



EFECTO DEL SECADO POR LECHO FLUIDIZADO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE QUESO FRESCO MEXICANO

EFFECT OF FLUIDIZED BED DRYING ON PHYSICOCHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PROPERTIES OF MEXICAN FRESH CHEESE

A. Domínguez-Niño¹, A.N. Buendía-González¹, D. Cantú-Lozano¹, I. Andrade-González¹ y G. Luna-Solano^{1*}

¹Instituto Tecnológico de Orizaba. Av. Oriente 9 núm. 852 Col. Emiliano Zapata, C.P. 94320 Orizaba, Veracruz, México.

²Instituto Tecnológico de Tlajomulco, Km 10 carretera San Miguel Cuyutlán, Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, México.

Recibido 16 de junio de 2016, Aceptado 13 de julio de 2016

Resumen

El queso fresco artesanal mexicano es tradicionalmente elaborado de leche cruda, frecuentemente salado y susceptible a cambios causados por enzimas y microorganismos promotores del deterioro, generando alteraciones en el producto a nivel sensorial y nutricional. El propósito principal de este estudio fue evaluar el efecto del proceso de secado por lecho fluidizado sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de queso fresco mexicano. Se utilizó un diseño compuesto central rotatable $2^3+2(3)+1$ para establecer las condiciones del proceso. Los factores investigados fueron tiempo de secado 60, 90 y 120 min, temperatura del aire de secado 50, 60 y 70 °C y tamaño de partícula 0.5, 2 y 3.5 cm. El análisis de varianza indicó que el tiempo y la temperatura de secado afectaron significativamente ($p \leq 0.10$) sobre las variables de respuesta del queso deshidratado. De acuerdo con los resultados al final del proceso, los mínimos valores para el contenido de humedad, actividad de agua, diferencia de color, contenido de NaCl, grasa, consumo de energía y costo, fueron: 0.31%, 0.22, 6.63, 1.50%, 38.07%, 0.5293 kW y 72.11 \$·kg⁻¹ respectivamente. Los valores máximos para viabilidad, contenido de proteínas y producción fueron: 6.66 log UFC·g⁻¹ de lactobacilos, 39.45% y 0.0556 kg·h⁻¹ respectivamente.

Palabras clave: queso fresco, secado por lecho fluidizado, viabilidad, contenido de proteínas, costo.

Abstract

Artisan Mexican fresh cheese traditionally made from raw milk, is often salted and susceptible to changes caused by enzymes and spoilage microorganisms, generating alterations in the product at the sensory and nutritional level. The main purpose of this study was to evaluate the effect of fluidized bed drying on physicochemical and microbiological properties of Mexican fresh cheese. A $2^3+2(3)+1$ rotatable central composite design was used to establish the fluidized bed drying conditions. The factors were drying time 60, 90 and 120 min, drying air temperature 50, 60 and 70 °C, and particle size 0.5, 2 and 3.5 cm. The analysis of variance indicated that time and drying temperature affected significantly ($p \leq 0.10$) on response variables of dried cheese. According to results the lowest values at the end of the process of moisture content, water activity, color difference, NaCl, fat, energy consumption and production cost were: 0.31%, 0.22, 6.63, 1.50%, 38.07%, 0.5293 kW and 72.11 \$·Kg⁻¹ respectively. The highest values for viability, protein content and production were: 6.66 log UFC·g⁻¹ of lactobacillus, 39.45% and 0.0556 Kg·h⁻¹ respectively.

Keywords: fresh cheese, fluidized bed drying, viability, protein content, cost.

1 Introducción

El queso es el producto obtenido por coagulación de la leche cruda o pasteurizada (entera, semidescremada, y descremada), constituida esencialmente por caseína de la leche en forma de gel más o menos deshidratada. Mediante este proceso se logra preservar el valor nutritivo de la mayoría de los componentes de la leche, incluidos las grasas,

proteínas y constituyentes menores, generando un sabor especial y una consistencia sólida o semisólida en el producto obtenido (Ramírez-López y *col.*, 2012).

El queso es uno de los principales productos agrícolas del mundo, según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) se produce anualmente 20 222 000

* Autor para la correspondencia. E-mail: lupitals@hotmail.com

toneladas, siendo Estados Unidos el mayor productor de queso con 5 093 000 toneladas seguido por Alemania y Egipto con 2 029 000 y 644 000 toneladas respectivamente. En América Latina y el Caribe, México ocupa la segunda posición en la producción anual de queso con 154 000 toneladas, de las cuales 56 095 toneladas corresponden a la producción de queso fresco (FAO, 2013).

Los quesos Latinoamericanos, también conocidos como quesos de estilo hispano, son una categoría de quesos desarrollados en México. Estos quesos son elaborados tradicionalmente de leche cruda, son frecuentemente salados y considerados una rica fuente de nutrientes esenciales, en particular; proteínas, aminoácidos, grasa, vitaminas y minerales; por esta razón, la vida útil de estos quesos es muy corta debido a los cambios físicos, químicos y bioquímicos determinados por enzimas y microorganismos deteriorativos, como consecuencia de cada cambio, pueden presentarse varias alteraciones a nivel sensorial y nutricional, disminuyendo su valor comercial. Los quesos pueden ser clasificados como suaves, semiduros y duros basados en el contenido de humedad (Hnosko, y col. 2009; Farkye, 2006). Los quesos clasificados como suaves constituyen la mayoría de los quesos latinoamericanos y poseen alto contenido de humedad, incluyendo dentro de esta clasificación a los quesos frescos, los cuales presentan un contenido de humedad de 41-59%, 17-21% de proteínas, 18-29% de grasa, 1-3% de sal y un pH de 5.3-6.5. Es evidente que el crecimiento de bacterias patógenas en los quesos depende de condiciones como humedad, a_w , pH, contenido de sal y temperatura de maduración (Hnosko, y col. 2009). El uso de agua de grifo, suero de leche y salmuera mantiene una textura suave en el queso, sin embargo, la inmersión de los quesos en estas sustancias, puede incrementar la carga microbiana y turbidez durante el almacenamiento, por esta razón la vida de anaquel del producto bajo soluciones de sal es muy corta, aproximadamente de 5 a 7 días (Faccia, y col. 2012).

Aparte de su consumo directo, el queso puede ser utilizado como ingrediente alimenticio por sus propiedades funcionales tales como proveedor de aroma, sabor, apariencia y propiedades adhesivas. Para obtener esas propiedades funcionales, el queso necesita ser procesado y el proceso industrial más efectivo es el secado (Erby, y col. 2015; Varming, y col. 2011), definido como la remoción de agua innecesaria de materiales o alimentos, preservando la calidad del producto debido a que el agua es el principal componente del queso fresco y tiene

influencia directa y decisiva sobre su calidad y vida útil (Tarhan, y col. 2011).

El secado de productos alimenticios es complicado debido a las transformaciones físicas, químicas y bioquímicas que pueden ocurrir durante el proceso, algunas de las cuales son deseables. En la práctica, un secador es más que solo un dispositivo de remoción de humedad y para cada secador, se deben considerar las condiciones de proceso, el producto a elaborar, el propósito del secado y los métodos empleados. El secado convectivo es una de las operaciones más empleadas para la deshidratación de alimentos. Se han realizado muchas investigaciones sobre diferentes métodos de secado tales como secado por lecho fluidizado, secado por charolas, liofilización, secado de tambor, y deshidratación osmótica (Villegas-Santiago, y col. 2011). Como regla, la liofilización genera productos alimenticios de mayor calidad que cualquier otro método de secado. La liofilización de alimentos y materiales biológicos también tiene la ventaja de mínimas pérdidas de sabor y aroma. Sin embargo, la liofilización es un método costoso para la deshidratación de alimentos debido a que la velocidad de secado es lenta y al uso de vacío (Liapis y Brutini, 2014). El secado por aspersion no solamente tiene ventajas de costo sobre la liofilización como una herramienta tecnológica para extender la vida útil de los alimentos, sino también permite la producción continua de grandes cantidades de producto seco en cortos periodos de tiempo. Sin embargo, el secado por aspersion también presenta limitaciones tales como: altos costos de instalación, incrustaciones del producto en la cámara de secado y baja eficiencia térmica, (Páez, y col. 2012), además siendo generalmente aplicado en alimentos líquidos no es factible aplicarlo para deshidratar alimentos como el queso fresco.

Comúnmente reconocido por sus ventajas el secado por lecho fluidizado, incluye una tasa alta de remoción de humedad, alta eficiencia térmica, fácil transporte de material dentro del secador y bajos costos de mantenimiento (Law y Mujumdar, 2014). Se han desarrollado muchos trabajos sobre las condiciones de secado de diferentes vegetales como semillas de pimienta, arroz, trigo, grosella, mango, papa y brócoli (Kozanoglu, y col. 2012; Tuyen, y col. 2009; Vázquez-Chávez y Vizcarra-Mendoza, 2008; Murthy y Joshi, 2007; Villegas-Santiago, y col. 2011; Lozano-Acevedo, y col. 2011; Reyes, y col. 2012). Sin embargo, no se han encontrado reportes directamente relacionados con el estudio sobre la deshidratación de queso fresco mexicano por lecho fluidizado.

En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto del proceso de secado por lecho fluidizado sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del queso fresco mexicano.

2 Materiales y métodos

El queso fresco fue proporcionado por un grupo de productores de queso localizado en la región de Tlalixcoyan, Veracruz, México. La Tabla 1 muestra la composición fisicoquímica y microbiológica del queso fresco utilizado para el proceso de secado. Los tratamientos experimentales fueron desarrollados con cargas de queso de 1000 g, siguiendo el diseño experimental. Se utilizó un secador por lecho fluidizado (Restch TG-200, Alemania) a nivel laboratorio. El contenido de humedad y sólidos totales fueron determinados utilizando una termobalanza (SARTORIUS MA 35, Alemania) a 65 °C, con un contenido de muestra aproximadamente de 1 g durante un tiempo de 4 a 6 min. La actividad de agua (a_w) de las muestras deshidratadas fue medida a 25 °C con un medidor de actividad de agua Aqualab (Serie 3 TE, DECAGON, Washington).

Durante el secado, el color fue medido con un colorímetro HunterLab (modelo MiniScan XE plus; Laboratorio de Asociados Hunter, VA, USA). Los parámetros de color fueron determinados por reflectancia y expresados como L^* (Luminosidad), a^* (rojo-verde) y b^* (amarillo-azul). La diferencia de color (ΔE) en las muestras deshidratadas fue calculada utilizando la Ec. (1) descrita por Lozano-Acevedo y col. (2011).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

Donde $\Delta L^* = L^*$ de la muestra deshidratada $-L^*$ de la muestra fresca, $\Delta a^* = a^*$ de la muestra deshidratada $-a^*$ de la muestra fresca y $\Delta b^* = b^*$ de la muestra deshidratada $-b^*$ de la muestra fresca. Se tomaron muestras de 1 g aproximadamente para cada medición.

El contenido de proteínas fue cuantificado como porcentaje de proteínas por el método Kjeldahl utilizando un equipo Novatech (digestor y destilador modelo KJD2, México) y multiplicando el valor de nitrógeno por el factor de 6.38 para productos lácteos (James, 1995). La cantidad de sal en el queso fue cuantificada siguiendo el método en productos lácteos descrito por James, (1995). El contenido de grasa del queso se determinó por el método de extracción con equipo Soxhlet, las cenizas en una

mufla a 550 °C y el pH fue determinado con un medidor de pH (CONDUCTRONIC, ph10, México). Los lactobacilos en las muestras deshidratadas se determinaron empleando como medio de cultivo agar MRS (Man, Rogosa y Sharpe) marca DIBICO y para hongos y levaduras se utilizó medio de cultivo (marca DIBICO) de agar dextrosa y papa.

La energía requerida para obtener queso deshidratado fue definida en términos de la función de costo por unidad de producto establecida en las ecs. (2)-(3).

$$C_T = C_E + C_Q \quad (2)$$

$$P = G_{\beta 0}(1 + X_{\beta}) \quad (3)$$

Donde, C_T es el costo total ($\text{\$}\cdot\text{kg}^{-1}$), C_E es el costo de energía consumida ($\text{\$}\cdot\text{kg}^{-1}$) durante el proceso de secado y C_Q es el costo de la materia prima ($\text{\$}\cdot\text{kg}^{-1}$). C_E se obtuvo en función de la energía consumida por el proceso de secado (kW) por el tiempo total de secado (h) que requirió el queso fresco y considerando el costo de la energía actual ($\text{\$}\cdot\text{kW}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$). Los costos fueron establecidos en términos de unidades (estas unidades fueron basadas en moneda local de México: 1 unidad = 0.18 US\$ en el segundo semestre del año 2015). Los costos utilizados fueron: queso fresco = 40 $\text{\$}\cdot\text{kg}^{-1}$ y costo de energía = 0.809 $\text{\$}\cdot\text{kW}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$. La Ec. 3 define la producción de queso deshidratado ($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$), donde, $G_{\beta 0}$ es la carga inicial de queso ($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$) y X_{β} es el contenido de agua (kg de agua- kg de sólido seco $^{-1}$) a un tiempo dado.

Tabla 1 Caracterización fisicoquímica y microbiológica del queso fresco.

Análisis	Valores medios \pm desviación estándar
Humedad (%)	52.11 ^{1.49}
Actividad de agua	0.970 ^{0.00}
Contenido de proteínas (%)	15.24 ^{0.01}
Contenido de cloruro de sodio (%)	1.28 ^{0.206}
Contenido de grasa (%)	2.931 ^{0.239}
pH	6.31 ^{0.190}
Carbohidratos (%)	6.18
L^1	52.98
a^2	0.560
b^3	9.845
Mesófilos (log UFC·g ⁻¹)	7.89 ^{0.043}
Lactobacilos (log UFC·g ⁻¹)	5.39 ^{0.001}
Coliformes fecales (log UFC·g ⁻¹)	5.91 ^{0.002}
Hongos y levaduras (log UFC·g ⁻¹)	4.05 ^{0.056}

¹Luminosidad

²Cromaticidad (verde-rojo)

³Cromaticidad (azul-amarillo)

Tabla 2 Factores evaluados en el proceso de secado por lecho fluidizado de queso fresco.

Variables	Símbolo	Variables codificadas		
		-1	0	+1
independientes	codificado			
Tamaño de partícula (cm)	X_1	0.5	2	3.5
Temperatura de secado (°C)	X_2	50	60	70
Tiempo (min)	X_3	60	90	120

2.1 Diseño de experimentos

Se utilizó un diseño compuesto central rotatable $2^3+2(3)+1$. En este diseño, fueron requeridos tres niveles para cada factor y un punto central, haciendo un total de 15 experimentos en lugar de 27 para un diseño factorial completo. El análisis estadístico se realizó empleando el software Minitab 16. Los experimentos fueron realizados de manera aleatoria para minimizar los efectos de variabilidad en las respuestas como resultado de factores externos. Las variables de respuesta fueron: humedad final (Y_1), actividad de agua (Y_2), diferencia de color (Y_3), contenido de cloruro de sodio (Y_4), contenido de grasa (Y_5), viabilidad (Y_6), contenido de proteínas (Y_7), energía (Y_8), producción (Y_9) y costo (Y_{10}) del producto deshidratado. Diez funciones matemáticas f (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10) fueron establecidas para Y_k como se muestra en la Ec. (4).

$$Y_k = f_k(X_1, X_2, X_3) \quad (4)$$

Donde X_1 es el tamaño de partícula (cm), X_2 es la temperatura de aire de secado (°C) y X_3 es el tiempo de secado (min).

Los factores investigados fueron tiempo de secado (60 a 120 min), temperatura de aire de secado (50 a 70 °C) y tamaño de partícula (0.5 a 3.5 cm). Un modelo polinomial de segundo orden Ec. (5) fue utilizado para aproximar la función f_k utilizando la metodología de superficie de respuesta (MSR), empleando el software Matlab 2014a.

$$Y_k = b_{k0} + \sum_{i=1}^3 b_{ki}X_{ki} + \sum_{i=1}^3 b_{kii}X_i^2 + \sum_{i \neq j=1}^3 b_{kij}X_iX_j \quad (5)$$

Donde b_{k0} , b_{ki} , b_{kii} , b_{kij} representan los coeficientes de regresión (lineal, interacción y cuadrático), y X_i 's son las variables independientes codificadas (X_1 , X_2 y X_3). La Tabla 2 muestra las variables

independientes utilizadas para determinar los efectos del proceso de secado de queso, incluyendo el símbolo de codificación y códigos. Los experimentos fueron realizados por duplicado y se reportaron los valores medios.

3 Resultados y discusión

Los resultados experimentales (Y_1 , Y_2 , Y_3 , Y_4 , Y_5 , Y_6 , Y_7 , Y_8 , Y_9 y Y_{10}) son listados en la Tabla 3 correspondientes a los valores codificados de la Tabla 2. Los coeficientes de los modelos de segundo orden obtenidos por regresión, se muestran en la Tabla 4. Los resultados fueron representados con modelos de superficie de respuesta. Las gráficas de superficie de respuesta para las variables dependientes se muestran en la Fig. 1.

3.1 Contenido de humedad

La Fig. 1a muestra la superficie de respuesta de la humedad del queso deshidratado como función de la temperatura, tamaño y tiempo de secado. El análisis de varianza (ANOVA) demostró que la temperatura de secado influyó significativamente ($p \leq 0.10$) sobre el contenido de humedad del producto deshidratado. Se observó que las muestras que presentaron menor contenido de humedad fueron aquellas que se deshidrataron a 70 °C con un tamaño de partícula de 0.5 cm durante un tiempo de secado de 120 min. Un comportamiento similar fue observado por Hernández-Botello, y col. (2014) durante el secado por lecho fluidizado de epidermis de agave, quienes reportaron que el menor contenido de humedad fue obtenido en las muestras deshidratadas a 80 °C, como era de esperarse la humedad disminuyó exponencialmente con el tiempo de secado. De igual manera Morales-Delgado, y col. (2014) observaron

Tabla 3. Resultados experimentales de queso deshidratado por lecho fluidizado

Código	Respuestas												
	X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁ (%)	Y ₂	Y ₃	Y ₄ (%)	Y ₅ (%)	Y ₆ (log UFC·g ⁻¹)	Y ₇ (%)	Y ₈ (kW)	Y ₉ (kg·h ⁻¹)	Y ₁₀ (\$·kg ⁻¹)
1	-1	-1	-1	1.66	0.440	6.63	3.368	38.0715	6.1885	31.6027	1.0004	0.0459	87.2044
2	-1	1	-1	0.39	0.244	17.8	3.3247	43.2744	4.4412	40.4791	1.7600	0.0556	72.1115
3	1	-1	-1	0.36	0.462	13.33	1.7368	43.8317	4.1259	33.653	0.9253	0.0493	81.2352
4	1	1	-1	0.56	0.305	12.02	2.7005	46.2459	6.3931	38.8684	1.5926	0.0554	72.3555
5	-1	-1	1	0.65	0.265	11.19	3.5723	38.1681	4.1803	31.2619	0.7708	0.0274	73.1423
6	-1	1	1	0.45	0.118	11.62	2.5219	46.8443	5.8486	38.6908	1.7600	0.0277	72.5415
7	1	-1	1	0.64	0.325	10.5	2.8589	39.6718	5.1097	35.0361	0.8256	0.0239	83.8661
8	1	1	1	0.3	0.220	12.83	3.3165	45.4981	6.5078	30.0274	1.7600	0.0278	72.2805
9	0	-1	0	1.35	0.413	10.5	2.2809	41.27	6.5252	32.8662	0.5293	0.0345	77.4347
10	0	1	0	0.41	0.218	10.24	2.6079	41.1426	4.6173	33.1567	1.7600	0.0317	84.4164
11	0	0	0	0.52	0.230	22.99	3.1076	42.53	4.302	32.4870	1.5918	0.0344	77.7645
12	-1	0	0	0.54	0.228	12.31	3.0891	42.5162	6.6615	36.9477	1.4711	0.0344	77.7470
13	1	0	0	0.63	0.353	13.13	2.7999	43.2061	6.0062	36.3699	1.5572	0.0350	76.4257
14	0	0	-1	0.39	0.351	12.13	3.4256	39.3201	6.2572	33.5466	1.6079	0.0540	74.2333
15	0	0	1	0.55	0.262	17.67	0.9664	44.8394	6.5252	33.9554	1.4880	0.0247	81.2955

Tabla 4. Coeficientes de regresión (basados en datos codificados) de las ecuaciones polinomiales que representan la relación de la respuesta y las variables independientes.

Coeficiente	K=1									
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀
b_{k0}	0.616	0.285	15.9	2.55	42	5.85	33.7	1.49	0.0341	79.0
b_{k1}	-0.120	0.0370	0.23	-0.246	0.958	0.082	-0.503	-0.0102	0.0000	0.34
b_{k2}	-0.255	-0.0800	1.24	0.065	2.20	0.168	1.68	0.458	0.0017	-2.92
b_{k3}	-0.077	-0.0612	0.19	-0.132	0.428	0.077	-0.918	-0.0282	-0.0129	-0.40
b_{k12}	0.166	0.0101	-1.32	0.314	-0.705	0.468	-2.01	-0.0184	0.0000	-0.60
b_{k13}	0.121	0.0099	-0.05	0.292	-1.07	0.212	-0.666	0.0372	-0.0008	2.02
b_{k23}	0.066	0.0126	-0.89	-0.189	0.861	-0.318	-1.46	0.0621	-0.0014	1.47
b_{k11}	-0.054	-0.0084	-1.39	0.528	1.05	0.102	2.62	0.0451	0.0006	-2.19
b_{k22}	0.241	0.0166	-3.74	0.028	-0.61	-0.661	-1.03	-0.324	-0.0009	1.65
b_{k33}	-0.169	0.0076	0.79	-0.220	0.27	0.159	-0.29	0.0789	0.0052	-1.51

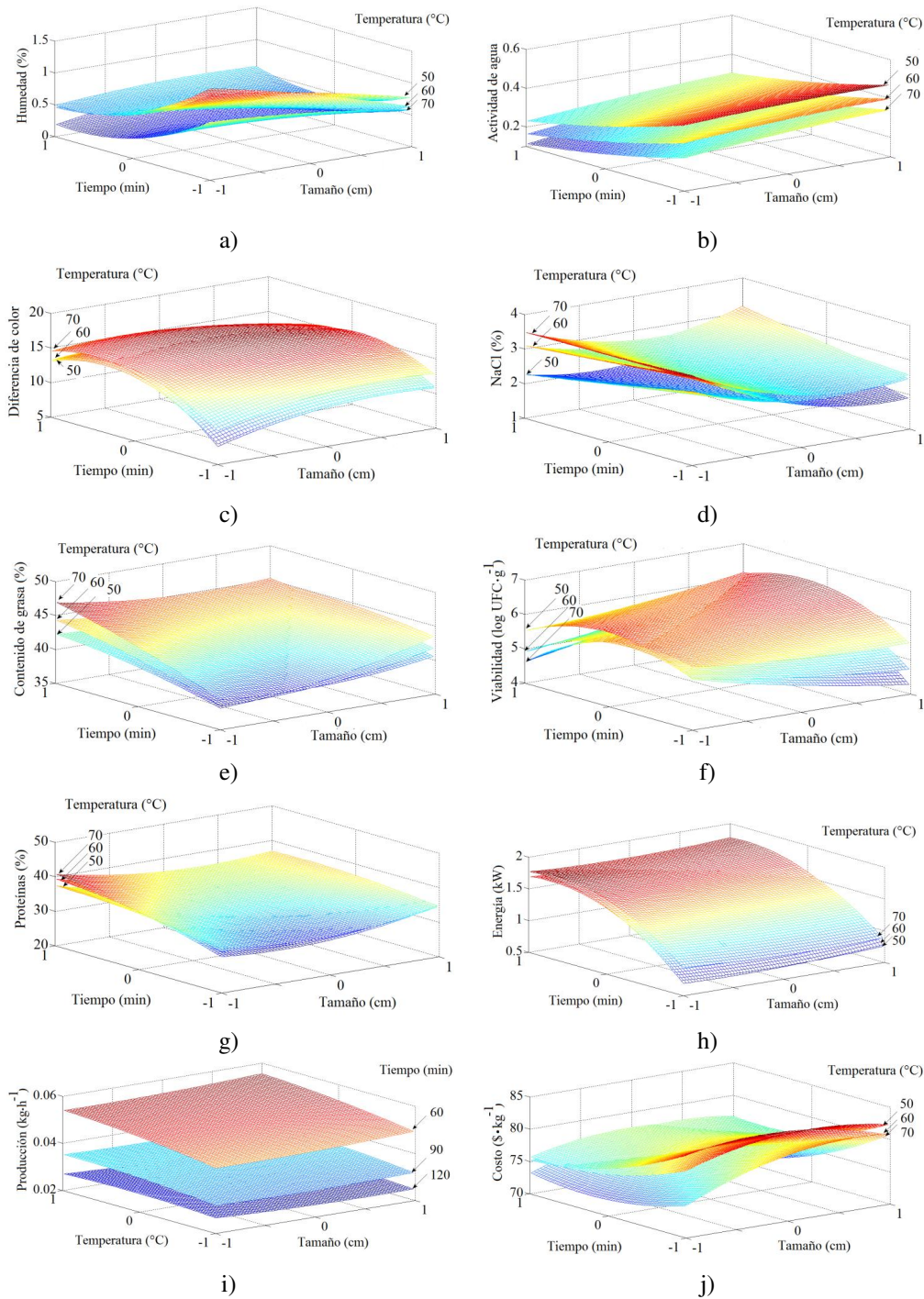


Fig. 1. Superficies de respuesta de: a) humedad, b) actividad de agua, c) diferencia de color, d) cloruro de sodio, e) grasa, f) viabilidad, g) proteínas, h) energía, i) producción y j) costo como función de la temperatura, tamaño y tiempo de secado.

que al incrementar la temperatura de secado de 60 a 90 °C el contenido de humedad (en células de parénquima de fresa *Fragaria x ananassa Dutch*) se

redujo de 2.8 % hasta un valor de 0.90% durante un tiempo de secado de 60 a 90 min. Las muestras de queso deshidratadas a 50 y 60 °C fueron consideradas

también productos estables debido a su reducción del contenido de humedad a valores menores o iguales al 10% (Tasirin, y col. 2014). En general se observó que a medida que disminuye la temperatura de secado, incrementa el contenido de humedad; de igual manera, se observó una tendencia decreciente de humedad al aumentar el tamaño de partícula del queso de 0.5 a 3.5 cm. Ésta última observación es contradictoria a lo reportado por Reyes, y col. (2012) para el secado por lecho fluidizado de brócoli, quienes reportaron que al aumentar el tamaño de partícula de 1 a 3 cm, el contenido de humedad resultó ser más elevado debido al hecho de que las partículas más grandes tienen una pequeña área de superficie específica. No obstante, es bien sabido que el área superficial de las partículas aumenta a medida que disminuye el tamaño de partícula y la distancia de transporte de humedad hacia el exterior es más corto. Por lo tanto, la velocidad de secado incrementa a medida que el tamaño de partícula disminuye, (Tasirin, y col. 2014; Law y Mujumdar, 2014). Por otra parte, a medida que incrementa el tamaño de partícula en el queso de 0.5 a 3.5 cm el contenido de humedad disminuye ligeramente. Esto es probablemente al hecho de que durante el proceso de deshidratación, el contenido de cloruro de sodio en las muestras de queso más grandes es mayor e incrementa conforme transcurre el proceso de secado y en combinación con la temperatura de secado hay aún mayor difusión del contenido de agua. Esta última observación es congruente con lo reportado por Arboatti, y col. (2014) quienes reportaron que la sal reduce el contenido de humedad y actividad de agua y, por lo tanto, reduce la disponibilidad de agua para los microorganismos.

3.2 Actividad de agua

La Fig. 1b muestra el efecto de interacción de la temperatura, tamaño y tiempo de secado sobre la actividad de agua del queso deshidratado. De acuerdo al análisis estadístico, las variables independientes influyeron de manera significativa ($p \leq 0.10$) sobre la a_w final. Como era de esperarse, la máxima temperatura de secado presentó valores de actividad de agua por debajo de 0.60. De acuerdo con la literatura, valores bajos de a_w proveen un alto grado de estabilidad microbiológica y química debida a la remoción del agua presente en el alimento y permiten que grandes cantidades de alimento altamente perecedero puedan ser conservadas y disponibles a través del tiempo (Arboatti, y col. 2014).

Se observó que a medida que disminuyó la temperatura de secado de 70 a 50 °C aumentó la actividad de agua; de igual manera, a medida que incrementó el tamaño de partícula de 0.5 a 3.5 cm, aumentó el nivel de actividad de agua. Esto debido a los gradientes de temperatura que se presentan en el proceso de deshidratación del queso fresco, estos gradientes generan diferencias de presión de vapor de agua, con la consiguiente transferencia de humedad y los cambios en los niveles de actividad de agua (Villegas-Santiago, y col. 2011).

3.3 Diferencia de color

El análisis de varianza (ANOVA) reveló que la temperatura de secado influyó de manera significativa ($p \leq 0.10$) sobre la ΔE del queso deshidratado. En la Fig. 1c se observa que a medida que incrementó la temperatura de secado de 50 a 70 °C incrementó la diferencia de color en el producto deshidratado con menor tamaño utilizado. Caso contrario a lo reportado por Pérez-Alonso, y col. (2015), quienes obtuvieron una disminución en la diferencia de color al incrementar la temperatura durante la microencapsulación de compuestos fenólicos. Al aumentar el tamaño de partícula del queso de 0.5 a 3.5 cm se observó una tendencia creciente de la diferencia de color en las menores temperaturas de secado. Este incremento en la diferencia de color del producto deshidratado está relacionado con la disminución de la luminosidad y con los valores de cromaticidad a^* y b^* . Aday y Karagul (2014) reportaron que el incremento en la concentración de sal disminuyó la luminosidad del queso debido a que altas concentraciones de sal provocan un incremento en la oxidación de los lípidos y cambios en el color del queso. Esta última observación está relacionada con lo reportado por Yazdanpanah y Langrish (2012); Varming y col. (2011), quienes reportaron que la temperatura y la humedad del aire causa la liberación y migración del contenido de grasa hacia la superficie de la partícula, por tanto, mientras más grasa cubra la superficie habrá mayor oxidación. De acuerdo a los resultados, un incremento en la temperatura de secado disminuyó la luminosidad en el queso deshidratado y generó una reducción en los valores de a^* y un aumento en los valores de b^* y por consiguiente una tendencia hacia la amarillez. De igual manera al aumentar el tamaño de partícula disminuyeron los valores de luminosidad, a^* y b^* por lo que la diferencia de color final aumenta.

3.4 Cloruro de sodio

Los niveles de sal en los quesos difieren significativamente de acuerdo a la variedad (0.2 a 5 %) permitiendo al consumidor una amplia elección con respecto al contenido de NaCl (Hnosko, y col. 2009). Durante el proceso de deshidratación por lecho fluidizado del queso la cantidad de cloruro de sodio incrementó de 1.28 a 3.57% manteniendo la concentración de sal dentro del rango típico de quesos frescos. El análisis de varianza (ANOVA) indicó que las variables independientes no influyeron significativamente ($p \geq 0.10$) sobre el contenido de cloruro de sodio del queso deshidratado. Aunque se puede observar en la Fig. 1d que al incrementar el tamaño de partícula de 0.5 a 2 cm se observó una disminución del contenido de cloruro de sodio en el queso deshidratado. Bajos niveles de humedad fueron observados en las muestras más pequeñas (0.5 cm) de queso deshidratadas en un tiempo de secado de 120 min por lo que el contenido de cloruro de sodio resultó ser alto debido a la pérdida de humedad durante el proceso.

La sal en el queso además de actuar como preservativo, contribuir al sabor y proveer una fuente de sodio, es el mayor determinante de la a_w , por lo tanto ejerce un control sobre el crecimiento microbiano, actividad enzimática, cambios bioquímicos durante el almacenamiento y el desarrollo de sabor y aroma deseables (Soares, y col. 2015). Algunos autores postulan que una cantidad excedente de 4% de cloruro de sodio causa una caída en la cuenta de microorganismos lácticos (Faccia, y col. 2012). Más adelante se reportan los resultados del número de bacterias lácticas en el producto de queso obtenido a diferentes condiciones de secado, en el cual se obtuvieron porcentajes de cloruro de sodio menores del 4%.

3.5 Contenido de grasa

El análisis de varianza (ANOVA) indicó que la temperatura de secado influyó de manera significativa ($p \leq 0.10$) sobre el contenido de grasa del queso deshidratado. En la Fig. 1e se observa que el incremento de la temperatura de secado de 50 a 70 °C aumentó el contenido de grasa del producto final, debido a que las altas temperaturas pueden dañar o eliminar los glóbulos de grasa causando que esté desprotegida y fluya como lagunas hacia la superficie de la partícula generando un incremento de grasa libre (Vignolles, y col. 2007; Erbay, y col. 2015).

De igual manera se observó una tendencia creciente del contenido de grasa al aumentar el tamaño de partícula de 0.5 a 3.5 cm, posiblemente al hecho de que a mayor tamaño de partícula hay una mayor cantidad de vacuolas las cuales con el tratamiento térmico liberan grasa hacia la superficie. Esta última observación es consistente con lo reportado por Vignolles y col.(2007) quienes reportaron que durante el proceso de secado por aspersion de productos lácteos, las partículas de mayor tamaño tienen menor área de contacto en relación al volumen, así pueden encapsular más grasa. Sin embargo la presencia de grasa en la superficie de la partícula reduce la fluidez, es susceptible a la oxidación y al desarrollo de rancidez (Kim, y col., 2009), por lo tanto, influye sobre la diferencia de color final del queso deshidratado (Aday y Karagul, 2014).

3.6 Viabilidad

La Fig. 1f muestra la superficie de respuesta de viabilidad de lactobacilos del queso deshidratado como función de la temperatura, tamaño y tiempo de secado. En general el análisis de varianza (ANOVA) demostró que las variables independientes no influyeron significativamente ($p \geq 0.10$) sobre el contenido de lactobacilos, sin embargo se observó que a menor tiempo de secado fue mayor el número de microorganismos presentes en las muestras deshidratadas. De acuerdo con los resultados obtenidos en la caracterización, el queso fresco tiene una viabilidad inicial de $5.39 \log \text{ UFC} \cdot \text{g}^{-1}$ de lactobacilos, la cual fue hasta un ciclo logarítmico mayor ($6.66 \log \text{ UFC} \cdot \text{g}^{-1}$ de lactobacilos) en el queso deshidratado.

El incremento de temperatura de 50 a 70 °C redujo la cantidad de lactobacilos en las muestras deshidratadas, este comportamiento es consistente con lo reportado por Ghandi, y col. (2012) quienes mencionaron que el incremento de la temperatura disminuyó el número de bacterias lácticas debido a la degradación térmica de los microorganismos. De igual manera se observó una ligera tendencia decreciente del contenido de microorganismos lácticos a medida que incrementó el tamaño de partícula de 0.5 a 3.5 cm en un tiempo de secado de 60 min. Se ha reportado que una deshidratación insuficiente o muy excesiva (humedad $>5.0\%$ o $<2.8\%$) causa la inactivación de las bacterias (Páez y col. 2012). En general es posible que la causa de la disminución de bacterias durante el secado de queso fue debida a la deshidratación excesiva ya que se obtuvo queso deshidratado con

humedades menores de 1.66% (Tabla 3).

Es bien conocido que la presencia de colonias de microorganismos en el queso es restringido por múltiples factores como: concentración de cloruro de sodio, oxígeno, temperatura, pH, tiempo y humedad final. También se ha reportado que el proceso de deshidratación causa daño a la membrana de los microorganismos y una inactivación parcial dependiendo de las condiciones de operación (Faccia y col., 2012; Ghandi, y col., 2012).

3.7 Contenido de proteínas

La Fig. 1g muestra el efecto de interacción de la temperatura de secado, tamaño de partícula y tiempo sobre el contenido de proteínas del queso deshidratado. El análisis de varianza (ANOVA) indicó que las variables independientes no influyeron significativamente ($p \geq 0.10$) sobre la variable de respuesta. Se observó de manera evidente una tendencia creciente del contenido de proteínas al aumentar la temperatura de secado de 50 a 70 °C, debido a que la cantidad de sólidos incrementa a razón de que el agua residual disminuye (Vignolles y col., 2007). Un comportamiento similar fue reportado por Erbay y Koca (2012) durante el proceso de secado por aspersión de queso blanco, logrando un incremento de 36.32% en el contenido de proteínas. Así mismo Shingare y Thorat (2013) observaron un incremento del contenido de proteínas durante la deshidratación de mijo a 60 °C. Por otra parte, se observó que el incremento del tamaño de partícula de 2 a 3.5 cm favoreció la cantidad final de proteínas en el queso deshidratado a la menor temperatura, posiblemente al hecho de que a mayor tamaño de partícula hay una mayor cantidad de vacuolas las cuales con el tratamiento térmico liberan mayor cantidad de componentes proteicos hacia la superficie (Kim, y col., 2009; Farkye, 2006).

3.8 Energía

El análisis de varianza (ANOVA) para el consumo de energía durante la deshidratación del queso fresco indicó que la temperatura y la interacción de los factores temperatura-tiempo influyeron significativamente ($p \leq 0.10$) sobre el consumo de energía. Se observó de manera evidente que el incremento de la temperatura y el tiempo de secado aumentó el consumo de energía durante el proceso (Fig. 1h). Este comportamiento es congruente con lo reportado por Sharma y Prasad (2006) quienes

concluyeron que el consumo de energía durante el secado convectivo de dientes de ajo aumentó al incrementar la temperatura de 40 a 70 °C. Así mismo Kocabiyc y Tezer (2009) reportaron el incremento en el consumo de energía, durante el secado infrarrojo de rebanadas de zanahoria, al aumentar la intensidad infrarroja de 200 a 400 W. Por otra parte Tarhan, y col. (2011) observaron que el incremento del tiempo de secado aumentó el consumo de energía total, obteniendo menor consumo de energía a temperaturas de secado de 55 a 60 °C. Concluyeron que otro factor que influyó en el consumo de energía es la cantidad de agua removida de los materiales húmedos, por lo que la cantidad de energía específica que considera la cantidad de agua removida fluctuó en un rango de 6.12 a 8.89 MJ·kg⁻¹ de agua.

Finalmente de acuerdo a los resultados de la Tabla 3 los valores de consumo de energía se encontraron en un rango de 0.5293-1.7600 kW. Las condiciones que permitieron obtener el menor consumo de energía con respecto a la gráfica de superficie de respuesta fueron: temperatura de 50 °C con un tiempo de secado de 60 min, mientras que el tamaño de partícula del queso no influyó sobre la variable de respuesta.

3.9 Producción

La Fig. 1i muestra la superficie de respuesta de producción del queso deshidratado como función de la temperatura, tamaño y tiempo de secado. El análisis de varianza (ANOVA) indicó que el tiempo de secado influyó significativamente ($p \leq 0.10$) sobre la producción obtenida. Se observó de manera evidente que la mayor producción se obtuvo con un tiempo de secado de 60 min, debido a que a estas condiciones el producto posee un porcentaje de humedad mayor que las muestras deshidratadas a tiempos de 90 y 120 min. Un comportamiento similar fue reportado por Luna-Solano y col. (2005) durante la optimización de levadura de cerveza mediante el secado por aspersión, sus resultados demostraron que la producción de levadura fue mayor a temperaturas bajas del proceso de secado. Esto era esperado porque a temperaturas bajas habrá mayor humedad en el producto y por lo tanto mayor producción, (Luna-Solano y col., 2005; Kozanoglu y col., 2012). Caso contrario a lo reportado por Da Cunha y col. (2006) durante el estudio de las condiciones de operación del secado por lecho fluidizado sobre la calidad de pulpa de mango, quienes reportaron que disminuyendo la humedad del producto por aumento de la temperatura, se evita su adherencia en las paredes del secador, por lo que hay

un mejoramiento en la producción.

3.10 Costo

El análisis de varianza (ANOVA) indicó que los factores de estudio no influyeron significativamente ($p \geq 0.10$) sobre la variable de respuesta. De acuerdo con los resultados el costo de producción durante el proceso de secado se encontró en un rango de 72.11 a 87.20 $\$/\text{kg}^{-1}$. En la Fig. 1j se observa que las muestras deshidratadas en un tiempo de 60 min a una temperatura de 50 °C y tamaño de partícula de 3.5 cm presentaron el mayor costo de producción en comparación con las muestras deshidratadas a 90 y 120 min, debido al hecho de que a estas condiciones se obtuvo la mayor producción de queso deshidratado. Se observó que a mayor tiempo de secado y mayor temperatura el costo de producción disminuyó, esto era esperado porque a altas temperaturas habrá menor humedad en el producto y por lo tanto menor producción. El objetivo principal de cualquier proceso de secado es reducir el deterioro y mejorar la calidad para generar un producto deshidratado a un mínimo costo, (Pérez-Francisco y col., 2008; Jangam y col., 2010). Desafortunadamente poca información sobre costo de proceso ha sido publicada en literatura abierta y mucha de ella ha sido retenida por la industria como confidencial (Kudra, 2014). Por ejemplo Luna-Solano y col. (2005) y Pérez-Francisco y col. (2008), publicaron estudios científicos con la finalidad de encontrar las condiciones de operación del proceso de secado para lograr un costo de producción mínimo de levadura de cerveza deshidratada obtenida mediante secado por aspersión y de chayote (*Sechium edule*) deshidratado en un secador por charolas respectivamente. También Wade (1998) informó los costos de operación en el secado de madera, bagazo, paja y residuos agrícolas en secadores rotatorios, de disco, y secadores de vapor.

Conclusiones

El secado por lecho fluidizado es una alternativa eficiente para la conservación de queso, debido a la alta reducción de agua en el producto perecedero por naturaleza. Durante el secado por lecho fluidizado las muestras deshidratadas a 50 y 60 °C generaron productos estables con contenido de humedad y actividad de agua menores al 10% y 0.6 respectivamente. A medida que incrementó la temperatura de secado de 50 a 70 °C fue mayor

la diferencia de color y contenido de grasa en el queso deshidratado. El contenido de cloruro de sodio presentó una tendencia decreciente al reducir la temperatura de 70 a 50 °C. La mayor cantidad de proteínas en el queso deshidratado se encontró cuando se deshidrató a 70 °C. Por otra parte, a menor tiempo de secado fue mayor el número de lactobacilos a razón de un ciclo logarítmico en el queso deshidratado ($6.66 \log \text{UFC} \cdot \text{g}^{-1}$) que en el queso fresco ($5.39 \log \text{UFC} \cdot \text{g}^{-1}$). Las condiciones que permitieron obtener el menor consumo de energía, mayor producción y menor costo del queso deshidratado fueron: temperatura de 50 °C con un tiempo de secado de 60 min, y tamaño de muestra de 0.5 a 3.5 cm. A estas condiciones se obtuvo 0.0556 $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ de queso deshidratado a un costo de 72.11 $\$/\text{kg}^{-1}$.

Agradecimientos

Agradecimiento para el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento de esta investigación a través del proyecto “Fortalecimiento del Cuerpo Académico en Procesos Alimentarios a través de la Adquisición de Equipos Especializados de Secado” IFR3-2011-03.

Nomenclatura

ΔE	diferencia de color
a^*	rojo-verde
a_w	actividad de agua
b^*	amarillo-azul
b_{k0}	coeficiente de regresión
b_{ki}	coeficiente de regresión lineal
b_{kii}	coeficiente de regresión cuadrático
b_{kij}	coeficiente de regresión interacción
C_E	costo de energía ($\$/\text{kg}^{-1}$)
C_Q	costo de la materia prima ($\$/\text{kg}^{-1}$)
C_T	costo total ($\$/\text{kg}^{-1}$)
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
f_k	funciones matemáticas
$G_{\beta 0}$	carga inicial de queso ($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$)
L^*	luminosidad
MRS	Man-Rogosa-Sharpe
P	producción ($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$)
UFC	unidades formadoras de colonia
X_1	tamaño de partícula
X_2	temperatura de aire de secado
X_3	tiempo de secado

$X_{i's}$ variables independientes codificadas
 X_{β} contenido de agua (kg de agua/kg de sólido seco⁻¹)
 Y_k variables de respuesta

Referencias

- Aday, S. y Karagul, Y.Y. (2014). Physicochemical and sensory properties of mihalic cheese. *Journal of Food Properties* 17, 2207-2227.
- Arboatti, A.S., Olivares, M.L., Sabbag, N.G., Costa, S.C., Zorrilla, S.E. y Sihufe, G.A. (2014). The influence of sodium chloride reduction on physicochemical, biochemical, rheological and sensory characteristics of Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science & Technology* 94, 373-386.
- Da Cunha, L.R., García de la Cruz, A. y Menegalli, C.F. (2006). Effects of operating conditions on the quality of mango pulp dried in a spout fluidized bed. *Journal of Drying Technology* 24, 423-432.
- Erbay, Z. y Koca, N. (2012). Energetic, exergetic, and exergoeconomic analyses of spray-drying process during white cheese powder production. *Journal of Drying Technology* 30, 435-444.
- Erbay, Z., Koca, N., Kaymak-Ertekin, F. y Ucuncu, M. (2015). Optimization of spray drying process in cheese powder production. *Journal of Food and Bioproducts Processing* 93, 156-165.
- Faccia, M., Mastromatteo, M., Conte, A. y Del Nobile M.A. (2012). Influence of the different sodium chloride concentrations on microbiological and physicochemical characteristics of Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Research* 79, 390-396.
- Farkye, N.Y. (2006). Significance of milk fat in milk powder. En: *Advanced Dairy Chemistry* (P.F. Fox y P.L.H. McSweeney, eds.), Pp. 451-465. Springer, New York.
- Food and Agricultural Organization of the United Nations. (2013). *Statistical yearbook world food and agriculture*. Editorial FAO, Roma.
- Ghandi, A., Powell, I.B., Chen, X.D. y Adhikari, B. (2012). The effect of dryer inlet and outlet air temperatures and protectant solids on the survival of *Lactococcus lactis* during spray drying. *Journal of Drying Technology* 30, 1649-1657.
- Hernández-Botello, M. T., Chanona-Pérez, J. J., Mendoza-Pérez, J. A., Trejo-Valdéz, M., Calderón-Domínguez, G., Barriada-Pereira, J. L., Sastre de Vicente, M. E. Perea-Flores, M. J. y Terres-Rojas, E. (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.
- Hnosko, J., Clark, S. y Van Hekken, D. (2009). Latin American Cheeses. En: *The Sensory Evaluation of Dairy Products*, (S. Clark., M. Costello., M. Drake y F. Bodyfelt, eds.), Pp. 489-504. Springer, New York.
- James, C.S. (1995). *Analytical Chemistry of Foods*. Editorial Chapman & Hall, United Kingdom.
- Jangam, S.V., Law, C.L. y Mujumdar, A.S. (2010). *Basic Concepts and Definitions in Drying of Foods, Vegetables and Fruits*. ISBN-978-981-08-6759-1, Singapore.
- Kim, E.H.J., Chen, X.D. y Pearce, D. (2009). Surface composition of industrial spray-dried milk powders. 1. Development of surface composition during manufacture. *Journal of Food Engineering* 94, 163-168.
- Kocabiyik, H. y Tezer, D. (2009). Drying of carrot slices using infrared radiation. *Journal of Food Science and Technology* 44, 953-959.
- Kozanoglu, B., Martinez, J., Alvarez, S., Guerrero-Beltrán, J.A. y Welte-Chanes, J. (2012). Influence of Particle Size on Vacuum-Fluidized Bed Drying. *Journal of Drying Technology* 30, 138-145.
- Kudra, T. (2014). Cost-estimation methods for dryers and drying processes. En: *Handbook of Industrial Drying*, (A.S. Mujumdar ed.), Pp. 1291-1301. CRC Press, Boca Raton FL.
- Liapis, A.I. y Bruttini, R. (2014). Freeze drying. En: *Handbook of Industrial Drying*, (A.S. Mujumdar, ed.), Pp. 259-282. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Law, C.L. y Mujumdar, A.S. (2014). Fluidized bed dryers. En: *Handbook of Industrial Drying*, (A.S. Mujumdar, ed.), Pp. 161-189. CRC Press, Boca Raton, FL.

- Lozano-Acevedo, A., Jimenez-Fernández, M., Ragazzo-Sánchez, A., Urrea-García, G.R. y Luna-Solano, G. (2011). Fluidized bed drying of thinly sliced potato (*Solanumtuberosum*). *American Journal of Potatoe Research* 88, 360-366.
- Luna-Solano, G., Salgado-Cervantes, M.A., Rodríguez-Jimenes, G.C. y García-Alvarado, M.A. (2005). Optimization of brewer's yeast spray drying process. *Journal of Food Engineering* 68, 9-18.
- Morales-Delgado, D.Y., Téllez-Medina, D.I., Rivero-Ramírez, N.L., Arellano-Cárdenas, S., López-Cortez, S., Hernández-Sánchez, H., Gutiérrez-López, G. y Cornejo-Mazón. (2014). Effect of convective drying on total anthocyanin content, antioxidant activity and cell morphometric parameters of strawberry parenchymal tissue (*Fragaria x ananassa Dutch*). *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 13, 179-187.
- Murthy, Z.V.P. y Joshi, D. (2007). Fluidized bed drying of aonla (*Emblicoefficinalis*). *Journal of Drying Technology* 25, 883-889.
- Páez, R., Lavari, L., Vinderola, G., Audero, G., Cuatrin, A., Zartitzky, N. y Reinheimer, J. (2012). Effect of heat treatment and spray drying on lactobacilli viability and resistance to simulated gastrointestinal digestion. *Journal of Food Research International* 48, 748-754.
- Pérez-Alonso, C., Campos-Montiel, R. G., Morales-Luna, E., Reyes-Munguía, A., Aguirre-Álvarez, G. y Pimentel-González, D. J. (2015). Stabilization of phenolic compounds from *Opuntia oligacantha* forst by microencapsulation with agave sap (aguamiel). *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 3, 579-588.
- Pérez-Francisco, J.M., Cerecero-Enríquez, R., Andrade-González, I., Ragazzo-Sánchez, J.A. y Luna-Solano, G. (2008). Optimization of vegetal pear drying using response surface methodology. *Journal of Drying Technology* 26, 1401-1405.
- Ramírez-López, C. y Vélez-Ruiz, J.F. (2012). Quesos frescos: propiedades, métodos de determinación y factores que afectan su calidad. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 6-2, 131-148.
- Reyes, A., Mahn, A., Guzmán, C. y Antoniz, D. (2012). Analysis of the drying of broccoli florets in a fluidized pulsed bed. *Journal of Drying Technology* 30, 1368-1376.
- Sharma, G.P. y Prasad, S. (2006). Specific energy consumption in microwave drying of garlic cloves. *Journal of Energy* 31, 1921-1926.
- Shingare, S.P. y Thorat, N.B. (2013). Effect of drying temperature and pretreatment on protein content and color changes during fluidized bed drying of finger millets (*Ragi, Eleusinecoracana*) sprouts. *Journal of Drying Technology* 31, 507-518.
- Soares, C., Fernando, A.N., Mendes, B. y Martins, P.L.A. (2015). The effect of lowering salt on the physicochemical, microbiological and sensory properties of Sao Joao cheese of Pico Islan. *Journal of Dairy Technology* 3, 409-419.
- Tarhan, S., Telci, I., Tuncay, M.T. y Polatci, H. (2011). Peppermit drying performance of contact dryer in terms of product quality, energy consumption, and drying duration. *Journal of Drying Technology* 29, 642-651.
- Tasirin, M.S., Puspasari, I., Sahalan, Z.A., Mokhtar, M., Kamel, M. y Yaakob, Z. (2014). Drying of citrus sinensis peels in an inert fluidized bed: Kinetics, microbiological activity, vitamin C, and limonene determination. *Journal of Drying Technology* 32, 497-508.
- Tuyen T.T., Truong, V., Fukai, S. y Bhandari B. (2009). Effects of high-temperature fluidized bed drying and tempering on kernel cracking and milling quality of vietnamese rice varieties. *Journal of Drying Technology* 27, 486-494.
- Varming, C., Beck, T.K., Petersen, M.A. y Ardo, Y. (2011). Impact of processing steps on the composition of volatile compounds in cheese powders. *Journal of Dairy Technology* 64, 197-206.
- Vázquez-Chávez, L. y Vizcarra-Mendoza, M. (2008). Secado por lecho fluidizado del trigo y su calidad. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 7, 131-137.
- Vignolles, M.L., Jeantet, R., Lopez, C. y Schuck, P. (2007). Free fat, surface fat and dairy powders: interactions between process and product. A review. *Lait* 87, 187-236.

- Villegas-Santiago, J., Calderon-Santoyo, M., Ragazzo-Sánchez, A., Salgado-Cervantes, M.A. y Luna-Solano, G. (2011). Fluidized bed and tray drying of thinly sliced mango (*Mangifera indica*) pretreated with ascorbic and citric acid. *Journal of Food Science and Technology* 46, 1296-1302.
- Wade, W.A. (1998). Report on biomass drying technology. National renewable energy laboratory. Golden, CO. Code NREL/TP-570-25885.
- Yazdanpanah, N. y Langrish, A.G.T. (2012). Releasing fat in whole milk powder during fluidized bed drying. *Journal of Drying Technology* 30, 1081-1087.