



"VIGILADA MINEDUCACIÓN"



EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y EL ESPESOR EN EL SECADO POR VENTANA REFRACTIVA DE BATATA BLANCA (*Ipomoea batatas* L.) SOBRE LA CINÉTICA DE SECADO Y PROPIEDADES FÍSICAS

Heyne. Montalvo-Lambrano*, César D. Padilla-Feria*, Omar A. Pérez-Sierra**, Fabián A. Ortega-Quintana.

*Estudiante de Ingeniería de Alimentos,

**Docente de Ingeniería de Alimentos.

Universidad de Córdoba, Córdoba, Colombia.

RESUMEN

El efecto de la temperatura y el espesor sobre la cinética de secado y propiedades físicas (encogimiento, densidad aparente y porosidad) de Batata (*Ipomoea Batatas* L.) sometidas a secado por Ventana Refractiva fue estudiado con el propósito de determinar los parámetros cinéticos del proceso, y el comportamiento de sus propiedades físicas. Las muestras fueron adecuadas en forma de láminas cuadradas con 3.5 cm de lado y espesores de 1.5 y 2.5 mm, las cuales fueron sometidas a temperaturas de 75, 85 y 95°C. El diseño experimental fue dirigido bajo un diseño en bloque completamente al azar con arreglo factorial 3x2 (3 temperaturas y 2 espesores) con tres repeticiones. Las curvas de secado se construyeron a partir de la metodología Geankoplis (1998), el encogimiento fue estimado por medición de los lados y espesor de las láminas, la densidad aparente fue determinada por la relación entre la pérdida de peso y reducción de volumen, y la porosidad por la relación entre la densidad aparente y densidad de los sólidos. Con las curvas de secado se evidenció que la difusión fue el mecanismo que gobernó este proceso. El encogimiento, densidad aparente y porosidad fueron afectados por la temperatura significativamente, sin embargo, solo el espesor afectó el encogimiento de las láminas.

1. INTRODUCCIÓN

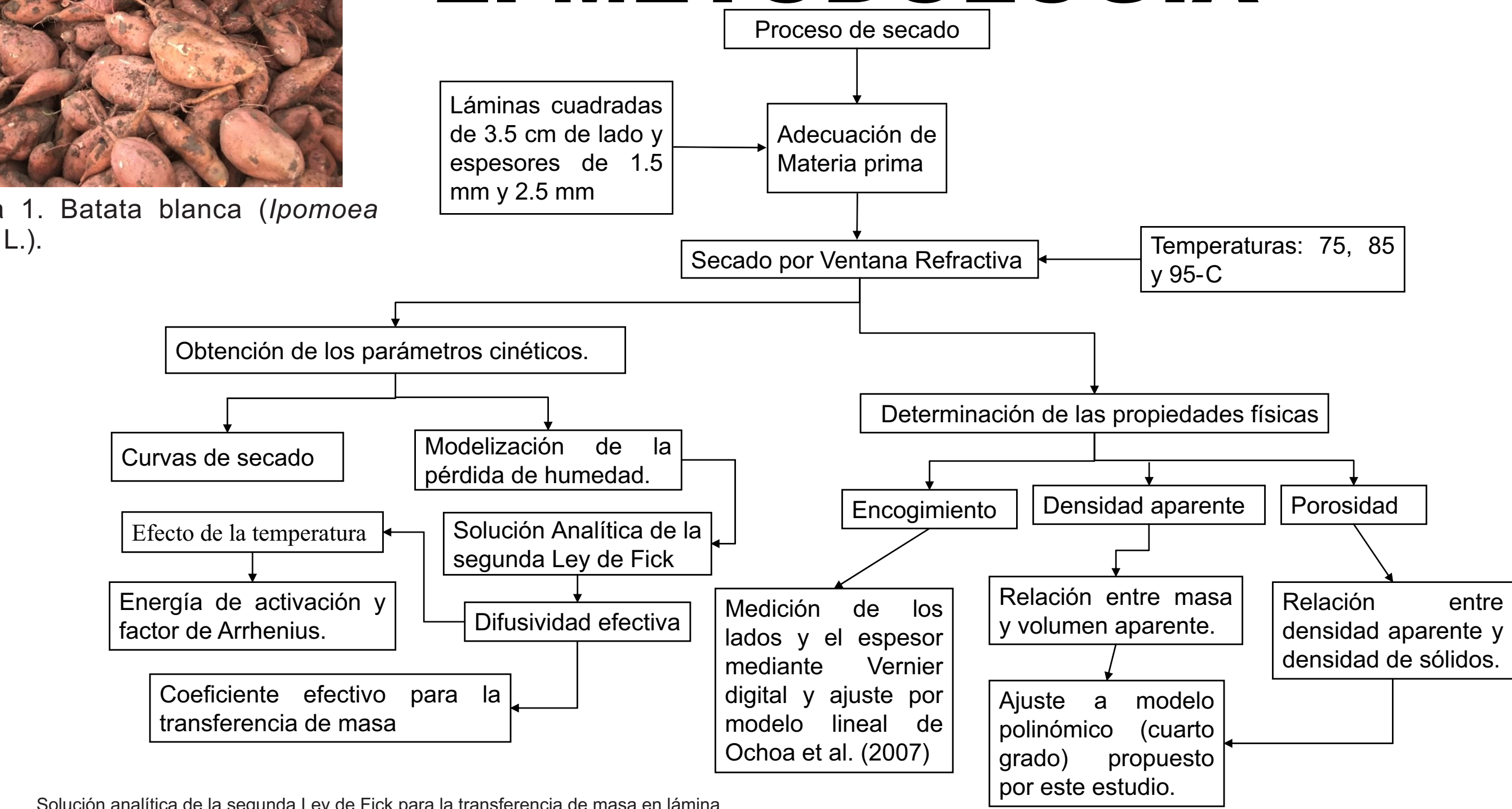
La Batata (*Ipomea batatas* L.) es una planta perteneciente a la familia *Convolvulaceae* o "gloria de la mañana", la cual abarca más de 1000 especies. Esta es una raíz estacionaria y altamente perecedera debido a la humedad elevada de esta (Freitas y Pareek 2018). Por tales razones, se presentan pérdidas postcosecha de este tubérculo durante su almacenamiento.

La Ventana Refractiva es un novedoso método de secado que emplea temperaturas cercanas al punto de ebullición del agua y tiempos cortos de secado, lo que permite reducir los tiempos de producción, y así aumentar la retención de nutrientes y disminuir de los efectos negativos en las características del producto final (Leiton 2012; Baeghbal y Niakousari 2018). Secuencialmente, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la temperatura y el espesor sobre la cinética de secado y propiedades físicas (encogimiento, densidad aparente y porosidad) de la Batata Blanca (*Ipomoea batatas*) en el secado por Ventana Refractiva™ para la determinación de los parámetros cinéticos mediante la aplicación el modelo de la solución analítica de la segunda ley de Fick para la transferencia de humedad no estacionaria unidimensional en lámina infinita, y el comportamiento de la propiedades físicas.

2. METODOLOGÍA



Figura 1. Batata blanca (*Ipomoea batata* L.).



Solución analítica de la segunda Ley de Fick para la transferencia de masa en lámina infinita.

$$MR = \sum_{i=1}^n \frac{2 \operatorname{sen}^2(\mu_i)}{\mu_i (\mu_i + \operatorname{sen}(\mu_i) \cos(\mu_i))} \exp\left(-\frac{\mu_i^2 D_{eff} t}{L^2}\right)$$

Donde MR es la razón de humedad, μ_i es la raíz positiva de la ecuación, D_{eff} es la difusividad efectiva, t es el tiempo y L es el espesor del producto.

Relación del número de Biot para determinar el coeficiente efectivo de transferencia de masa (Km).

$$Bi_m = \mu_i \tan(\mu_i) = \frac{K_m L}{D_{eff}}$$

Donde Bi_m es el número de Biot para la transferencia de masa.

Modelo de tendencia tipo Arrhenius para determinar la energía de activación (Ea) y el factor de Arrhenius

$$D_{eff} = D_0 e^{\left(\frac{-E_a}{RT}\right)}$$

Donde R es la constante universal de los gases y T es la temperatura absoluta en Kelvin.

Modelo lineal propuesto por Ochoa et al. (2007)

$$\frac{V_t}{V_0} = a \cdot MR + b$$

Donde V_0 es el volumen en el tiempo, V_t es el volumen inicial del producto, a es el encogimiento promedio y b es el encogimiento máximo.



Figura 2. Montaje del equipo de Ventana Refractiva.

$$\rho_{(t)} = k_1 \cdot MR^4 + k_2 \cdot MR^3 + k_3 \cdot MR^2 + k_4 \cdot MR + k_5$$

$$\varepsilon_{(t)} = d_1 \cdot MR^4 + d_2 \cdot MR^3 + d_3 \cdot MR^2 + d_4 \cdot MR + d_5$$

Modelos polinómicos propuestos en este estudio para la densidad aparente ($\rho_{(t)}$) y la porosidad ($\varepsilon_{(t)}$) en función de la razón de humedad (MR), donde $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, d_1, d_2, d_3, d_4, d_5$ son constantes arbitrarias del modelo.

Tabla 1. Coeficiente de difusividad efectiva y coeficiente efectivo de transferencia de masa.

TRATAMIENTO	Deff *10 ⁷ (m ² /s)	Km*10 ⁶ (m/s)	R ²
75°C-1.5mm	2.95±1.69	10.4±3.35	0.9927
85°C-1.5mm	7.41±6.64	18.6±1.09	0.9946
95°C-1.5mm	16.10±13.1	36.6±1.47	0.9902
75°C-2.5mm	12.0±3.73	33.0±6.14	0.9889
85°C-2.5mm	22.7±22.1	45.2±2.31	0.9857
95°C-2.5mm	53.9±3.30	80.5±1.56	0.9804

Tabla 2. Energía de activación (Ea) y factor de Arrhenius (Do) para el modelo tipo Arrhenius.

TRATAMIENTO	Ea (kJ/mol)	D ₀ (m ² /s)	R ²
ESPESOR 1.5 mm	39.25	1.44E04	0.9988
ESPESOR 2.5 mm	34.74	4.30E02	0.9897

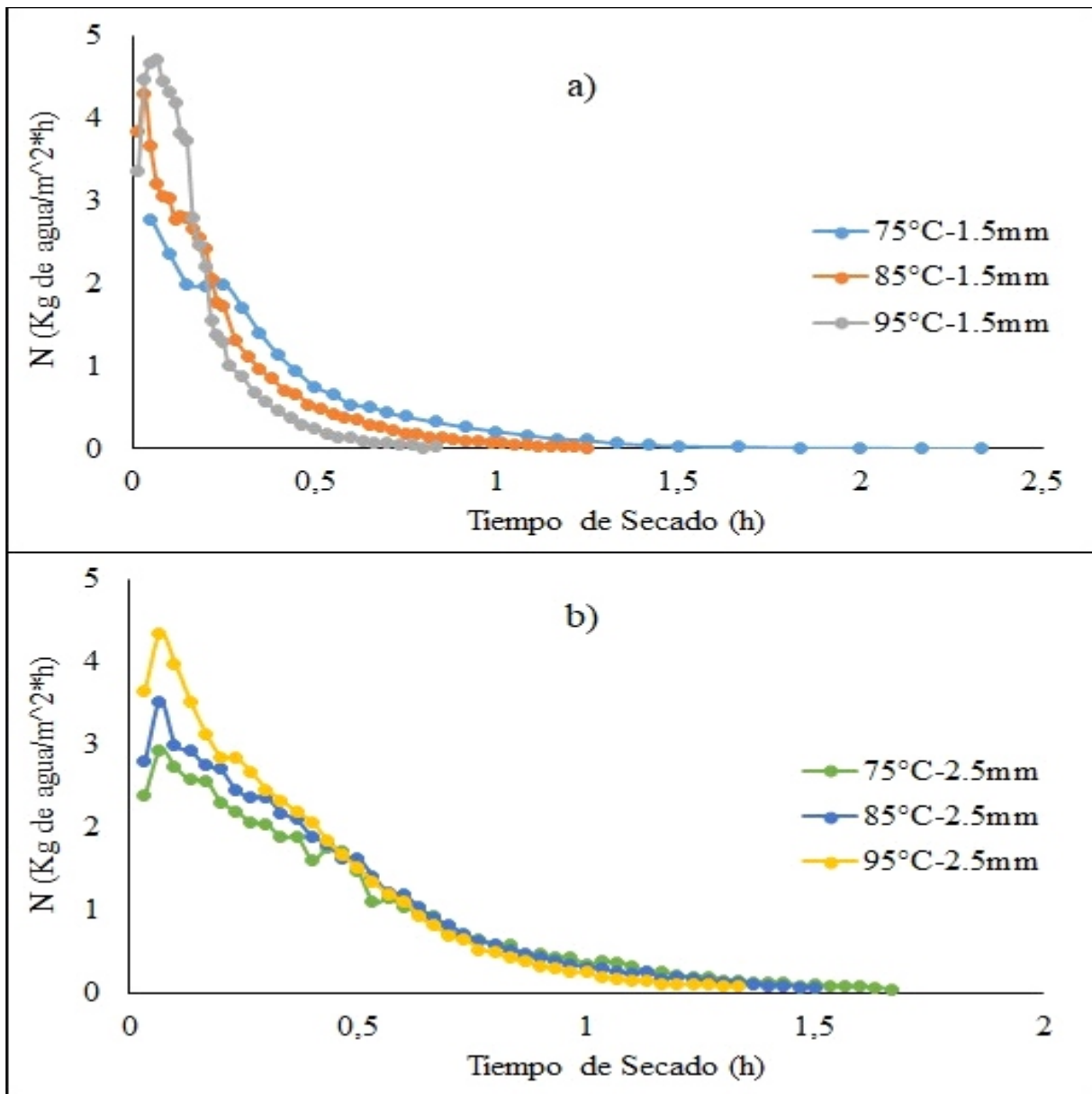


Figura 3. Curvas de velocidad de secado versus tiempo de secado a diferentes temperaturas. a) Espesor de 1.5 mm; b) Espesor de 2.5 mm.

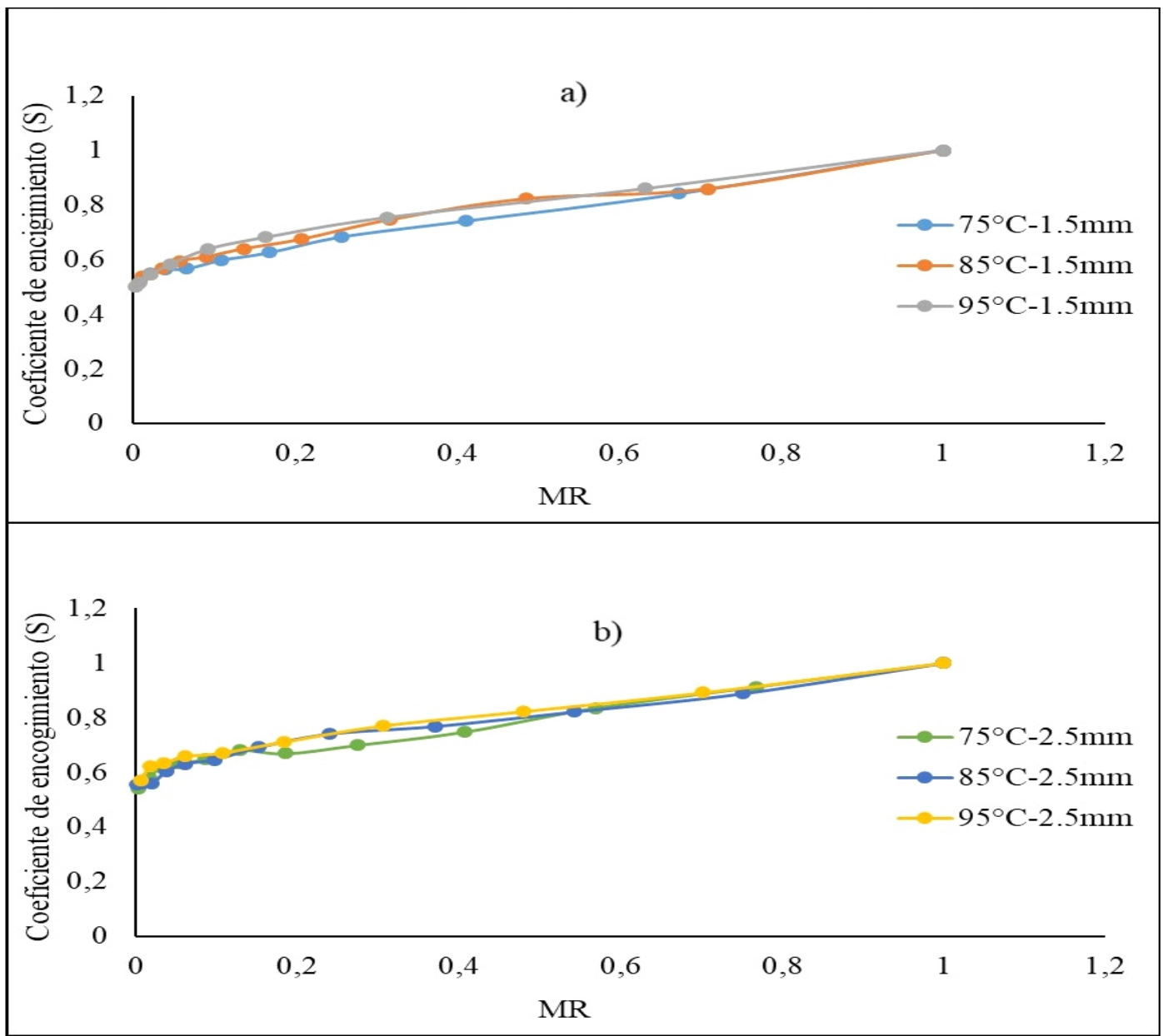


Figura 4. Coeficiente de encogimiento versus razón de humedad durante el secado de Batata por Ventana Refractiva. a) Espesor de 1.5 mm; b) Espesor de 2.5 mm.

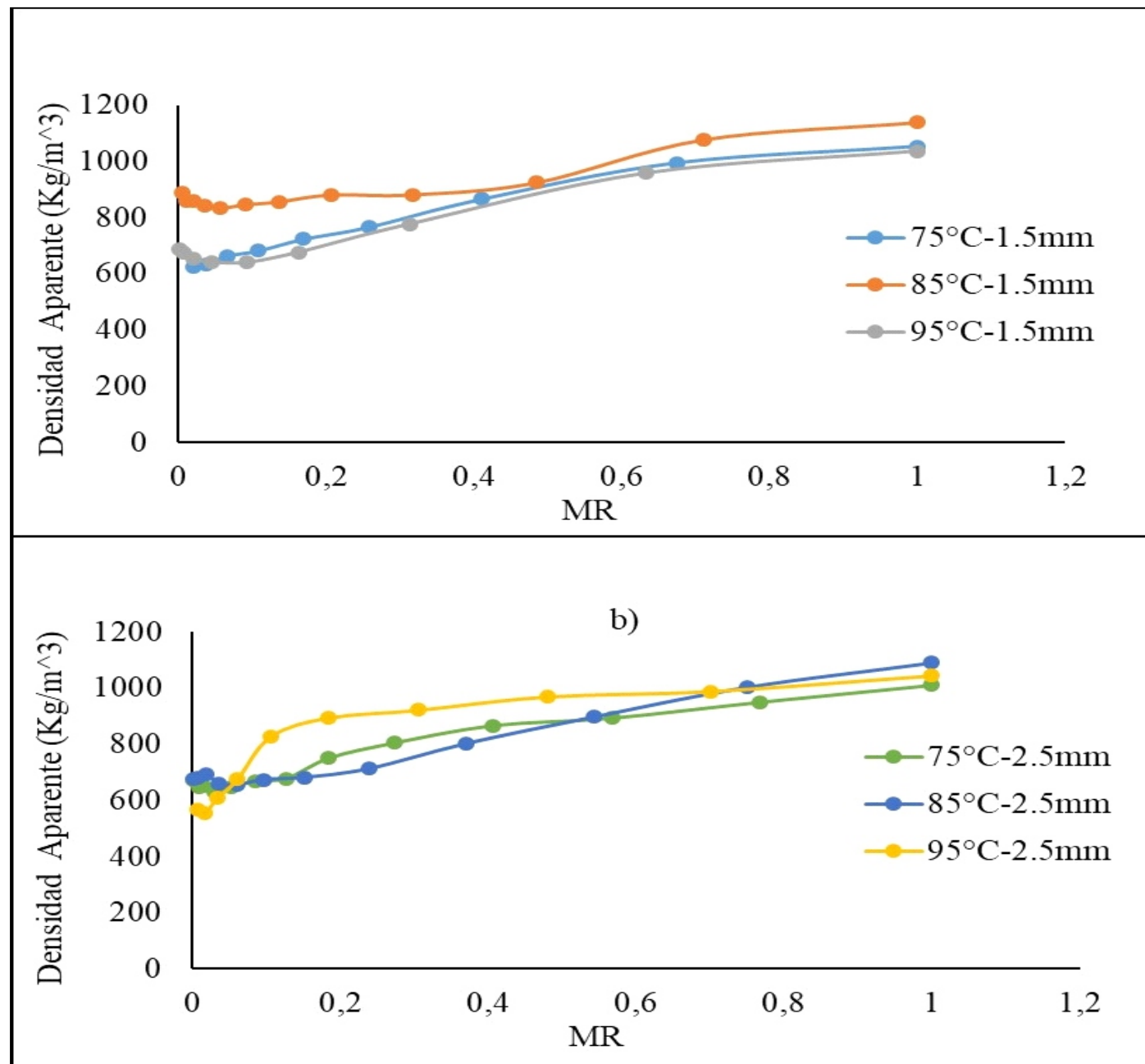


Figura 5. Densidad aparente versus razón de humedad durante el secado de Batata por Ventana Refractiva. Espesor de 1.5 mm; b) Espesor de 2.5 mm.

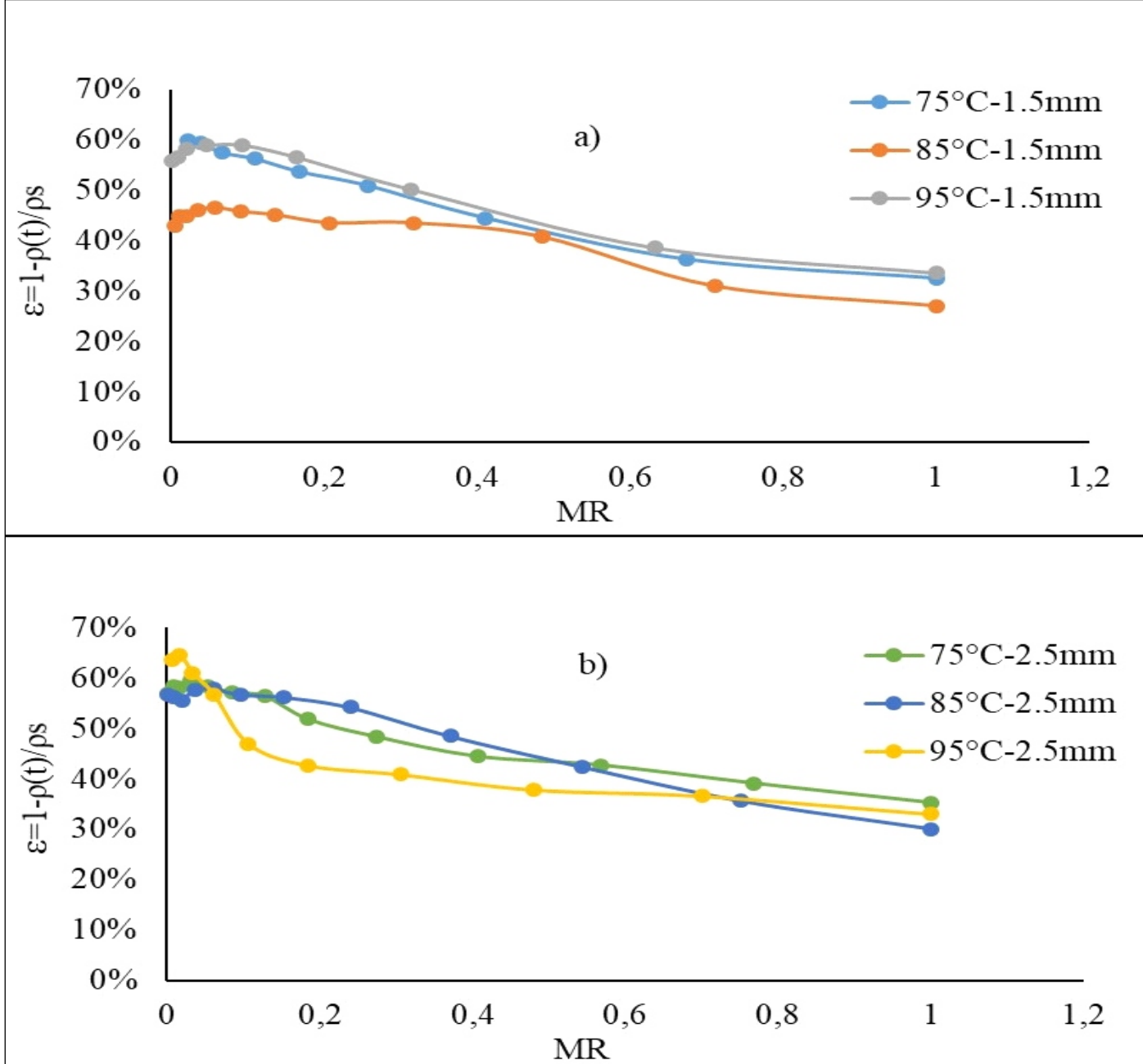


Figura 6. porosidad versus razón de humedad durante el secado de Batata por Ventana Refractiva. a) Espesor de 1.5 mm; b) Espesor de 2.5 mm.

4. CONCLUSIONES

- Las velocidades de secado aumentaron con el incremento de la temeperatura, al igual que con la disminución del espesor causando efectos significativos sobre esta. Además, estos factores afectaron significativamente en el tiempo de secado.
- La transferencia de humedad tuvo lugar en el periodo decreciente, demostrando que la difusión es el mecanismo que gobierna el proceso de secado de Batata.
- El encogimiento, densidad aparente y porosidad de las láminas de Batata fueron afectados de manera significativa por la temperatura del agua, sin embargo, sólo la primera propiedad fue afectada por el espesor de las láminas de Batata.
- El encogimiento aumentó en forma lineal en la mayoría del proceso de deshidratación, este comportamiento fue descrito adecuadamente por el modelo de Ochoa et al. (2007), dando a entender que el encogimiento de las muestras fue ideal.
- La densidad aparente disminuyó durante la pérdida de humedad en las láminas de Batata, obteniéndose un perfil de decadencia fluctuante. El comportamiento de esta propiedad física fue descrito de manera adecuada por el modelo polinómico propuesto en este estudio.

5. BIBLIOGRAFÍA

- AOAC (2012). Official methods of analysis 19th ed. Association of official Analytical Chemist, Washington, DC., USA.
- Freitas, S. and Pareek, S. (2018). Postharvest Physiological Disorders in Fruits and Vegetables. Boca Raton: Taylor & Francis. Págs: 719-748.
- Baeghbal, V. and Niakousari, M. (2018). A review on mechanism, quality preservation and energy efficiency in Refractance Window drying a conductive hydro-drying technique. Journal Nutritional Food Technology. 1(2): 50-54.
- Dissa, A., Desmorieux, H., Savadogo, P., Segda, B. and Kouliadi, J. (2010). Shrinkage, porosity and density behavior during convective drying of spirulina. Journal of Food Engineering. 97: 410-418.
- Geankoplis, C. (1998). Procesos de transporte y operaciones unitarias. CECSA, México, pag. 580-618.
- Ochoa, M., Kesseler, A., Pirone, B., Márquez, C. y De Michellis, A. (2007). Analysis of shrinkage phenomenon of whole sweet cherry fruits (*Prunus avium*) during convective dehydration with very simple models. Journal of Food Engineering. 79: 657-661.

Tabla 3. Modelo lineal para los diferentes tratamientos con sus respectivos coeficientes de correlación (R^2).

TRATAMIENTO	Modelo lineal	R ²
75°C-1.5 mm	V _t /V _i = 0.4521*MR + 0.548	0.9958
85°C-1.5 mm	V _t /V _i = 0.464*MR + 0.5568	0.9648
95°C-1.5 mm	V _t /V _i = 0.4748*MR + 0.5551	0.9429
75°C-2.5 mm	V _t /V _i = 0.4197*MR + 0.589	0.9719
85°C-2.5 mm	V _t /V _i = 0.4238*MR + 0.5893	0.9591
95°C-2.5 mm	V _t /V _i = 0.3945*MR + 0.6206	0.9729

$$\frac{V_t}{V_0} = a \cdot MR + b$$

Tabla 4. Modelo polinómico para la densidad aparente, con los valores de cada constante y sus respectivos coeficientes de correlación (R^2).

TRATAMIENTO	Modelo polinómico de grado 4					
	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	R ²
75°C-1.5 mm	-516	666.6	-410	700.9	610.8	0.9983
85°C-1.5 mm	-1331	1699	-13.25	-76.19	860.6	0.9748
95°C-1.5 mm	5085	-1.07E4	6995	-971.3	680.2	0.9974
75°C-2.5 mm	2365	-4502	2332	171.7	644.9	0.9851
85°C-2.5 mm	1607	-4002	3223	-419.2	681.8	0.9968
95°C-2.5 mm	-5301	1.25E4	-1.02E4	3527	516	0.9863

$$\rho_{(t)} = k_1 \cdot MR^4 + k_2 \cdot MR^3 + k_3 \cdot MR^2 + k_4 \cdot MR + k_5$$

Tabla 5. Modelo polinómico para la porosidad, con los valores de cada constante y sus respectivos coeficientes de correlación (R^2).

TRATAMIENTO	Modelo polinómico de grado 4					
	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	R ²
75°C-1.5mm	0.331	-0.4276	0.263	0.4496	0.6082	0.9992
85°C-1.5mm	0.8536	-1.0898	0.0085	0.0489	0.448	0.9748
95°C-1.5mm	-3.2615	6.8968	-4.4865	0.623	0.5637	0.9974
75°C-2.5mm	-1.5172	2.8875	-1.4959	-0.1101	0.5863	0.9851
85°C-2.5mm	-1.0306	2.5672	-2.0676	0.2689	0.5627	0.9968
95°C-2.5mm	3.4001	-8.0596	6.5839	-2.2626	0.669	0.9863

$$\varepsilon_{(t)} = d_1 \cdot MR^4 + d_2 \cdot MR^3 + d_3 \cdot MR^2 + d_4 \cdot MR + d_5$$