C de 1.2176E-9 m².s⁻¹, mientras que para las temperaturas de 50°C y 35°C la difusividad efectiva fue de 7.846E-10 m².s⁻¹ y 3.156E-10m².s⁻¹, y finalmente a 10°C la difusividad efectiva fue de 6.59E-11m².s⁻¹; por tanto, se cumplió que a mayor temperatura de secado la difusividad efectiva es mayor; lo que aporta al conocimiento sobre la difusividad estudiada bajo el modelo de difusión de Fick.

Por otro lado, la difusividad efectiva en rodajas de calabaza amarga, se estimó en un rango de 8.6293x10⁻¹⁰ y 12.9585x10⁻¹⁰ m².s⁻¹, empleando un secador solar convectivo (Vijayan et al., 2020), mientras que la difusividad

efectiva fue de 3.11×10^{-9} hasta $5.84 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ en pulpa de fruto de guero con fines de secado y molienda, llevada a cabo a temperaturas entre 40°C y 70°C (Jorge et al., 2021). En otra investigación referente al secado de hojuelas de camotes, la difusividad efectiva hallada por el modelo de difusión de Fick fue entre 2.632×10^{-9} a $1.596 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ (Onwude et al., 2018) y en el pimiento verde la difusividad efectiva fue entre 8.315×10^{-8} a $2.363 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ en el rango de potencia de microondas investigado (Darvishi et al., 2014), es decir se observa una mayor variación de la difusividad efectiva, lo que concuerda con lo obtenido en el secado de ají jalapeño encurtido, entre 70°C y 10°C .

Además, la energía de activación necesaria para iniciar el proceso de deshidratación fue de 39.90 kJ/mol en el ají jalapeño (*Capsicum annuum L.*) encurtido. Comparando con otros resultados experimentales en el secado de moringa determinaron la energía de activación por el modelo de Page de 44.49 kJ/mol y mediante la correlación logarítmica de 44.36 kJ/mol (Iglesias et al., 2018). Los valores de la energía de activación en el secado por infrarrojos y por aire caliente de pimiento (*Capsicum frutescens L.*) fueron 42.67 y $44.48 \text{ kJ mol}^{-1}$; el pimiento rojo no blanqueado requiere una energía de activación de 28.40 kJ/mol y 33.3 kJ/mol con pimiento blanqueado (Turham et al., 2007), y 39.70 kJ/mol en pimiento morrón rojo variedad lamuyo (Vega et al., 2007), valor muy cercano al de ají jalapeño encurtido, así como el de estevia (37.81 kJ/mol); por tanto, el valor experimental hallado también está dentro del rango de 12.7 kJ/mol a 110 kJ/mol , correspondiente a una gama amplia de alimentos según Hidar et al. (2020).

Respecto al contenido de vitamina C, el Instituto peruano de espárrago y hortalizas (IPEH) citado por Perez et al. (2019), reportaron en la composición de pimiento páprika por 100 g de producto fresco, 121 mg de ácido ascórbico y 10 mg en fruto seco, demostrando la enorme pérdida de vitamina C por efecto del secado. Por otro lado, Moreno-Escamilla et al. (2015) indicaron que se redujo el ácido ascórbico y la capacidad antioxidante en el chile jalapeño rojo en los productos ahumados. También pudieron retener solo el 20% de la vitamina C en rodajas de tomate, Dufera et al., (2021). En el secado de hojas de Moringa en sombra, secado en microondas, por congelación y por aire caliente, entre 40°C y 60°C , la vitamina C se redujo en por lo menos el 50% del contenido inicial, y en mayor proporción en el secado bajo sombra (Ali et al., 2017). En la presente investigación, las temperaturas de deshidratación produjeron pérdidas de vitamina C en el ají jalapeño por efecto de la temperatura a 70°C , 50°C y 35°C , observándose apenas una retención del 50% a 70°C , pero dicho porcentaje de pérdida fue mayor en los experimentos donde el tiempo de secado fue más prolongado, es decir a las temperaturas de 50°C y 35°C ; a diferencia del secado a 10°C en el cual resultó protegida esta vitamina por lo que el porcentaje de retención fue de 133% .

Por otro lado, se puede indicar que el contenido de sólidos solubles expresados en grados Brix se triplicó durante el proceso de deshidratación debido posiblemente a que el producto pierde agua y por la conversión de ácidos orgánicos a azúcares (Mendoza, 2013), además del proceso de encurtido que tuvieron las muestras inicialmente, habiéndose reportado también el incremento de azúcares totales en frutas como resultado del secado (Mohammed et al., 2020).

Finalmente, el pH de inicio fue de 4.0 en las muestras de chile jalapeño encurtido siendo el máximo permitido por la norma NMX-F121 (1982) de 4.3 . El pH descendió durante el proceso de deshidratación hasta pH de 3.0 a 70°C y a 3.5 con las temperaturas de 50°C , 35°C y 10°C ; a diferencia del pH obtenido en el chiltepín rojo seco (5.2), chiltepín rojo (4.9) y chiltepín verde (5.1) pero si más cercano al resultado del pH de 3.7 que obtuvieron en las muestras de chiltepín verde encurtido; esta ligera variación de pH se le atribuye a la degradación de ácidos fenólicos por efecto del calentamiento durante el proceso de secado (Rochín et al., 2013). Variaciones pequeñas en el pH también se hallaron durante el secado del concentrado de tomate (Ringeisen et al., 2014).

5. Conclusiones

El efecto de la temperatura en la cinética de secado del ají jalapeño encurtido estuvo relacionado con el tiempo de deshidratación, por lo que a mayor temperatura el tiempo de secado es menor y viceversa.

La difusividad efectiva en la deshidratación de ají jalapeño (*Capsicum annuum L.*) encurtido varió desde $6.59\text{E}-11 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a 10°C hasta $1.2176\text{E}-9 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a 70°C empleando una cámara no frost y un deshidratador de alimentos por aire caliente, siendo la energía de activación de 39.90 kJ/mol .

Se demostró un grado de correlación alto entre la tasa de humedad y el tiempo de secado, siguiendo una relación no lineal polinómica de sexto grado y segundo grado, y entre la temperatura experimental y el tiempo de secado, con una relación no lineal polinómica de segundo grado.

Durante el proceso de secado del ají jalapeño se triplicó los sólidos solubles totales, el pH se mantuvo entre 4.0 y 3.5 ; se redujo el contenido de vitamina C a las temperaturas de secado de 70°C , 50°C y 35°C , y no se registró pérdida de vitamina C en el secado a 10°C en cámara no frost permaneciendo en un 133% . Por tanto, la temperatura a la que se secó en menor tiempo el ají jalapeño (*Capsicum annuum L.*) encurtido fue de 70°C , pero la temperatura que fue óptima para retener el mayor porcentaje de vitamina C hasta el final del tiempo de secado, fue de 10°C .

Referencias

- Adak, N., Heybeli, N., y Ertekin, C. (2017). Infrared drying of strawberry. *Food chemistry*, 219, 109-116. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.103>
- Ali, M., Yusof, Y., Chin, N., y Ibrahim, M. (2017). Processing of Moringa leaves as natural source of nutrients by optimization of drying and grinding mechanism. *Food Process Engineering*, 40 (6), e12583. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12583>
- Alvarez, E., Contreras, F., Rodrigo, J., De la Rosa, L., García, J., y Núñez, J. (2019). CINÉTICA DE SECADO Y EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPUESTOS FENÓLICOS DE CHILE JALAPEÑO ROJO (*Capsicum annum L.*). *Biotecnia*, 21(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.18633/biotecnia.v21i1.877>
- AOAC International. (2000). *Official methods of analysis*. 17th ed. Gaithersburg, MD: AOAC International. of AOAC International.
- Aregbesola, O. A., Ogunsina, B. ., Sofolahan, A. E., & Chime, N. N. (2015). Mathematical modeling of thin layer drying characteristics of dika (*Irvingia gabonensis*) nuts and kernels. *Nigerian Food Journal*, 33(1), 83–89. <https://doi.org/10.1016/J.NIFOJ.2015.04.012>
- Ayadi, M., Mabrouk, S. Ben, Zouari, I., & Bellagi, A. (2014). Kinetic study of the convective drying of spearmint. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/J.JSSAS.2013.04.004>
- Bassey, E. J., Cheng, J.-H., & Sun, D.-W. (2021). Novel nonthermal and thermal pretreatments for enhancing drying performance and improving quality of fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 137–148. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.045>
- Cao, Z. Z., Zhou, L. Y., Bi, J. F., Yi, J. Y., Chen, Q. Q., Wu, X. Y., Zheng, J. K., & Li, S. R. (2016). Effect of different drying technologies on drying characteristics and quality of red pepper (*Capsicum frutescens L.*): a comparative study. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(10), 3596–3603. <https://doi.org/10.1002/JSCA.7549>
- Chen, D., Xing, B., Yi, H., Li, Y., Zheng, B., Wang, Y. (2020). Effects of different drying methods on appearance, microstructure, bioactive compounds and aroma compounds of saffron (*Crocus sativus L.*). *LWT*, 120,108913. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108913>
- Crowley, S.V. and O'Mahony, J.A. (2016). Drying: effect on Nutrients, Composition and Health. In *Encyclopedia of Food Health* (pp. 439–445).
- Darvishi, H., Asl, A. R., Asghari, A., Azadbakht, M., Najafi, G., & Khodaei, J. (2014). Study of the drying kinetics of pepper. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13(2), 130–138. <https://doi.org/10.1016/J.JSSAS.2013.03.002>
- Deng, L. Z., Yang, X. H., Mujumdar, A. S., Zhao, J. H., Wang, D., Zhang, Q., Wang, J., Gao, Z. J., & Xiao, H. W. (2018). Red pepper (*Capsicum annum L.*) drying: Effects of different drying methods on drying kinetics, physicochemical properties, antioxidant capacity, and microstructure. *Drying Technology*, 36(8), 893–907. <https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1361439>
- Dufera, L., Hofacker, W., Esper, A., & Hensel, O. (2021). Physicochemical quality of twin layer solar tunnel dried tomato slices. *Heliyon*, 7(5), e7127. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844021012305>
- Guo, Y., Wu, B., Guo, X., Ding, F., Pan, Z., & M, H. (2020). Effects of power ultrasound enhancement on infrared drying of carrot slices: Moisture migration and quality characterizations. *LWT*, 126, 109312. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109312>
- Hidar, N., Ouhammou, M., Mghazli, S., Idlimam, A., Hajjaj, A., Bouchdoug, M., Jaouad, A., & Mahrouz, M. (2020). The impact of solar convective drying on kinetics, bioactive compounds and microstructure of stevia leaves. *Renewable Energy*, 161, 1176–1183. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2020.07.124>
- Hopkins, C. Toma, J. y Valdivia, E. (2018). *Planeamiento estratégico para la industria arequipeña del ají 2017 – 2027* [Repositorio de la Pontificia Universidad Católica de Lima]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/11950>
- Huang, X., Li, W., Wang, Y., & Wan, F. (2021). Drying characteristics and quality of Stevia rebaudiana leaves by far-infrared radiation. *LWT*, 140, 110638. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.110638>
- Iglesias, R., Grimaldi, R. V., Villanueva, B. E., Hernández, J. M., López, P., & Lastres, O. (2018). Cinética de secado de Moringa oleifera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(5), 935–947. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V9I5.1503>
- Jeevarathinam, G., Pandiselvam, R., Pandiarajan, T., Preetha, P., Balakrishnan, M., Thirupathy, V., & Kothakota, A. (2021). Infrared assisted hot air dryer for turmeric slices: Effect on drying rate and quality parameters. *LWT, Food Science and Technology Elsevier*, 144, pp.111258. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643821004114>
- Jorge, A., Ferreira, W., Silva, L., de Oliveira, D., y Resendre, O. (2021). Drying kinetics of 'gueroba' (*Syagrus oleracea*) fruit pulp. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 25(1), 23–29. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n1p23-29>

- Keneni, Y. G., Hvoslef-Eide, A. K., & Marchetti, J. M. (2019). Mathematical modelling of the drying kinetics of *Jatropha curcas L.* seeds. *Industrial Crops and Products*, *132*, 12–20. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2019.02.012>
- Kosasih, E. A., Zikri, A., & Dzaky, M. I. (2020). Effects of drying temperature, airflow, and cut segment on drying rate and activation energy of elephant cassava. *Case Studies in Thermal Engineering*, *19*, 100633. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100633>
- Loizzo, M. R., Pugliese, A., Bonesi, M., Menichini, F., & Tundis, R. (2015). Evaluation of chemical profile and antioxidant activity of twenty cultivars from *Capsicum annum*, *Capsicum baccatum*, *Capsicum chacoense* and *Capsicum chinense*: A comparison between fresh and processed peppers. *LWT - Food Science and Technology*, *64*(2), 623–631. DOI:10.1016/j.lwt.2015.06.042
- Martins, A. F. L., Vieira, É. N. R., Leite Júnior, B. R. C., & Ramos, A. M. (2022). Use of ultrasound and ethanol to improve the drying of yacon potato (*Smallanthus sonchifolius*): Effect of chemical and thermal bleaching. *LWT*, *162*. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2022.113448>
- Mendoza, L. (2013). *Propiedades fisicoquímicas y antioxidantes del chile jalapeño (Capsicum annum var annum) fresco y seco*. Universidad de Veracruz. <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46807/MendozaSanchezLiliana.pdf;jsessionid=D8CB408D7472D63B02679FA756FF46ED?sequence=2>
- Mohammed, S., Edna, M., & Siraj, K. (2020). The effect of traditional and improved solar drying methods on the sensory quality and nutritional composition of fruits: A case of mangoes and pineapples. *Heliyon*, *6*(6), e04163–e04172. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04163>
- Moreno-Escamilla, J. O., de la Rosa, L. A., López-Díaz, J. A., Rodrigo-García, J., Núñez-Gastélum, J. A., & Alvarez-Parrilla, E. (2015). Effect of the smoking process and firewood type in the phytochemical content and antioxidant capacity of red Jalapeño pepper during its transformation to chipotle pepper. *Food Research International*, *76*, 654–660. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2015.07.031>
- NMX-F-121-1982. (1982). *Alimentos para humanos- envasados*. Google Académico. DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS. <https://media.gotomexico.today/reglament/nmx-f-121-1982.pdf>
- Onwude, D. I., Hashim, N., Abdan, K., Janius, R., & Chen, G. (2018). Modelling the mid-infrared drying of sweet potato: kinetics, mass and heat transfer parameters, and energy consumption. *Heat and Mass Transfer/ Waerme- Und Stoffuebertragung*, *54*(10), 2917–2933. <https://doi.org/10.1007/S00231-018-2338-Y>
- Perez, M., Saavedra, C., Aquino, W., Lázaro, W., y Jaimes, O. (2019). Parámetros de calidad de postcosecha en pimiento páprika y chile guajillo (*Capsicum annum l.*), valle Santa, Perú. *Magisterpub.Com*. <https://magisterpub.com/ojs/index.php/msj/article/view/49>
- Ren, Z., Yu, X., Yagoub, A. E. G. A., Fakayode, O. A., Ma, H., Sun, Y., & Zhou, C. (2021). Combinative effect of cutting orientation and drying techniques (hot air, vacuum, freeze and catalytic infrared drying) on the physicochemical properties of ginger (*Zingiber officinale Roscoe*). *LWT*, *144*. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.111238>
- Ringeisen, B., & Barrett, D. S. P. (2014). Concentrated solar drying of tomatoes. *Energy for Sustainable Development*, *19*, 47–55. <http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2013.11.006>
- Rochín-Wong, C., Gamez, N., Montoya, L., y Medina, L. (2013). Efecto de los procesos de secado y encurtido sobre la capacidad antioxidante de los fitoquímicos del chiltepín (*Capsicum annum L. var. glabriusculum*). *SciELO. Org.Mx*. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1665-27382013000200004
- Roman, M. C., Fabani, M. P., Luna, L. C., Feresin, G. E., Mazza, G., & Rodriguez, R. (2020). Convective drying of yellow discarded onion (Angaco INTA): Modelling of moisture loss kinetics and effect on phenolic compounds. *Information Processing in Agriculture*, *7*(2), 333–341. <https://doi.org/10.1016/J.INPA.2019.07.002>
- Sabares, H. (2021). Advanced drying technologies of relevance in the... - Google Académico. *CSIRO Agriculture and Food*, 64–81. https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=advanced+drying+technologies+of+relevance+in+the+food+industry&btnG=
- Salehi, F., & Kashaninejad, M. (2018). Modeling of moisture loss kinetics and color changes in the surface of lemon slice during the combined infrared-vacuum drying. *Information Processing in Agriculture*, *5*(4), 516–523. <https://doi.org/10.1016/J.INPA.2018.05.006>
- Sinisgalli, C., Faraone, I., Vassallo, A., Caddeo, C., Bisaccia, F., Armentano, M., Milella, L., & Ostuni, A. (2020). Phytochemical Profile of *Capsicum annum L. cv Senise*, Incorporation into Liposomes, and Evaluation of Cellular Antioxidant Activity. *Antioxidants*, *9*(5), 428–439. <https://doi.org/10.3390/antiox9050428>
- Turham, M., Turhan, K., Sahbaz, F. (2007). DRYING KINETICS OF RED PEPPER. *Journal of Food Processing and Preservation*, *21*(3), 209–223. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.1997.tb00777.x>
- Vega, A., Andrés, A., y Fito, P. (2005). Modelado de la Cinética de Secado del Pimiento Rojo (*Capsicum annum L. cv Lamuyo*). *Información tecnológica*, *16*(6). <https://doi.org/10.4067/S0718-07642005000600002>
- Vijayan, S., Arjunan, T., & Kumar, A. (2020). Exergo-environmental analysis of an indirect forced convection solar dryer for drying bitter gourd slices. *Renewable Energy*, *146*(february), 2210–2223. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.066>

- Wu, B., Guo, X., Guo, Y., Ma, H., & Zhou, C. (2021). Enhancing jackfruit infrared drying by combining ultrasound treatments: Effect on drying characteristics, quality properties and microstructure. *Food Chemistry*, 358, 129845. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.129845>
- Younis, M., Abdelkarim, D., & Zein El-Abdein, A. (2018). Kinetics and mathematical modeling of infrared thin-layer drying of garlic slices. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(2), 332–338. <https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2017.06.011>