



Determinación de parámetros característicos del proceso de secado de frutillas (*Fragaria ananassa*) aplicando modelos cinéticos

María Cristina Ciappini¹, Fernando Santiago Stoppani¹

1. Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Rosario, Centro de Investigación en Tecnología de Alimentos. Zeballos 1341 (2000), Rosario – Argentina.

*E-mail: mcciappini@frro.utn.edu.ar

PALABRAS CLAVES

Frutilla
Secado convectivo
Cinética de secado

RESUMEN

La ingesta de frutillas constituye un aporte de compuestos antioxidantes cuando se incorpora a la dieta humana. Sin embargo, se trata de un fruto altamente perecedero. El secado es una alternativa para prolongar la utilización de las frutillas, reduciendo las pérdidas poscosecha de biocompuestos y facilitando el transporte, por reducción de costos. Hay diversos métodos para llevar a cabo esta operación, sin embargo, a nivel industrial el secado convectivo es la opción de menor costo operativo y de inversión. El objetivo de este trabajo fue secar frutillas y modelar la cinética de secado, a 60°C, 70°C y 80°C en un secadero con circulación forzada de aire. Se ensayaron cinco modelos matemáticos, a través de regresiones no lineales. Para todos los modelos propuestos se evaluó la bondad de ajuste de los datos experimentales, mediante el coeficiente de determinación (R^2) y la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE). Se calculó también el coeficiente de difusividad efectiva. El modelo con mejores ajustes fue el Polinómico, seguido por el modelo de Midili y el modelo Exponencial generalizado. En estos tres casos, los valores de R^2 fueron mayores a 0,96. El coeficiente de difusividad efectivo obtenido se encontró dentro de los valores esperados.

Determination of characteristic parameters of the drying process of strawberries (*Fragaria ananassa*) applying kinetic models

KEYWORDS

Stawberry
Connective drying
Drying kinetics

ABSTRACT

The intake of strawberries is a contribution of antioxidant compounds when it is incorporated into the human diet. However, it is a highly perishable fruit. Drying is an alternative to prolong the use of strawberries, reducing postharvest losses of biocompounds and facilitating transportation, due to cost reduction. The objective of this work was to dry strawberries and to model the drying kinetics, at 60°C, 70°C and 80°C in a dryer with forced air circulation. Five mathematical models were tested, through non-linear regressions. For all the proposed models, the goodness of fit of the experimental data was evaluated, using the coefficient of determination (R^2) and the square root of the mean square error (RMSE). The effective diffusivity coefficient was also calculated. The model with the best fit was the Polynomial, followed by the Midili model and the generalized Exponential model. In these three cases, the R^2 values were greater than 0.96. The effective diffusivity coefficient obtained was within the expected values.

1. Introducción

La incorporación de compuestos con capacidades antioxidantes, antimicrobianas y/o anticancerígenas es un aspecto fundamental para la salud. Un gran número de estudios, por ejemplo, establecieron el potencial anticancerígeno de constituyentes sencillos purificados encontrados en las bayas. Entre estos fitoquímicos, se incluyen compuestos fenólicos tales como las antocianinas, quercitina, pro-antocianidinas, taninos hidrolizados y otras moléculas, relacionadas con los flavonoides (Ondarza Beneitez y Ciapara Higuera, 2016). Además las bayas, son extremadamente ricas en vitamina C y ácidos fenólicos, principalmente ácido elágico (Odriozola, 2009), lo que los convierte en alimentos de gran interés para incorporar en nuestra dieta.

Hay estudios que indican que la actividad antioxidante de los frutos se relaciona principalmente con la especie y la variedad, entre otros factores. Por ejemplo, se encontró que el contenido total de antocianina y la actividad antioxidante en frambuesas están influenciados por el grado de maduración de la fruta, la que a su vez se relaciona con el color del fruto (Peña Varela et al., 2006). En general, los frutos rojos tienen aproximadamente de 2 a 11 veces más antioxidantes (polifenoles, flavonoides y antocianinas) que la manzana o el kiwi. La mejora en las variedades de frutas es un desafío actual (Coronado et al., 2015), considerando la importancia de incorporar antioxidantes a la dieta.

Uno de los frutos rojos es la frutilla, que pertenece a la familia de las Rosáceas, género *Fragariae*. El tamaño del fruto está comprendido entre los 2 y 4 cm de diámetro, pueden ser de color rojo a blanquecino, con pulpa de color rojizo a blanco y es hueca o compacta. Su maduración en climas templados se da en aproximadamente 30 días a partir de la floración (Caminiti, 2008).

En Argentina, el bajo consumo de frutilla no encuentra su justificación en la calidad del alimento en cuestión ni en la oferta disponible. En nuestro país el área cubierta por cultivos de frutilla es de 1.000 hectáreas, con una productividad anual de 30.000 T. Los rendimientos son muy variables por regiones y

productores. Coronda, una de las zonas productivas más importantes a nivel nacional, produce desde septiembre hasta diciembre, siendo una fruta de alto valor económico y con grandes posibilidades de industrialización. Sin embargo, pérdidas mayores al 5 % de humedad hacen que la fruta no conserve la supervivencia comercial, provocan un descenso importante de la calidad sensorial y una disminución en la calidad nutricional, al afectar la apariencia y la textura del fruto. Estos cambios suceden después de tres horas de la cosecha, pero son más notorias a partir del tercer día (Becerra et al., 2013).

La falta de conocimiento técnico y la escasa tecnología aplicada al manejo postcosecha son algunos de los principales problemas que afectan a este cultivo, debido a la corta vida útil que presentan los frutos después de cosechados, lo que reduce el periodo de comercialización. Las frutillas pueden procesarse para obtener productos como harina integral, con diversas aplicaciones posibles que van desde la alimentación animal, la fortificación de matrices alimenticias para otorgarles cualidades antioxidantes y colorantes, entre otras. Bustos et al. (2014), estudió la elaboración de pastas con incorporación de harinas de frutos rojos, encontrando una alternativa de aprovechamiento para estos.

El secado es una alternativa para prolongar la utilización de las frutillas, reduciendo las pérdidas poscosecha de biocompuestos (Hasna et al., 2022) y facilitando el transporte, por reducción de costos. A su vez, se puede contar con materia prima disponible todo el año (Radojčin et al., 2021). Hay diversos métodos para llevar a cabo esta operación, tales como el secado convectivo, la acción de microondas, la deshidratación osmótica con o sin ultrasonido y el secado al vacío (Bruijn y Bórquez, 2014). Sin embargo, a nivel industrial el secado convectivo termina siendo la opción de menor costo operativo y de inversión. Otras ventajas son su simplicidad y la posibilidad de controlar adecuadamente la temperatura de secado (Novikova et al., 2021).

Esta es una variable muy importante a tener en cuenta en los estudios cinéticos, pues es esencial elegir la temperatura para definir el proceso adecuado, que permita, además, obtener un producto de la calidad esperada. Para controlar y optimizar el proceso de

secado, se hace necesaria la utilización de ecuaciones matemáticas para la simulación de la cinética de transferencia de materia (agua) ocurrida durante esta operación unitaria, en función de las condiciones de secado utilizadas. Un modelo matemático del proceso puede considerarse como una herramienta muy eficiente para salvar obstáculos, tales como daños al producto, consumo excesivo de energía, desgaste del equipo o disminución del rendimiento (Olivas et al., 1999). Considerando los antecedentes mencionados acerca de las propiedades nutritivas de las frutillas, su corta vida útil y teniendo en cuenta su producción en Argentina, el objetivo de este trabajo fue secar frutillas, para su posterior utilización como potencial ingrediente alimentario, y modelar la cinética de secado, para distintos tratamientos térmicos.

2. Materiales y métodos

El material empleado consistió en frutillas (*Fragaria ananassa* var. San Andrea) cosechadas en agosto de 2021. El material vegetal fue provisto por un productor de frutillas ubicado en Coronada (O60°42'0" - S31°37'59,99", Santa Fe, Argentina). Las frutillas fueron despalilladas, lavadas con agua potable y fileteadas en láminas de 2 mm de espesor y tamaño uniforme, cortándolas manualmente en forma paralela al eje principal.

Experiencias de secado

Las láminas de frutillas se secaron a 60°C, 70°C y 80°C en un secadero con circulación forzada de aire (Tecno Dalvo, Modelo CHC/F/I, Argentina), con un ventilador centrífugo ajustable, resistencias eléctricas, filtro de aire, bandejas de malla de acero inoxidable y controlador de temperatura proporcional. La velocidad de aire se midió con un anemómetro de sonda de molinete, con una precisión de $\pm 0,03$ m/s, y fue igual a 0,7 m/s.

Los pesos del producto parcialmente deshidratado se obtuvieron por pesada discontinua, con una balanza digital de precisión $\pm 0,01$ gramo y se midieron por triplicado. Los resultados se expresaron como Humedad [g de agua /100 g de material b.h.] y se representaron en función del tiempo de secado. El tratamiento térmico se aplicó hasta alcanzar la humedad de equilibrio, la cual se consideró igual a cero para este trabajo (McMinn et al., 2005; Rayaguru y Routray, 2012).

$$\% \text{ Humedad } [H] = \frac{P_h - P_s}{P_h} \cdot 100 \quad (1)$$

Dónde: P_h es el peso húmedo de la muestra y P_s , el peso seco de la muestra. Los resultados se informaron como promedio de ensayos triplicados con su desviación estándar.

Modelado matemático de las curvas de secado

En base a los pesos obtenidos experimentalmente, se calculó el contenido de humedad para cada tiempo, y luego estos valores se convirtieron a relación de humedades, según la ecuación (2).

$$RH = \frac{H - H_e}{H_o - H_e} \quad (2)$$

Donde: H , H_o y H_e son el contenido de humedad en base húmeda en un tiempo dado, inicial y de equilibrio (en g agua/ 100g frutilla fresca), respectivamente.

Las relaciones de humedades se ajustaron a distintos modelos de secado, con el objetivo de seleccionar aquel que mejor describiera las curvas de secado. Los modelos de secado propuestos se muestran en la Tabla 1, donde A y B son constantes del modelo y t representa el tiempo, expresado en minutos.

Tabla 1. Ecuaciones aplicadas para modelar las curvas de secado

Modelo	Ecuación matemática RH	Referencia
Exponencial	$A e^{-Bt}$	Henderson y Pabis, 2004
Logarítmico	$A + B \ln(t)$	Sarimeseli, 2011
Ley de potencia	$A t^B$	Akpinar y Bicer, 2006
Midilli	$A \cdot e^{-Bt^C} + Bt$	Midilli et al., 2007
Polinómico	$1 + At + Bt^2$	Wang y Singh, 1978

Los modelos matemáticos se aplicaron a los datos experimentales a través de regresiones no lineales, utilizando el programa Polymath 6.1. Para todos los modelos propuestos se evaluó la bondad de ajuste de los datos experimentales, mediante el coeficiente de determinación (R^2) y la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE). Cuanto mayores sean los valores de R^2 y más bajos los valores del RMSE, mejor es la bondad del ajuste (Akpınar y Bicer, 2006).

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (RH_{\text{exp},i} - RH_{\text{pre},i})^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

Donde: $RH_{\text{pre},i}$ es la relación de humedad predicha, $RH_{\text{exp},i}$ es la relación de humedad experimental, N es el número de datos experimentales y z es el número de parámetros del modelo.

Coeficiente de difusividad efectiva D_{ef}

El proceso de secado de productos alimenticios en general ocurre en estado no estacionario (Wang y Brennan, 1991). Crank (1975) propuso la ecuación (4), utilizando la segunda ley de Fick, para modelar la difusividad efectiva de la humedad de una lámina infinita, teniendo en cuenta los siguientes supuestos:

- ✓ La humedad está inicialmente uniformemente distribuida en toda la masa de la muestra.
- ✓ La transferencia de masa es simétrica respecto al centro.
- ✓ El contenido de humedad de la superficie de la muestra alcanza instantáneamente el equilibrio con las condiciones del aire ambiente.
- ✓ La resistencia a la transferencia de masa en la superficie es insignificante en comparación con la resistencia en el interior de la muestra.
- ✓ La transferencia de masa se debe solamente a la difusión.
- ✓ El coeficiente de difusión es constante y la contracción es insignificante.

$$RH = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left(-\frac{(2n-1)^2 \pi^2 D_{ef} t}{4L^2}\right) \quad (4)$$

Donde $n=1, 2, 3, \dots, \infty$, es el número de términos que se consideran, t es el tiempo de secado en segundos, D_{ef}

es el coeficiente de difusividad efectiva en m^2/s y L es el espesor de la muestra en metros. Para tiempos de secado largos solamente se utiliza el primer término de la ecuación (4), obteniéndose la ecuación (5).

$$RH = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{ef} t}{4L^2}\right) \quad (5)$$

El coeficiente de difusividad efectiva se puede calcular a partir de la representación gráfica de $\ln(RH)$ en función del tiempo, para cada uno de los tratamientos.

$$\ln(RH) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \frac{\pi^2 D_{ef} t}{4L^2} \quad (6)$$

$$\text{Pendiente } m = \frac{\pi^2 D_{ef}}{4L^2} \quad (7)$$

El coeficiente de difusividad efectiva (D_{ef}) engloba todos los fenómenos que pueden intervenir en la pérdida de agua. La difusividad varía según cambien las condiciones de secado (temperatura y velocidad del aire), por lo que no es una propiedad intrínseca del material.

3. Resultados y Discusión

El efecto de la temperatura del aire de secado influye en la RH durante todo el proceso, como se observa en la Figura 1, donde se informan los valores experimentales de humedad y las relaciones de humedad en función del tiempo, en las etapas del estado no estacionario del proceso. El incremento en la temperatura del aire de secado disminuye el tiempo total e incrementa la velocidad del proceso. Como se observa, los tiempos de secado fueron de 490 min, 440 min y 360 min para los secados a 60°, 70° y 80 °C, respectivamente.

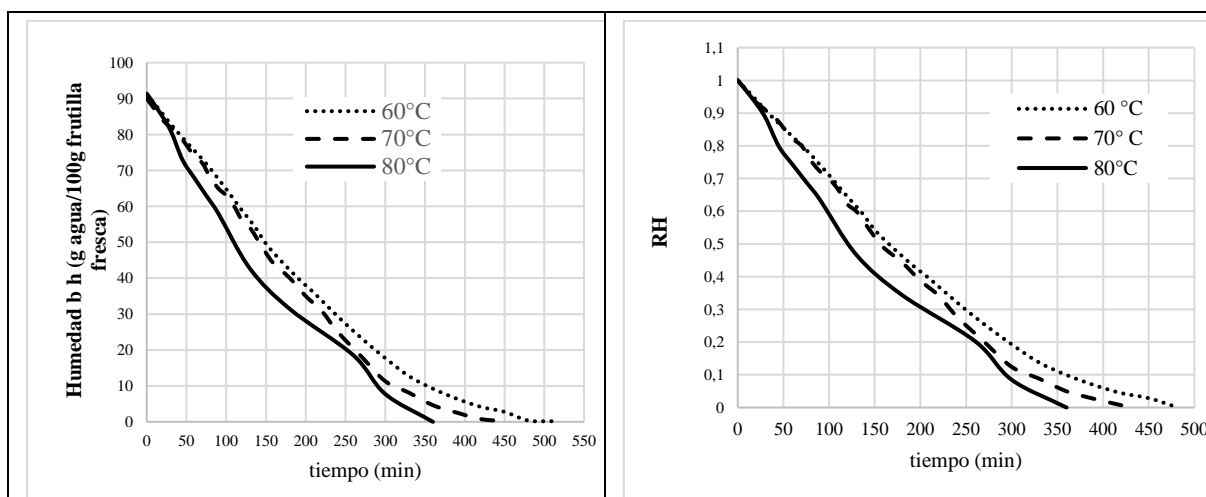


Figura 1. Efecto de la temperatura durante el proceso de secado de frutillas.

En la Figura 2, se observaron tres etapas bien diferenciadas de velocidad de secado: creciente, constante y decreciente. La etapa de secado correspondiente a la caída de la velocidad fue reportada por Silva et al. (2005) en el secado de hojas

de cilantro y por Krokida et al. (2005) durante el secado de zapallo, zanahorias y papas. Dichos autores demostraron que la difusión es el principal mecanismo de migración de la humedad durante el período de velocidad de secado decreciente.

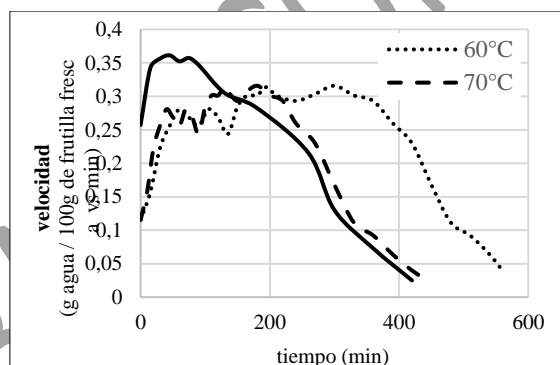


Figura 2. Efecto de la temperatura en la velocidad de secado de frutillas.

Modelado de las curvas de secado

A partir de los datos experimentales del contenido de humedad, se calculó la relación de humedades

[Ec. (2)] y luego los coeficientes de cada uno de los cinco modelos indicados en la Tabla 1. Los resultados se indican en la Tabla 2.

Tabla 2. Coeficientes para los modelos de ajuste ensayados.

Modelo	Temperatura	Parámetros		
		A	B	C
Exponencial generalizado o Henderson y Pabis	60°C	1,0927	-5,100E-3	-
	70 °C	1,0946	-5,400E-3	-
	80°C	1,0577	-6,400E-3	-
Logarítmico	60°C	1,4541	-201,9E-3	-
	70°C	1,4759	-202,6E-3	-
	80 °C	1,3080	-177,8E-3	-
Ley de potencia	60°C	4,2104	-452,4E-3	-
	70°C	3,0397	-376,0E-3	-
	80 °C	3,8460	-452,8E-3	-
Midilli	60°C	0,9369	7,460E-5	1,7710
	70°C	0,9396	6,922E-5	1,8080
	80°C	0,9354	18,64E-5	1,6971
Polinómico o de Wang y Singh	60°C	-0,0035	2,780E-6	-
	70°C	-0,0035	2,496E-6	-
	80°C	-0,0045	4,902E-6	-

La comparación de los modelos empleados sobre la base del coeficiente de regresión (R^2) y de la raíz

cuadrada del error cuadrático medio (RMSE) se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros estadísticos R^2 y RMSE para los modelos ensayados.

Modelos	Temperatura de secado					
	60 °C		70 °C		80°C	
	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
Exponencial generalizado	0,9712	0,0110	0,9622	0,0116	0,9819	0,0127
Logarítmico	0,7146	0,0347	0,6972	0,0329	0,7168	0,0503
Ley de potencia	0,3394	0,0528	0,3190	0,0494	0,0394	0,0926
Midilli	0,9944	0,0049	0,9941	0,0046	0,9824	0,0125
Polinómico	0,9971	0,0035	0,9953	0,0041	0,9972	0,0050

Observando los parámetros de la Tabla 3, el modelo que mejor ajusta al secado de frutillas a las tres temperaturas propuestas es el Polinómico, seguido por el modelo de Midilli. El modelo Exponencial generalizado muestra un adecuado desempeño. En estos tres casos, los valores de R^2 fueron mayores a 0,90, valor considerado como adecuado para aceptar el ajuste (Doymaz, 2008). Los modelos Logarítmico y de Ley de potencia mostraron el menor desempeño, a diferencia de lo encontrado por Doymaz (2008), quien obtuvo que el modelo Logarítmico fue el que mostró el mejor ajuste, cuando se secaron frutillas

por secado convectivo, a temperaturas de 50° y 55 °C y con un pretratamiento por inmersión en solución alcalina de oleato de etilo al 2% (2 % Oleato de Etilo + 5 % K_2CO_3). En este trabajo, además del modelo Logarítmico, se ensayaron los modelos de Lewis y Page.

En la Figura 3 se muestra la comparación de las curvas de secado obtenidas representando los datos experimentales y los obtenidos por aplicación del modelo polinómico, reforzando la bondad del ajuste ya indicada por los valores de R^2 y RMSE.

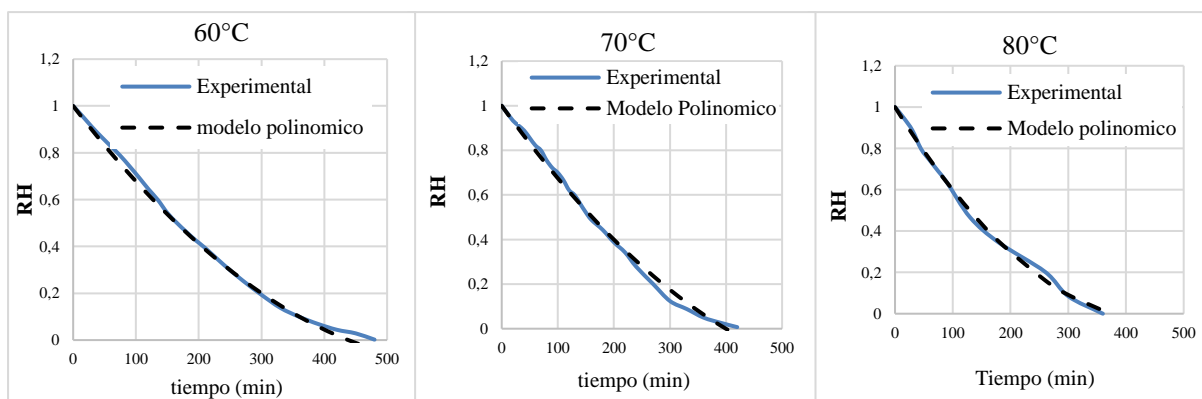


Figura 3. Comparación de las curvas de secado con el modelo polinómico y con los datos experimentales.

Coefficiente de Difusividad efectiva

En la Figura 4 se muestra la representación gráfica del $\ln(RH)$ en función del tiempo, para cada uno de los tratamientos ensayados y la Tabla 4 muestra los valores del D_{ef} obtenidos.

Se observa que el coeficiente de difusividad efectiva del agua aumentó con el incremento de la temperatura del aire de secado. Como se esperaba, el uso de temperaturas del aire de secado más altas, promovió una mayor movilidad del agua en los sistemas alimentarios, desde el interior hasta la superficie y aumentó la difusividad efectiva de la

transferencia de masa. Los resultados obtenidos se encuentran dentro del intervalo hallado para los alimentos (10^{-10} y 10^{-8} m^2/s) (Zogzas et al., 1996) y son del mismo orden de magnitud que los reportados por otros autores para el secado en estufa de frutas y vegetales (Doymaz, 2004; Vega Galvez et al., 2009; Masciarelli et al., 2007). Vega et al. (2005), por ejemplo, para el secado de pimientos rojos a 60 °C reportaron valores del coeficiente de difusión de $6,9 \times 10^{-9}$ m^2/s . Doymaz (2007) encontró valores entre $4,95 \times 10^{-10}$ y $1,42 \times 10^{-9}$ m^2/s , en sus trabajos acerca del secado convectivo de frutillas, a temperaturas del aire de secado entre 50° y 65 °C.

Tabla 4. Coeficiente de Difusividad efectiva D_{ef} a 60 °, 70 ° y 80 °C.

60 °C	70 °C	80 °C
$1,11 \cdot 10^{-10} \frac{m^2}{s}$	$1,30 \cdot 10^{-10} \frac{m^2}{s}$	$1,70 \cdot 10^{-10} \frac{m^2}{s}$
$R^2 = 0,9835$	$R^2 = 0,9811$	$R^2 = 0,9961$

4. Conclusiones

Al comparar las cinéticas de secado de frutillas en láminas, se puede concluir que esta fue influenciada fuertemente por la temperatura del aire de secado; temperaturas menores llevaron a tiempos

prolongados de secado para obtener frutilla con bajos valores de humedad. Entre los modelos ensayados, el modelo polinómico mostró una mejor calidad de ajuste de los datos experimentales a las tres temperaturas trabajadas.

El coeficiente de difusividad efectivo obtenido se encontró dentro de los valores esperados.

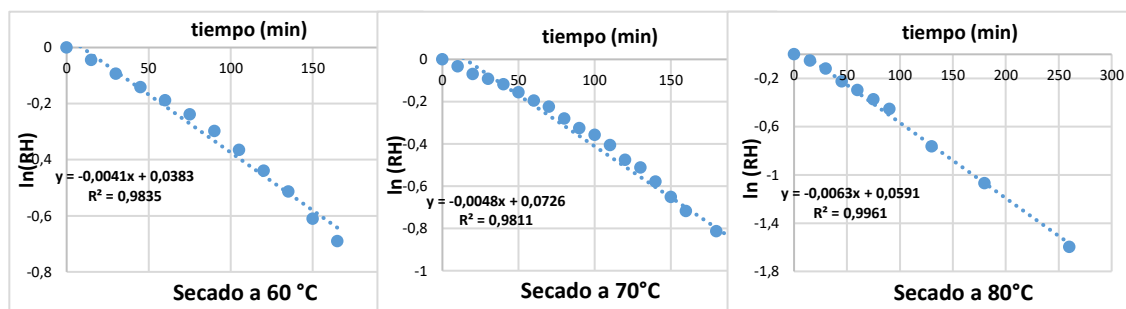


Figura 4. Representación gráfica de ln(RH) en función del tiempo, para cada uno de los tratamientos.

Será conveniente evaluar la influencia de pretratamientos de la fruta con diversas soluciones, que podrían permitir acelerar el proceso de secado.

5. Agradecimientos

Este trabajo se realizó en el marco del Proyecto UTI5530TC, financiado por la Universidad Tecnológica Nacional.

6. Referencias

- Akpinar, E.K., Bicer, Y. (2006). Mathematical modelling and experimental study on thin layer drying of strawberry, *Inter. J. Food Eng.* 2 (1).
- Becerra C, Robledo P, Defilippi B. (2013). Cosecha y poscosecha de frutilla [en línea]. Chillan: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias 262. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7626> (Consultado: 2 marzo 2023).
- Bruijn, J., Bórquez, R. (2014). Quality retention in strawberries dried by emerging dehydration methods. *Food Research International* 63 (2014) 42–48. doi/10.1016/j.foodres.2014.03.029
- Bustos M. C.; Perez G. T.; Leon A. E. (2014). Elaboración de pastas con incorporación de frutos rojos. Conicet, Argentina.
- Caminiti A. (2008). Cultivo de frutillas en la provincia del Neuquén. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. ISSN: 1667-4014. Disponible: http://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/2815/INTA_CRPatagoniaNorte_EEABariloche_Caminiti_A_Cultivo_Frutillas.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Coronado, M., Vegay León, S., Rey Gutiérrez, T., Vázquez, M.F., Radilla, C.V. (2015). Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Revista Chilena de Nutrición*, 42(2): 206-212.
- Crank, J. (1975). *The Mathematics of Diffusion*, Clarendon Press, Oxford, USA.
- Doymaz, I. (2004). Effect of pre-treatments using potassium metabisulphide and alkaline ethyl oleate on the drying kinetics of apricots, *Biosys. Eng.* 89, 281–287.
- Doymaz, I. (2008). Convective drying kinetics of strawberry. *Chemical Engineering and Processing*, 47, 914–919. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2007.02.003>
- Hasna, S. S., Nugrahini, A. D. y Falah, M. A. F. (2022). Consumer acceptance of quality characterization of dehydrated strawberry product. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 980, 012035. doi:10.1088/1755-1315/980/1/012035
- Krokida MK, Karathanos VT, Maroulis ZB, Marinou/Kouris D. (2005). Drying kinetics of some vegetables, *Journal of Food Engineering*, 54 4: 391-403.
- Henderson, S.M.; Pabis, S. Grain drying theory. II. (1961). Temperature effects on drying coefficients. *J. Agric. Eng. Res.*, 6, 169–174.
- McMinn, W.A.M., McLoughlin, C.M., Magee, T.R.A. (2005). Thin-layer modeling of microwave, microwave-convective, and microwave-vacuum drying of pharmaceutical powders, *Dry. Technol.* 23, 513–532.
- Masciarelli R.; Lucero H.; Silvester S.; Tosi E. (2007). Evaluación de la capacidad antioxidante de harina de frambuesas obtenida luego del secado de los frutos a diferentes temperaturas y análisis estadístico del EC50. Disponible en: <http://www.publitech.com.ar/contenido/objetos/Evaluaciondelacapacidadantioxidante.pdf>
- Midilli, A.; Kucuk, H.; Yapar, Z. (2007). A new model for single-layer drying. *Dry. Technol.*, 20, 1503–1513.
- Novikova IK, Blinnikova OM, Eliseeva LG, Blinnikova DA. (2021). Influence of drying methods on preservation of biologically active substances of garden strawberries being raw material for food enrichment *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 845 012094. doi:10.1088/1755-1315/845/1/012094
- Ordiozola I. (2009). Obtención de zumos y frutos cortados con alto potencial antioxidante mediante tratamientos no térmicos. Tesis doctoral. Universitat de Lleida. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària.
- Olivas R, Molina FJ, Pérez A, Ortega E. (1999). Development of mathematical model for drying of jalapeño peppers in batch process, *Conference in Annual Meeting of AIChE*, New York, U.S.A.
- Ondarza Beneitez M. A.; Ciapara Higuera I. (2016). Importancia biotecnológica de las frutillas de berries en la salud humana. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Mauricio_Ondarza/publication/293825805_Importancia_biotecnologica_de_Frutillas

- [_de_Berries_en_la_Salud_Humana_Biotechnological_importance_of_Berry_fruits_on_Human_Health/links/56bc8c0308ae08d7a6bbf407.pdf](#) (10/06/2018)
- Peña-Varela G.; Salinas-Moreno Y.; Ríos-Sánchez R. (2006). Contenido de antocianinas totales y actividad antioxidante en frutos de frambuesa (*Rubusidaeus L.*) con diferente grado de maduración. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(2).
- Radojčín, M., Pavkov, I., Bursá c Kovačević, D., Putnik, P., Wiktor, A., Stamenković, Z., ... Gere, A. (2021). Effect of selected drying methods and emerging drying intensification technologies on the quality of dried fruit: A review. *Processes*, 9(1), 132. <https://doi.org/10.3390/pr9010132>
- Rayaguru, K., Routray, W. (2012). Mathematical modeling of thin layer drying kinetics of stone apple slices. *Int. Food Res. J.*, 19, 1503–1510.
- Silva AS, Almeida F de AC, Lima EE, Silva FLH, Gomes JP. (2005). Dry kinetics of coriander (*Coriandrum sativum*) leaf and item. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 6(1): 13-19.
- Sarimeseli, A. (2011). Microwave drying characteristics of coriander (*Coriandrum sativum L.*) leaves. *Energy Convers. Manage*, 52, 1449–1453
- Vega-Gálvez, A., Lemus-Mondaca, R., Tello-Ireland, C., Miranda, M., Yagnam, F. (2009). Kinetic study of convective drying of blueberry variety O'Neil (*Vaccinium corymbosum L.*). *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69(2), 171–178. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392009000200006>.
- Wang, N., Brennan, J.G. (1991). A mathematical model of simultaneous heat and moisture transfer during drying of potato. *Journal of Food Engineering*, 24(1), 47–60. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(94\)P1607-Y](https://doi.org/10.1016/0260-8774(94)P1607-Y)
- Wang, C.Y.; Singh, R.P. (1978). Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. *Trans. ASAE*, 11, 668–672.
- Zogzas, N.P., Maroulis, Z.B., Marinos-kouris, D. (1996). Moisture Diffusivity Data Compilation in Foodstuffs. *Drying Technology* 14 (10), 2225-2253.

PRUEBA DE CORRECCIONES