



VALORIZACIÓN DE DESECHOS DE CEBOLLA (*Allium cepa* L.) MEDIANTE SECADO EN LECHO VIBRO-FLUIDIZADO

VALORIZATION OF ONION WASTE (*Allium cepa* L.) BY VIBRO-FLUIDIZED BED DRYING

E. Castañeda-Pérez^{1*}, M.G. Vizcarra-Mendoza², D. Betancur-Ancona¹,
D.M. Hernández-Martínez³, I. Anaya-Sosa^{4†}

¹Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, Periférico Norte, Km. 33.5, Tablaje Catastral 13615, Col. Chuburná de Hidalgo Inn, C.P. 97203, Mérida, Yucatán, México.

²Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, México.

³Departamento de Biofísica, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Santo Tomás, Del. Miguel Hidalgo, Ciudad de México, México.

⁴Departamento de Ingeniería Química, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Santo Tomás, Del. Miguel Hidalgo, Ciudad de México, México.

Recibido 16 de mayo de 2017; Aceptado 6 de noviembre 2017

Resumen

El desperdicio de alimentos en México fue de 16.5 millones de toneladas en 2009 y específicamente de la cebolla de 250,352.61 toneladas. Este trabajo propone una metodología para el aprovechamiento y valorización de cebolla de desecho mediante el secado en lecho vibrofluidizado (LVF). El efecto de la temperatura del aire de secado, de la carga de material en el secador y de la geometría del corte fueron evaluados con respecto al coeficiente de difusión efectiva (D_{ef}) [m^2s^{-1}], la pungencia residual [μmol piruvato g^{-1}] y el costo de producción [$\$/kg^{-1}$]. Los porcentajes de retención de pungencia fueron de 42-52, 50-56 y 57-62% en la cebolla secada a 60, 70 y 80°C respectivamente, mayores para gajos. La relación H/D no presentó diferencia significativa ($P < 0.05$) en el valor de D_{ef} , pero sí para la geometría, en los gajos fue mayor que en los prismas rectangulares y las medias rodajas. La energía de activación (E_a), aumentó con respecto a la relación H/D. Los valores de las medias de E_a no fueron diferentes significativamente ($P < 0.05$) con respecto a la geometría, pero sí con respecto a la H/D 0.5 y 1.5. El menor costo de producción se obtuvo en prismas rectangulares y medias rodajas con 40.46 $\$/kg^{-1}$ de cebolla.

Palabras clave: valorización, desecho de cebolla, secado, lecho vibro-fluidizado.

Abstract

The waste of food in Mexico was over 16.5 tons millions in 2009. In the case of onion, it was 250,352.61 tons. This research proposes a methodology to avail the wasted onion through vibrofluidized bed drying (VBD). The air drying temperature, the charge of the material into the dryer and the geometry of the cut was analyzed with respect to the effective diffusion coefficient (D_{ef}) [m^2s^{-1}], the value of residual pungency (μmol piruvate g^{-1}) and production cost ($\$/kg^{-1}$). The percentage of retention for initial pungency was 42-52, 50-56 and 56-72 in dried onion at 60, 70 and 80 °C respectively. The greater values were for onions segments geometry. There was not difference on D_{ef} for the bulk of material for any geometry, however the D_{ef} value in onions segments was greater than square or middle slices geometry. The activation energy (E_a), increased with respect to the charge of material into the dryer. The averages of E_a were no significant difference respect to the geometry but were different respect to the relation of material bulk 0.5 and 1.5. The lowest production cost was obtained in rectangular prisms and half slices with 40.46 $\$/kg^{-1}$ onion.

Keywords: valorization, waste onion, drying, vibro-fluidized bed.

* Autor para la correspondencia. E-mail: eduardo.castaneda@correo.uady.mx
doi: 10.24275/uam/izt/dcbj/revmexingquim/2018v17n1/CastanedaE
issn-e: 2395-8472

1 Introducción

Las prácticas agropecuarias varían dependiendo de la región y de cada país, por las condiciones territoriales o la disponibilidad de recursos como agua, tipo de suelo y temperatura. A pesar de que estas actividades requieren de técnicas y prácticas acreditadas, muchas han sido transferidas por generaciones o por experiencia empírica del productor. Actualmente, los productores se tienen que enfrentar a mercados nacionales e internacionales donde la calidad, el tamaño y la frescura de sus productos deben ser competitivos bajo adecuados manejos y prácticas de cosecha y postcosecha. Cuando los productos agrícolas no cumplen con los estándares establecidos de calidad son desechados y considerados desperdicio.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), cada año a nivel mundial se tiran o desperdician 1.3 millones de toneladas de alimentos, esto es un tercio de los alimentos producidos para consumo humano (FAO, 2011). En América Latina, el 40% de las pérdidas ocurre en las etapas de postcosecha y procesamiento (FAO, 2015). Para el caso de México, este monto ascendió a 16.5 millones de toneladas en el 2009. En particular, las tasas de desperdicio más altas son las de frutas, hortalizas, raíces y tubérculos pues el 45% no son aprovechadas. Además, la FAO revela que el descuido en el manejo de alimentos representa pérdidas de hasta 20% de materia prima entre el productor y el consumidor en México (FAO, 2015).

México es el primer productor a nivel mundial de cebolla en fresco con más de 1.4 millones de toneladas por año (Ochoa-Neira, 2012). La cebolla (*Allium cepa* L.) es una hortaliza distinguida por su pungencia (aroma y sabor), característica que la convierten en un condimento de uso mundial. La pungencia en las cebollas se deriva de una serie de compuestos volátiles de azufre. Estos compuestos se producen cuando la célula de cebolla se rompe mecánicamente, poniendo la enzima alliinasa en contacto con los precursores de sabor, sulfóxidos de S-alqu(en)il-L-cisteína. Además de producir compuestos volátiles de azufre, la descomposición enzimática de los sulfóxidos de S-alqu(en)il-L-cisteína también produce cantidades estequiométricas de amoníaco y ácido pirúvico. El ácido pirúvico puede medirse en un espectrofotómetro si se hace reaccionar con 2,4, dinitrofenilhidrazina (DNPH) (Anthon y Barrett,

2003).

En una escala para medir la pungencia de la cebolla reportada por Lee y col. (2009) se indica que los valores de ácido pirúvico producido enzimáticamente pueden variar desde 0 a 18 μ moles por gramo de cebolla. Si el valor de ácido pirúvico se encuentra entre 0 y 3 se denominan cebollas de baja pungencia, si el valor se encuentra entre 3 y 7 se denominan de pungencia media y con valores superiores a 7 la cebolla se denomina de alta pungencia.

La cebolla es un producto altamente perecedero debido a su elevado contenido de humedad (85-93% b.h.) y otros factores asociados con los malos manejos postcosecha. Un alto porcentaje (15-20%) no se seca adecuadamente, ya que con el secado al sol al que es sometida después de ser cosechada, continúa su ciclo bienal produciendo el brote del tallo (Yahia, 1992). Este fenómeno representa cuantiosas pérdidas por no cumplir con los estándares de calidad, y escalado a la producción de esta hortaliza a nivel nacional las pérdidas económicas son considerables ya que, tales pérdidas afectan las inversiones de los agricultores para la producción de alimentos, pues al final estos no serán consumidos (Morales-Pérez y Mejía-Ponce de León, 2016). Sólo en diciembre de 2008 la Secretaría de Economía cuantificó las pérdidas en más de 4 mil millones de pesos, y para 2013 la Cruzada Nacional Contra el Hambre estimó los niveles de desperdicio en 32.08% de la producción nacional que representa 250,352.61 toneladas, que además genera una problemática medioambiental por ser un desperdicio de naturaleza orgánica (Aguilar-Gutiérrez, 2013).

Una forma de aprovechar los desperdicios de cebolla brotada que se generan es aplicando métodos de conservación que favorezcan la calidad del producto final, tal es el caso del secado. El secado de alimentos es un proceso tradicional en el que se pueden conservar una gran cantidad de productos agrícolas mediante la reducción de la humedad por diferentes medios. El uso de secadores de lecho fluidizado (LF) y lecho vibro-fluidizado (LVF) han mostrado que además de reducir el consumo de energía del proceso, se tienen mejoras de calidad en los productos finales obtenidos (Chua y Chou, 2003; Pan y col. 1997).

El secado de alimentos en LVF es un proceso ampliamente utilizado en diversos productos agrícolas y puede ser utilizado como alternativa para alimentos denominados desperdicio aumentando considerablemente el valor del producto o productos

finales. El secado en LVF es una técnica que combina la acción mecánica debida a la vibración del lecho con el contacto de una corriente de aire. Este tipo de secadores son sistemas que pueden ser menos demandantes de energía comparados con los lechos fluidizados convencionales (Vizcarra y col., 2001; Rahimi y col., 2014). El uso de este tipo de secador aporta ventajas al proceso de secado debido que permite la operación en condiciones especiales donde existen problemas en la fluidización por el tamaño de las partículas, por la humedad o por la altura del lecho. Además, el complemento de la fuerza de vibración al lecho fluidizado convencional favorece la distribución uniforme de la temperatura, evita la aglomeración de sólidos y reduce el volumen de las regiones muertas, la velocidad de fluidización mínima y la caída de presión (Perazzini y col., 2017).

Considerando que: en México, la política de residuos sólidos se basa en estrategias de prevención y minimización, y las acciones en la implementación se han centrado únicamente en minimizar (Morales-Pérez y Mejía-Ponce de León, 2016); que uno de los objetivos de la Red Temática en Seguridad Alimentaria es la valorización de residuos agroindustriales y la disminución de pérdidas y desperdicios de alimentos (RedSaPDA); que el valor de la cebolla como ingrediente alimenticio está centrado en preservar las características organolépticas

aún después del tratamiento de conservación y que, como cebolla deshidratada, existe un mercado internacional que ha ido en aumentando positivamente y significativamente en exportaciones en todo el mundo en los últimos años (Mitra y col., 2011), el objetivo de este trabajo fue evaluar el secado en LVF como alternativa para el aprovechamiento y valorización de desechos de cebolla (*Allium cepa* L.).

2 Materiales y métodos

2.1 Materia prima

Fue utilizada cebolla blanca variedad “White globe”, desechada con brotes de 2 - 4 cm de altura, limpia, libre de tierra y libre de daño físico procedente de la Central de Abastos de la Ciudad de México. Una vez seleccionadas, a las cebollas se les realizó dos tipos de cortes con cuchillos de acero inoxidable, en el primer corte fueron eliminados los polos superior e inferior y en el segundo corte, la cebolla fue segmentada longitudinalmente tomando como base los cortes anteriores, fue retirado el brote del centro de la cebolla y fueron obtenidas partículas con tres diferentes geometrías: prisma rectangular (recto), medias rodajas y gajos (Figura 1).

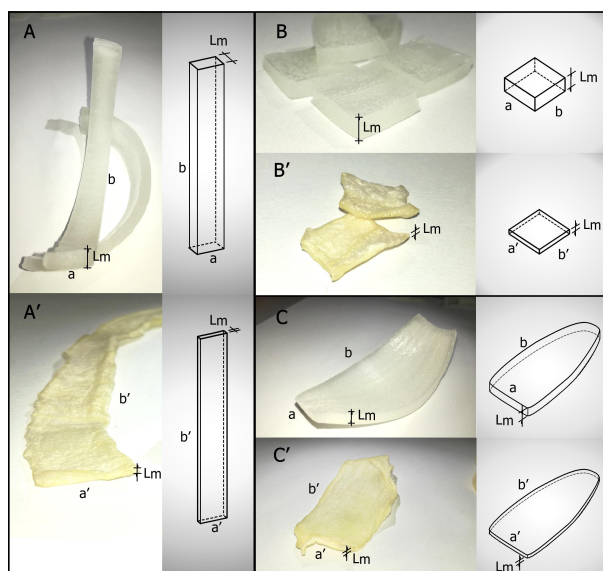


Fig. 1 Características geométricas de los cortes de cebolla. A: media rodaja de cebolla cruda, A': media rodaja de cebolla seca; B: prismas rectangulares de cebolla cruda B': prismas rectangulares de cebolla secos; C: gajos de cebolla cruda, C': gajos de cebolla secos.

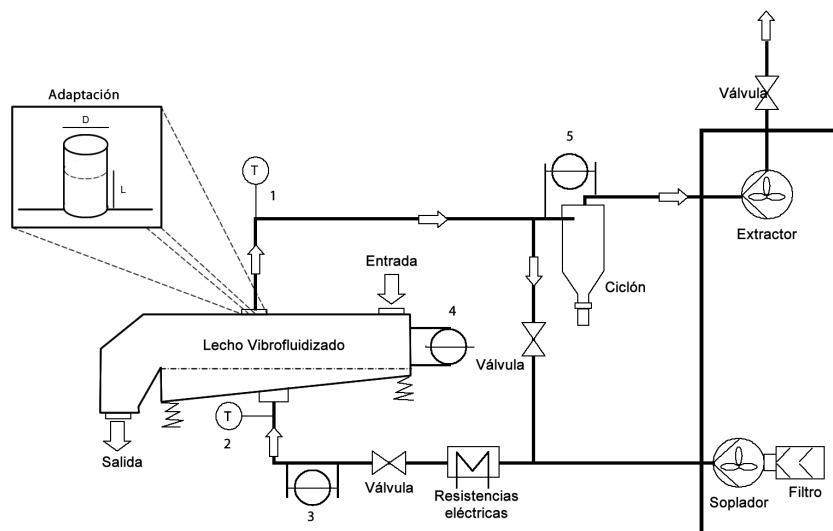


Fig. 2. Secador de lecho vibro-fluidizado.

2.2 Proceso de secado

Fue utilizado un secador de lecho vibrofluidizado marca NIRO, el cual consiste en una caja rectangular de acero inoxidable con un área de sección transversal de 0.30 m^2 , cerrado herméticamente con una campana metálica con alimentación de sólidos en la parte superior de ésta y descarga en la parte inferior del rectángulo. Al equipo se le hizo una adaptación (1) dejando libre solamente la parte central del distribuidor de aire donde se montó un cilindro de acrílico de 0.45 m de altura y un diámetro de 0.15 m .

El equipo cuenta con un motor CD centrífugo de 1HP, con dos contrapesos concéntricos en el eje rotor que pueden colocarse en cinco posiciones distintas para obtener diferentes intensidades de vibración en el lecho (4), en este trabajo se fijaron los contrapesos en el mayor nivel de vibración. A los costados se localizan muelles para amortiguar las vibraciones.

El flujo de alimentación de aire caliente al secador está ligado a un turboventilador con válvula de mariposa para regular el flujo de aire y trabaja con presión positiva para alimentar al equipo. El turboventilador puede suministrar un flujo de aire de hasta $0.35 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. El calentamiento de aire es mediante un sistema de seis resistencias eléctricas de 6, 12 y 18 kW controladas por un sistema *on/off* con una variación de $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ (2), la máxima temperatura que se alcanza es de 250°C . Cuenta con un separador de ciclón donde se almacenan los materiales finos que se desprenden del lecho (5). Cuenta con un sistema de recirculación para optimizar la operación de secado y

cuenta con un extractor que eliminar el aire húmedo del sistema y lo lleva al medio ambiente. Mediante un panel (3) se controla el flujo de aire, la temperatura de entrada, la caída de presión en el ciclón, en el lecho y el motor que induce las vibraciones. El flujo de aire se mantuvo constante de $0.25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y una velocidad de aire de 5 ms^{-1} , que corresponde al doble de la velocidad mínima de fluidización (Figura 2).

Un diseño factorial completo general de 3 factores y 3 niveles, con 27 tratamientos experimentales de secado fue llevado a cabo y se realizaron 6 repeticiones del punto central para estimar el error experimental. Los factores y niveles evaluados fueron: la temperatura del aire de secado ($60, 70$ y 80°C), la geometría de las partículas (prismas rectangulares, medias rodajas y gajos) y la relación de carga de material en el secador H/D (H : altura del lecho; D : diámetro del secador): $0.5, 1$ y 1.5 ; con respecto a tres variables de respuesta: valor del coeficiente de difusión efectiva (D_{ef}), pungencia evaluada como μmoles de ácido pirúvico por gramo de cebolla seca y costo de producción en $\text{\$/kg}^{-1}$.

2.3 Construcción y modelado de curvas de secado

Durante el secado de cebolla, se calculó la relación de pérdida de humedad utilizando la siguiente ecuación 1:

$$X_t = \frac{m_t - m_{ss}}{m_{ss}} \quad (1)$$

donde X_t es la humedad en base seca a un tiempo específico, m_t es la masa del sólido húmedo al tiempo t y m_{ss} es la masa de sólido seco de la cebolla.

2.4 Cálculo del coeficiente de difusión efectiva

Se ha aceptado que el secado de productos biológicos ocurre en el periodo de velocidad decreciente, donde la migración de la humedad y/o vapor está controlada por el fenómeno de difusión bajo diferentes condiciones de operación. Debido a que es difícil separar el mecanismo individual, la tasa de pérdida de humedad se describe como un valor agrupado de difusión efectiva utilizando la ecuación de difusión de Fick en estado no estacionario (Ec.2) (Senadeera y col., 2003). Aunque la ecuación de difusividad no es la mejor ecuación para ajustar datos experimentales, proporciona un método aproximado para presentar una comparación cuantitativa común entre diferentes productos respecto a la transferencia de humedad pues describe del coeficiente de difusión promedio en todo el proceso de secado.

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 X}{\partial z^2} \quad (2)$$

Suponiendo que: la partícula es homogénea e isotrópica, que las características materiales son constantes y el encogimiento despreciable, que la evaporación solo ocurre en la superficie, que la humedad está distribuida uniforme y simétricamente durante el proceso, que la difusión finaliza cuando se alcanza la humedad en equilibrio en la superficie (Salcedo-Mendoza y col., 2016), que la distribución de la temperatura es uniforme y es igual a la temperatura del recinto de secado, que la transferencia de calor se realiza por conducción dentro del producto y por convección fuera del producto y que la difusividad efectiva de la humedad es constante contra el contenido de humedad durante el secado; y considerando la condición inicial y de frontera que aplican en este caso:

$$\begin{aligned} A \quad t = 0 \text{ y } \forall z, \quad X &= X_0 \\ A \quad \forall t, \quad z = 0, \quad X &= X_0 \\ A \quad \forall t, \quad z = L, \quad X &= X_e \end{aligned}$$

entonces la solución analítica de la Ec. 2 para una placa infinita es la Ecuación 3 según Crank, (1975) citado por (Erbay e Icier, 2010)

$$X = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 D_{ef} \pi^2 t}{4L_m^2}\right) \quad (3)$$

Donde X_t es el contenido de humedad en un tiempo específico $g_{agua} g_{sólidos\ secos}^{-1}$, X_0 es el contenido de humedad inicial en $g_{agua} g_{ss}^{-1}$, X_e es el contenido de humedad de equilibrio ($g_{agua} g_{ss}^{-1}$), D_{ef} es la difusividad efectiva de la humedad en $m^2 s^{-1}$, L_m es el grosor de la partícula de cebolla (m) y n es el número de términos a considerar. La solución a esta ecuación para una placa infinita y un período de secado largo $X < 0.6$ (Montero y col., 2011) puede ser simplificada al primer término de la serie. Considerando el logaritmo natural en ambos lados, la ecuación conduce en la siguiente expresión

$$\ln(X) = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{D_{ef} \pi^2 t}{4L_m^2} \quad (4)$$

Las difusividades se determinan típicamente trazando datos experimentales de secado en términos de $\ln(X)$ frente al tiempo de secado t , ya que la gráfica muestra una línea recta de cuya pendiente se despeja el D_{ef} . Con el fin de comprobar que la ecuación de difusión describe el proceso de secado, fue calculado el coeficiente de determinación R^2 con la Ecuación 5, donde $X_{pre,i}$ y $\bar{X}_{exp,i}$ son la proporción adimensional de humedad predicha y experimental respectivamente, $X_{exp,i}$ es la proporción de la humedad experimental, N es el número de observaciones

$$R^2 = \sum_{i=1}^N \frac{X_{pre,i} - \bar{X}_{exp,i}}{(X_{exp,i} - \bar{X}_{exp,i})^2} \quad (5)$$

2.4.1 Encogimiento

La ecuación de difusión de Fick considera que la geometría del producto se mantiene constante, sin embargo, las partículas de cebolla cambian su espesor conforme pierden humedad. Por lo tanto, para considerar el efecto del encogimiento se utilizó la media logarítmica del espesor del material fresco y seco para cada caso, donde $L_m = 2\ell$ m es la media logarítmica del espesor de la capa de cebolla en metros.

2.5 Determinación de la energía de activación

Una vez obtenido el coeficiente de difusión, puede ser relacionado con la temperatura del aire de secado por medio de la Ecuación 6 mediante un modelo de Arrhenius (Sastre de Vicente y col., 2014).

$$D_{ef} = D_0 e^{\left(-\frac{E_a}{RT}\right)} \quad (6)$$

Donde D_0 es el factor pre-exponencial equivalente a la difusividad a una temperatura infinita en m^2s^{-1} , E_a es la energía de activación [kJmol^{-1}], R es la constante universal de los gases en $8.314 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ y T es la temperatura del aire de secado [K]. Ambos parámetros, E_a y D_0 pueden ser determinados por medio de una gráfica de $\ln(D_{ef})$ contra T^{-1} ajustando a una recta.

2.6 Determinación de la pungencia

Se determinó siguiendo el método de Schwimmer y Weston, (1961). Se maceró 1g de cebolla en un mortero con 100ml de agua destilada y 100mL de NaCl al 5%. Fue refrigerada durante 24 h y filtrada antes de utilizarse. A 2 ml de muestra se agregaron 1 ml de 2,4, dinitrofenilhidrazina (DNPH) 0.0125% en HCl 2N y fue colocada en baño de agua a 37°C durante 10 min. Posteriormente fueron agregados 5ml de NaOH 0.06N y se leyó la absorbancia a 420nm. Fue determinado el contenido de ácido pirúvico endógeno y restado del resultado final. El resultado se reportó como μmol de ácido pirúvico por gramo de sólido seco.

2.7 Cálculo del costo de la energía utilizada en el proceso

Para el cálculo de la energía requerida para el secado, se utilizó la siguiente Ecuación 7 (Domínguez-Niño y col., 2016) que da resultados en pesos \$ kg^{-1} de cebolla seca:

$$E = CE + CM \quad (7)$$

$$CE = Q_{\text{aire}} \cdot kWatt\text{h}^{-1}t \quad (8)$$

Donde E: es el costo total, CE: es el costo de la energía utilizada durante el proceso de secado en \$ kg^{-1} (Ec. 8), CM: es el costo de la materia prima en \$ kg^{-1} que al ser un producto de desecho su valor es cero o despreciable.

$$Q_{\text{aire}}: m_{\text{aire seco}} C_{p\text{aire seco}} \Delta T$$

$$m_{\text{aire seco}}: U_0(SV_H^{-1})$$

$$S: \text{Sección transversal del secador } [\text{m}^3]$$

V_H : Volumen húmedo obtenido de cartas psicométricas [$\text{m}^3\text{kg}_{\text{aire seco}}^{-1}$]

$$U_0: \text{Velocidad superficial del aire } [\text{mh}^{-1}]$$

$C_{p\text{aire seco}}$: Capacidad calorífica del aire seco [$\text{kcalkg}^{-1}\text{C}^{-1}$]

ΔT : Gradiente de temperaturas ($T_{\text{aire de secado}}$ y $T_{\text{aire del ambiente}}$) [$^\circ\text{C}$]

t: tiempo de secado [s]

Los costos de energía utilizados fueron para la primera mitad de 2017 de $0.793 \text{ \$ kWh}^{-1}$ (CFE, 2016).

2.8 Análisis estadístico

Fue aplicado un análisis de varianza multifactorial a un nivel de significancia de 0.05 y una comparación de medias por el método de Tukey utilizando el software estadístico Minitab® 17.

3 Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se presentan las dimensiones de las partículas de cebolla en las diferentes geometrías a partir de las cuales fueron obtenidas las curvas de secado (X vs t), las curvas de evolución de la temperatura (T vs t) y las curvas de $\ln X$ vs t mostradas en la Fig. 3 donde se puede apreciar que, de acuerdo con los perfiles de temperatura, resulta razonable suponer que este parámetro se mantiene constante en un rango de tiempo considerable.

El diseño factorial completo fue analizado en función del efecto de los factores: geometría de las partículas de cebolla, temperatura del aire de secado y relación de carga H/D; sobre las variables de respuesta: coeficiente de difusión D_{ef} , pungencia como contenido de ácido pirúvico residual por gramo de cebolla y el costo de energía utilizada en el proceso (Cuadro 2).

La Figura 4, muestra la interacción de los tres factores estudiados con el valor del coeficiente de difusión efectiva por 10^{10} (D_{ef}) como la variable de respuesta, donde se puede apreciar que la carga en el secador (H/D) no es un factor determinante en el valor del coeficiente de difusión para cada tipo de geometría en particular y que la tasa de pérdida de humedad aumenta a medida que aumenta la masa de la partícula de cebolla, lo cual concuerda con lo reportado por Brooks y col. (2008), donde los autores evaluaron el efecto de la geometría de la partícula y temperatura del aire utilizado en el secado de tomate. Ellos evaluaron dos temperaturas y tres geometrías de las partículas (cortes en mitades, cuartos y octavos) y reportaron que la velocidad de secado dependía específicamente de la temperatura del aire de secado y no fue afectada por la geometría, sin embargo, la superficie total de la partícula parece tener un efecto significativo sobre la pérdida de humedad que el área de corte.

Los valores del coeficiente de difusión fueron menores en el corte de prismas rectangulares y medias rodajas secados a 60 y 70°C sin diferencia significativa entre ellos ($P < 0.05$), mientras que el corte en gajos tuvo los valores mayores, en particular los que

Cuadro 1. Dimensiones promedio de los cortes de cebolla

Geometría	Cebolla cruda			Cebolla seca		
	a (m)	b (m)	Lm(m)	a' (m)	b' (m)	Lm' (m)
Prismas rectangulares	0.01±0.002	0.01±0.001	0.006±0.002	0.009±0.001	0.009±0.001	0.0015±0.001
Rodajas	0.01±0.002	0.08±0.001	0.006±0.001	0.009±0.002	0.07±0.012	0.0015±0.0002
Gajos	0.02±0.003	0.08±0.003	0.006±0.002	0.015±0.002	0.07±0.003	0.0015±0.02

Cuadro 2. Diseño factorial 3³: Temperatura, relación H/D y geometría como factores y D_{ef} , pungencia y costo de energía como variables de respuesta.

Geometría de partícula	Relación de carga H/D	Temperatura	$D_{ef} \times 10^{10} \text{ m}^2/\text{s}$	Pungencia		costo energía \$ /kg cebolla seca	
				$\mu\text{mol piruvato/g}_{ss}$	% retención		
Prisma rectangular	0.5	60°C	1.18 (R ² =0.9892)	2.95 ± 0.16	42.57	46.77	
		70°C	1.62 (R ² =0.9906)	3.27 ± 0.04	47.19	42.75	
		80°C	2.12 (R ² =0.9868)	4.03 ± 0.13	58.15	34.53	
	1	60°C	1.05 (R ² =0.9791)	3.05 ± 0.2	44.01	43.11	
		70°C	1.49 (R ² =0.9991)	3.24 ± 0.19	46.75	43.83	
		80°C	2.19 (R ² =0.999)	4.19 ± 0.27	60.46	35.86	
	1.5	60°C	0.95 (R ² =0.9942)	3.01 ± 0.25	43.43	42.54	
		70°C	1.32 (R ² =0.9917)	3.19 ± 0.23	46.03	48.9	
		80°C	2.12 (R ² =0.9955)	4.21 ± 0.28	60.75	46.49	
	Medias rodajas	0.5	60°C	1.62 (R ² =0.9982)	3.42 ± 0.26	52.09	34.65
			70°C	2.16 (R ² =0.9809)	3.61 ± 0.24	49.35	48.9
			80°C	2.42 (R ² =0.9966)	4.13 ± 0.12	59.6	37.19
1		60°C	1.47 (R ² =0.9915)	3.43 ± 0.06	50.65	33.81	
		70°C	1.89 (R ² =0.9997)	3.51 ± 0.14	49.49	41.3	
		80°C	2.42 (R ² =0.9997)	4.03 ± 0.05	58.15	30.55	
1.5		60°C	1.08 (R ² =0.9947)	3.43 ± 0.16	49.49	47.05	
		70°C	1.55 (R ² =0.9956)	3.48 ± 0.11	50.22	39.12	
		80°C	2.16 (R ² =0.9974)	3.95 ± 0.21	57	41.18	
Gajos		0.5	60°C	3.39 (R ² =0.992)	3.61 ± 0.32	54.11	47.33
			70°C	3.83 (R ² =0.9991)	3.75 ± 0.17	52.09	68.46
			80°C	4.71 (R ² =0.9953)	4.17 ± 0.29	60.17	55.79
	1	60°C	2.84 (R ² =0.9949)	3.75 ± 0.22	55.41	50.71	
		70°C	3.65 (R ² =0.9957)	3.84 ± 0.14	54.11	54.34	
		80°C	4.88 (R ² =0.9986)	4.28 ± 0.36	61.76	45.16	
	1.5	60°C	2.35 (R ² =0.9949)	3.61 ± 0.31	56.85	51.56	
		70°C	3.39 (R ² =0.9951)	3.94 ± 0.33	52.09	39.12	
		80°C	4.75 (R ² =0.9986)	4.34 ± 0.27	62.63	57.11	

R²: es el coeficiente de determinación de la curva de secado

corresponden al secado a una temperatura de 80°C. Los prismas rectangulares y las medias rodajas de cebolla fluyen dentro del secador de lecho vibrofluidizado con mayor facilidad. Brooks y col. (2008) recomiendan cortar en trozos pequeños para reducir el tiempo de secado. Además, el coeficiente de difusión está relacionado con el tiempo del proceso de secado, mayores tiempos se deben a valores más altos de dicho coeficiente. Por lo tanto, la geometría de la

partícula presenta un efecto importante en el tiempo de proceso para el secado de cebolla en LVF.

Los valores del coeficiente de difusión encontrados en este trabajo estuvieron entre 0.95×10^{-10} y $4.88 \times 10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$, lo cual concuerda con algunos datos reportados en la bibliografía. Pathare y Sharma. (2006) reportaron valores del coeficiente de difusión en un

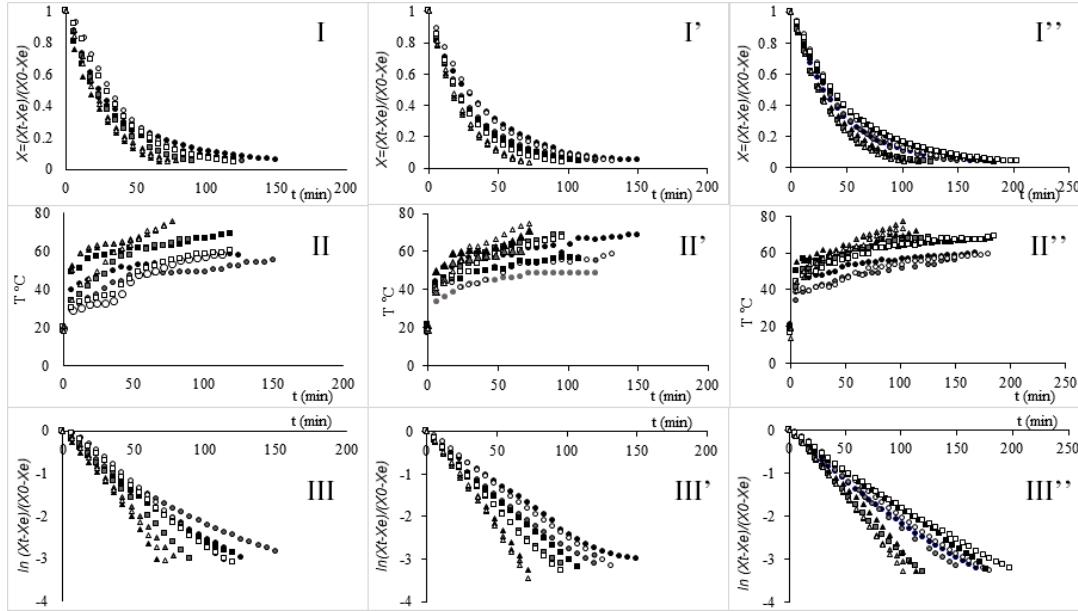


Fig. 3. Curva de secado X vs t (I: prismas rectangulares de cebolla, II: medias rodajas, III: gajos de cebolla); curva de evolución de la temperatura T vs t (I': prismas rectangulares de cebolla, II': medias rodajas, III': gajos de cebolla) y curva de $\ln X$ vs t (I'': prismas rectangulares de cebolla, II'': medias rodajas, III'': gajos de cebolla). ● H/D:0.5, 60°C; ● H/D:1, 60°C; ○ H/D:1.5, 60°C; ■ H/D:0.5, 70°C; ■ H/D:1, 70°C; □ H/D:1.5, 70°C; ▲ H/D:0.5, 80°C; ▲ H/D:1, 80°C; △ H/D:1.5, 80°C.

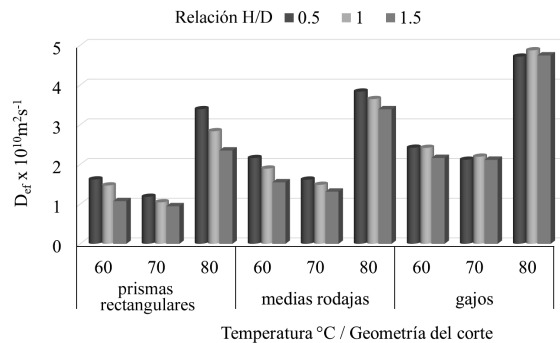


Fig. 4. Efecto de la temperatura del aire de secado (70, 80 y 90°C), carga de material en el secador (H/D) y geometría del corte de cebolla (prismas rectangulares, medias rodajas y gajos) en el valor del coeficiente de difusión efectiva ($\times 10^{10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$).

intervalo de 0.25×10^{-10} - $0.3233 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para cebolla en rebanadas de 6mm de grosor, secadas en un proceso infrarrojo-convectivo. Mota y col. (2010) reportan valores del coeficiente de difusión de 3.33×10^{-9} y $8.55 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para secado convectivo de cebolla a 30 y 60°C respectivamente en un horno convectivo. Arslan y Musa-Özcan. (2010) reportaron valores del coeficiente de difusión efectiva para

diferentes tipos de secado de rebanadas de cebolla, los cuales fueron 8.33×10^{-10} para el secado al sol, $7.468 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para el secado en horno a 50°C, $1.554 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para secado en horno a 70°C, $4.009 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para secado en microondas a 210W y $4.689 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para secado en microondas a 700W de potencia. Mitra y col. (2011) secaron capas de cebolla al vacío y reportaron valores del coeficiente de difusión entre 1.32×10^{-10} y $1.09 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Demiray y col. (2017) reportan valores de coeficiente de difusión en secado convectivo de $3.49 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, $5.27 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ y $9.44 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para 50, 60 y 70°C respectivamente.

La forma en que el coeficiente de difusión efectiva se relaciona con la temperatura de secado es mediante el cálculo de la energía de activación (E_a) representado en la Ec. 6 (Akpınar y Toraman, 2016). La E_a representa la barrera energética a vencer que propicia la difusión de la humedad (Arabhosseini y col., 2009), es decir, es la energía mínima para romper las interacciones sólido-agua y agua-agua y mover las moléculas de agua desde un punto a otro en el sólido para que se realice el secado.

Cuadro 3. Estimación de la energía de activación en diferentes esquemas de secado de cebolla en lecho vibrofluidizado.

Geometría	H/D	E_a (kJ/mol)
Prisma rectangular	0.5	28.45 ^A
	1.0	36.19 ^{AB}
	1.5	39.21 ^B
Medias rodajas	0.5	19.69 ^A
	1	24.31 ^{AB}
	1.5	34.15 ^B
Gajos	0.5	15.02 ^A
	1.0	26.44 ^{AB}
	1.5	34.33 ^B

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($P < 0.05$).

En el Cuadro 3, se muestra la estimación de la E_a para cada esquema de secado. Los valores de la E_a para las tres geometrías de partícula de cebolla, presentan la misma tendencia de incremento conforme aumenta la carga del material en el secador (H/D), los valores por carga fueron significativamente diferentes para prismas rectangulares y gajos. Se observó que para una misma geometría de partícula hay diferencias significativas entre la carga alta y la carga baja, esto es debido a que la cantidad de humedad a eliminar incrementa, por lo tanto, el requerimiento energético aumenta y por lo consiguiente, el requerimiento energético a vencer aumenta. Comparando los valores promedio de la E_a a diferentes geometrías, no se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$).

Los valores de E_a se encuentran dentro de los intervalos reportados por otros autores. Mota y col. (2010) reportaron 26.4 kJmol^{-1} para cebolla portuguesa variedad Mondego deshidratada mediante secado convectivo. Demiray y col. (2017) reportaron una E_a de 45.60 kJmol^{-1} y 7.90 Wg^{-1} para el secado de cebolla convectivo en secador de gabinete y secado con microondas respectivamente. Sastre de Vicente y col (2014) reportan valores de E_a de 21.22 kJmol^{-1} y 23.89 kJmol^{-1} para placas de agave sin tratamiento y tratadas con HCl 0.1M secadas en lecho fluidizado.

La Figura 5, muestra el efecto de los tres factores estudiados sobre la concentración de ácido pirúvico en μmol por gramo de sólido seco de cebolla como la variable de respuesta.

La cebolla "White globe" es considerada de media pungencia, sin embargo, el valor de la pungencia de la cebolla de desperdicio antes de ser sometida al secado fue de $6.93 \pm 0.47 \mu\text{mol}$ de ácido pirúvico $\text{g}_{\text{ss}}^{-1}$, lo cual la ubicó como cebolla de alta

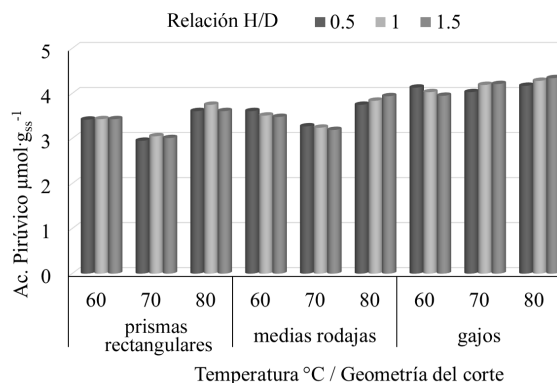


Fig. 5. Efecto de la temperatura del aire de secado (70, 80 y 90°C), carga de material en el secador (H/D) y geometría del corte de cebolla (prismas rectangulares, medias rodajas y gajos) en la concentración de ácido pirúvico residual ($\mu\text{mol g}_{\text{ss}}^{-1}$).

pungencia según la escala de Lee y col. (2009). Lo anterior puede ser explicado por el efecto de la brotación por germinación. En el tiempo de germinación, la pungencia en los bulbos de cebolla aumenta debido al incremento en el contenido de precursores de sabor a partir de la hidrólisis de péptidos γ -glutamil por acción de la γ -glutamil transpeptidasa (Schwimmer y Austin, 1971) lo que ocasiona las altas concentraciones.

El porcentaje de retención de la pungencia estuvo en el intervalo de 42-52, 50-56 y 57-62% en la cebolla secada a 60, 70 y 80°C respectivamente, siendo los límites mayores los correspondientes a la cebolla cortada en gajos. Se observa que la relación de carga (H/D) en el secador no influye en el contenido de ácido pirúvico en ninguna de las tres geometrías de partícula, asimismo, al comparar la geometría, para prismas rectangulares y medias rodajas no se tienen diferencias significativas ($P < 0.05$) en el contenido de ácido pirúvico. Esto puede ser debido a que el corte en gajos de cebolla mantiene una mayor área superficial sin cortes y, por lo tanto, sólo al momento de realizar la determinación de ácido pirúvico es cuando se expone al oxígeno y se generan los compuestos azufrados y la cadena de reacciones reportadas por Schwimmer y Weston (1961) lo cual da como resultado un contenido mayor de pungencia.

Con respecto al costo de la energía utilizada en el procesamiento de la cebolla, los valores se encuentran en el intervalo de 30.54 a $68.46 \text{ \$ kg}^{-1}$. El análisis de varianza (ANOVA) indicó que no hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las partículas cortadas en prismas rectangulares

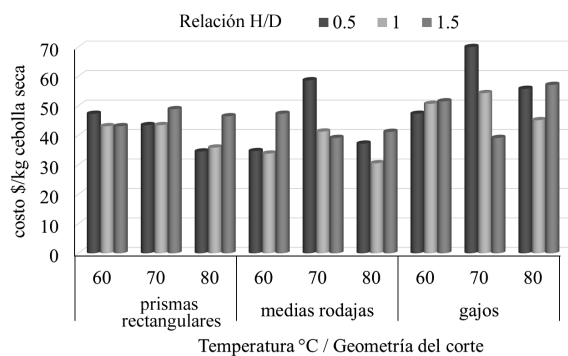


Fig. 6. Efecto de la temperatura del aire de secado (70, 80 y 90°C), carga de material en el secador (H/D) y geometría del corte de cebolla (prismas rectangulares, medias rodajas y gajos) en el costo de la energía utilizada en el proceso (\$/kg cebolla seca).

y medias rodajas. Como se muestra en la Figura 6, las partículas cortadas en gajos presentan el mayor costo de producción y particularmente a una relación de carga (L/D) de 0.5. De acuerdo con Smith, (2007) si el tamaño de partícula es muy pequeño o muy grande, influirá de forma significativa en el comportamiento de lecho fluidizado, esto concuerda con el hecho de que los gajos al ser más grades presentaron una mayor resistencia al movimiento en el secador a pesar de las vibraciones e incluso a mayor temperatura. Los resultados obtenidos concuerdan con Domínguez-Niño. (2016) quienes observaron que a mayor tiempo de secado y mayor temperatura el costo de producción disminuye, lo cual es esperado porque a altas temperaturas hay menor humedad en el producto y por lo tanto menor producción. En este trabajo, el costo de producción de cebolla deshidratada disminuye aún más por tratarse de un producto de desecho. La valorización de este la cebolla de desecho es posible utilizando la metodología de secado el lecho vibrofluidizado. Actualmente, hay estudios que promueven el uso de residuos como materias primas para la obtención de diversos compuestos y productos alimenticios. Sastoque-Cala y col. (2007) utilizaron residuos de camarón para la producción de quitinasas, Armenta y col. (2002) extrajeron caroproteínas a partir de residuos de camarón, Ramírez-Velazco y col. (2016) valorizaron la cascarilla y la pulpa de café obteniendo enzimas y antioxidantes de interés comercial, Ramos-Ibarra y col. (2017) produjeron enzimas hidrolíticas por fermentación en estado sólido utilizando subproductos de la naranja.

Es recomendable ampliar las evidencias sobre el uso de productos de desecho a fin de disminuirlo y

generar valor agregado en los productos finales.

Conclusiones

La cantidad de material que se procesa en el secador no fue un factor determinante para el aumento o disminución del valor del coeficiente de difusión para alguna geometría de partícula, sin embargo, la partícula de cebolla en gajos presentó una tasa de eliminación de humedad mayor que el corte en prismas rectangulares y medias rodajas. La energía de activación estimada aumentó con respecto al aumento en la variable de carga de material en el secador (L/D). Los valores de las medias de E_a no fueron diferentes significativamente con respecto a la geometría, pero sí con respecto a la carga entre 0.5 y 1.5. El porcentaje de retención de la pungencia inicial estuvo en el intervalo de 42-52, 50-56 y 57-62% en la cebolla secada a 60, 70 y 80°C respectivamente, siendo los límites mayores los correspondientes a la cebolla cortada en gajos. El menor costo de producción se obtuvo en las partículas cortadas en prismas rectangulares y medias rodajas que promediaron 40.46 \$ kg⁻¹ de cebolla. El secado en lecho vibrofluidizado es una buena opción para el aprovechamiento y valorización de cebolla de desecho.

Agradecimientos

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) por los apoyos otorgados al fomento a la generación y aplicación innovadora del conocimiento.

Nomenclatura

CD	corriente directa
HP	?Horse Power? caballos de potencia
g_{agua}	gramos de agua
g_{ss}	gramos de sólido seco
H	altura del recinto de secado [m]
D	diámetro del recinto de secado [m]
D_{ef}	coeficiente de difusión efectiva [m ² /s]
X	proporción adimensional de humedad
z	dirección de la difusión [m]
X_t	contenido de humedad a un tiempo específico [$g_{agua} g_{ss}^{-1}$]
X_e	contenido de humedad de equilibrio [$g_{agua} g_{ss}^{-1}$]

X_0	contenido de humedad inicial [$g_{agua} g_{ss}^{-1}$]	drying of tarragon (<i>Artemisia dracuncululus</i> L.). <i>Industrial Crops and Products</i> 29, 53-59.
t	tiempo [s]	
L	espesor de la capa de cebolla [m]	Armenta, R. E., Guerrero-Legarreta, I y Huerta, S. (2002). Extracción de caroproteínas a partir de residuos de camarón fermentados. <i>Revista Mexicana de Ingeniería Química</i> 1, 49-55.
R^2	coeficiente de determinación	
$X_{pre,i}$	proporción adimensional de humedad predicha	
$X_{exp,i}$	proporción adimensional de humedad experimental	Arslan, D. y Musa-Özcan, M. (2010). Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices. <i>LWT - Food Science and Technology</i> 43, 1121-1127.
L_m	espesor de la partícula de cebolla [m]	
ℓ	1/2 del espesor de la capa de cebolla [m]	
N	número de términos a considerar de la serie de Fourier	Brooks, M.S., Abou El-Hana, N.H. y Ghaly, A.E. (2008). Effects of tomato geometries and air temperature on the drying behavior of plum tomato. <i>American Journal of Applied Sciences</i> 5, 1369-1375.
N	número de observaciones para el cálculo de R^2	
D_o	factor pre-exponencial equivalente a la difusividad a temperatura infinita [$m^2 s^{-1}$]	Chua, K.J. y Chou, S.K. (2003). Low-cost drying methods for developing countries. <i>Trends in Food Science and Technology</i> 14, 519-528.
E_a	energía de activación [$KJ mol^{-1}$]	
R	constante universal de los gases [$8.314 J mol^{-1} K^{-1}$]	Cranck, J. (1975). <i>The Mathematics of Diffusion</i> . Oxford University Press, England.
Q_{aire}	$m_{aire seco} C_{p_{aire seco}} \Delta T$	Demiray, E., Seker, A. y Tulek, Y. (2017). Drying kinetics of onion (<i>Allium cepa</i> L.) slices with convective and microwave drying. <i>Heat and Mass Transfer</i> 53, 1817-1827.
$m_{aire seco}$	$U_0(S V_H^{-1})$	
S	sección transversal del secador [m^3]	Domínguez-Niño, A., Buendía-González, A.N., Cantú-Lozano, D., Andrade-González I. y Luna-Solano, G. (2016). Efecto del secado por lecho fluidizado sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de queso fresco mexicano. <i>Revista Mexicana de Ingeniería Química</i> 15, 869-881.
V_H	volumen húmedo obtenido de cartas psicométricas [$m^3 kg_{aire seco}^{-1}$]	
U_0	velocidad superficial del aire [ms^{-1}]	Erbay, Z., e Icier, F. (2010). A review of thin layer drying of foods: theory, modeling, and experimental results. <i>Critical Reviews in Food Science and Nutrition</i> 50, 441-464.
$C_{p_{aire seco}}$	capacidad calorífica del aire seco [$kJ kg^{-1} °C^{-1}$]	Lee, E.J., Yoo, K.S., Jifon, J. y Patil, B.S. (2009). Characterization of shortday onion cultivars of 3 pungency levels with flavor precursor, free amino acid, sulfur, and sugar contents. <i>Journal of Food Science</i> 74, 475-80.
T	temperatura [$°C, K$]	Mitra, J., Shrivastava, S. L., y Rao, P. S. (2011). Vacuum dehydration kinetics of onion slices. <i>Food and Bioproducts Processing</i> 89, 1-9.
E	costo total [$\$kg^{-1}$]	
CE	costo de la energía utilizada durante el proceso de secado [$\$kg^{-1}$]	

Referencias

- Akpınar EK, Toraman S. (2016). Determination of drying kinetics and convective heat transfer coefficients of ginger slices. *Heat and Mass Transfer* 52, 2271-2281.
- Anthon, G.E. y Barrett, D.M. (2003). Modified method for the determination of pyruvic acid with dinitrophenylhydrazine in the assessment of onion pungency. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83, 1210-1213.
- Arabhosseini, A., Huisman, W., van Boxtel, A., Müller, J. (2009). Modeling of thin layer

- drying of tarragon (*Artemisia dracuncululus* L.). *Industrial Crops and Products* 29, 53-59.
- Armenta, R. E., Guerrero-Legarreta, I y Huerta, S. (2002). Extracción de caroproteínas a partir de residuos de camarón fermentados. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 1, 49-55.
- Arslan, D. y Musa-Özcan, M. (2010). Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices. *LWT - Food Science and Technology* 43, 1121-1127.
- Brooks, M.S., Abou El-Hana, N.H. y Ghaly, A.E. (2008). Effects of tomato geometries and air temperature on the drying behavior of plum tomato. *American Journal of Applied Sciences* 5, 1369-1375.
- Chua, K.J. y Chou, S.K. (2003). Low-cost drying methods for developing countries. *Trends in Food Science and Technology* 14, 519-528.
- Cranck, J. (1975). *The Mathematics of Diffusion*. Oxford University Press, England.
- Demiray, E., Seker, A. y Tulek, Y. (2017). Drying kinetics of onion (*Allium cepa* L.) slices with convective and microwave drying. *Heat and Mass Transfer* 53, 1817-1827.
- Domínguez-Niño, A., Buendía-González, A.N., Cantú-Lozano, D., Andrade-González I. y Luna-Solano, G. (2016). Efecto del secado por lecho fluidizado sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de queso fresco mexicano. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 15, 869-881.
- Erbay, Z., e Icier, F. (2010). A review of thin layer drying of foods: theory, modeling, and experimental results. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 50, 441-464.
- Lee, E.J., Yoo, K.S., Jifon, J. y Patil, B.S. (2009). Characterization of shortday onion cultivars of 3 pungency levels with flavor precursor, free amino acid, sulfur, and sugar contents. *Journal of Food Science* 74, 475-80.
- Mitra, J., Shrivastava, S. L., y Rao, P. S. (2011). Vacuum dehydration kinetics of onion slices. *Food and Bioproducts Processing* 89, 1-9.

- Montero, I., Miranda, T., Arranz, J. I., y Rojas, C. V. (2011). Thin layer drying kinetics of by-products from olive oil processing. *International Journal of Molecular Sciences* 12, 7885-7897.
- Morales-Pérez, R.E. y Mejía-Ponce de León, A. (2016). La prevención de residuos de alimentos. Los casos de la Unión Europea y la Ciudad de México. *Sociedad y Ambiente* 4, 78-94.
- Mota, C.L., Luciano, C., Dias, A., Barroca, M.J. y Guiné, R.P.F. (2010). Convective drying of onion: Kinetics and nutritional evaluation. *Food and Bioprocess Processing* 88, 115-123.
- Pan, Y.K., Wu, H., Li, Z.Y., Mujumdar, A.S. y Kudra, T. (1997). Effect of a tempering period on drying of carrot in a vibro-fluidized bed. *Drying Technology* 15, 2037-2043.
- Pathare, P.B. y Sharma, G.P. (2006). Effective moisture diffusivity of onion slices undergoing infrared convective drying. *Biosystems Engineering* 93, 285-291.
- Perazzini, H., Bentes-Freire, F y Teixeira-Freire, J. (2017). The influence of vibrational acceleration on drying kinetics in vibro-fluidized bed. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* Accepted Manuscript 24 April 2017 doi.org/10.1016/j.cep.2017.04.009.
- Rahimi, M.R., Zamani, R. y Sadeghi, H. (2014). An investigation on drying kinetics of chamomile flower in vibrofluidized bed dryer. *International Journal of Chemical Engineering and Applications* 5, 190-193.
- Ramos-Ibarra, J.R., Miramontes, C., Arias, A., Arriola, E., Guatemala, G. y Corona-González, R.I. (2017). Production of hydrolytic enzymes by solid-state fermentation with new fungal strains using orange by-products. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 16, 19-31.
- Ramírez-Velasco, L., Armendáriz-Ruiz, M.A., Arrizon, J., Rodríguez-González, J.A., Mateos-Díaz, J.C. (2016). Liberación de ácido caféico de la pulpa de café empleando un extracto con actividad clorogenato esterasa de *Aspergillus ochraceus* producido por fermentación sólida. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 15, 503-512.
- Salcedo-Mendoza, J.G.; Contreras-Lozano, K.; García-López, A.; Fernández-Quintero, A.; (2016). Modelado de la cinética de secado del afrecho de yuca (*Manihot esculenta Crantz*). *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 15, 883-891.
- Sastoque-Cala, L, Mercado-Reyes, M., Martínez-Salgado, M.M., Quevedo-Hidalgo, B. y Pedroza-Rodríguez, A.M. (2007). Producción de quitinasas extracelulares con una cepa alcalófila halotolerante de *Streptomyces sp.* aislada de residuos de camarón. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 6, 137-146.
- Sastre de Vicente, M.E., Hernández-Botello, M.T., Calderón-Domínguez, G., Perea-Flores, M.J., Chanona-Pérez, J.J., Barriada Pereira, J.L., Torres-Rojas, E., Mendoza-Pérez, J.A. y Trejo-Valdez, M. (2014). Effect of the fluidized bed drying on the structure and biosorption capability of Pb⁺² of agave epidermis. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 13, 865-885.
- Schwimmer S., Austin S.J. (1971). Gamma glutamyl transpeptidase of sprouted onion. *Journal of Food Science* 36, 807-811.
- Schwimmer, S. y Weston, W.J. (1961). Enzymatic development of pyruvic acid in onion as a measure of pungency. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 9, 301-304.
- Senadeera, W., Bhandari, B. R., Young, G., y Wijesinghe, B. (2003). Influence of shapes of selected vegetable materials on drying kinetics during fluidized bed drying. *Journal of Food Engineering* 58, 277-283.
- Smith, P.G., (2007). *Applications of Fluidization to Food Processing*. Blackwell Publishing Ltd. Oxford, UK.
- Vizcarra, G.M., Pérez, C., Martínez, C., Ruiz, R. (2001). Wheat drying analysis in a vibrofluidized bed 227-233. Boca del Río. Veracruz. México. *Proceedings of the Second Interamerican Drying Conference*.

Referencias de Internet

- Aguilar-Gutiérrez, G. (2013). Índice de desperdicios de alimentos en México. Grupo Técnico Pérdidas y Mermas de Alimentos de la Cruzada Nacional contra el hambre.

Disponible en: <http://sinhambre.gob.mx/wp-content/uploads/2014/03/Indice-de-Desperdicio-de-Alimentos-en-M%C3%A9xico.docx>
Acceso: 21 abril 2017.

CFE (2016). Comisión federal de electricidad “Cargos por energía (\$/kWh)”. Disponible en: http://app.cfe.gob.mx/aplicaciones/ccfe/tarifas/tarifas/Tarifas_casa.asp?Tarifa=domesticas2003&anio=2016. [Acceso. 20 julio 2017].

FAO (2011). “Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes and Prevention”. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/sustainability/pdf/Global_Food_Losses_and_Food_Waste.pdf. [Acceso abril 30, 2017].

FAO (2015). SAVE FOOD: Iniciativa mundial sobre la reducción de la pérdida y el desperdicio de alimentos. Organización de las Naciones

Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: <http://www.fao.org/savefood/recursos/keyfindings/es/> [Acceso abril 30, 2017].

Ochoa-Neira, M.G. (2012). México, principal productor de cebolla. El financiero. [on line] Disponible en: <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2012/12/18/mexico-principal-productor-cebolla>. [Acceso abril 21, 2017].

Yahia, E.M. (1992). Fisiología y tecnología postcosecha de productos hortícolas, Centro de investigación en alimentación y desarrollo. Editorial Limusa. México. Pp.303. 1992. Disponible en: <http://www.infoagro.com/hortalizas/cebolla.htm> [Acceso: 21 abril 2017].