



Optimización de humedad y textura en snacks de manzana, evaluando espesor y temperatura de secado

Optimization of humidity and texture in apple snacks evaluating thickness and drying temperature

Heiler Alva, Eduardo Bazán Cruz, Jorge Cabrera Sánchez, Kyara Huaccha, Shirley Rojas*

Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agropecuarias (Universidad Nacional de Trujillo) Av. Juan Pablo II s/n, Ciudad Universitaria, Trujillo Perú.

Recibido 10 noviembre 2013. Aceptado 21 diciembre 2013.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue optimizar el efecto de la temperatura del aire de secado y espesor sobre la humedad final y la textura de rodajas de manzana (*Malus domestica*) var. Granny Smith. Experimentalmente se trabajó empleando la metodología de superficie de respuesta, donde se llevaron a cabo los tratamientos a temperaturas comprendidas entre 50 y 70 °C, y con espesores desde 1 a 4 mm; para ello se empleó un secado convectivo. Para evitar el pardeamiento de las rodajas de manzana, éstas se sumergieron en una solución de ácido cítrico para evitar el pardeamiento enzimático, y un pretratamiento en una solución de sacarosa al 40 °Brix con la finalidad de reducir los tiempos de deshidratación debido a que se reduce la cantidad de agua libre que esta contenida en la manzana, obteniendo como resultados que a una temperatura de 60°C y un espesor adecuado de 2.5 mm que minimiza la humedad final y maximizan la aceptabilidad del snack.

Palabras claves: Humedad, deshidratación, Granny Smith, textura, Diseño Compuesto Central Rotacional.

ABSTRACT

The objective of this study was to optimize the effect of drying air temperature and humidity on the final thickness and texture of sliced apple (*Malus domestica*) var. Granny Smith. Experimentally worked using the response surface methodology, where the treatments conducted at temperatures between 50 and 70 °C, and its thickness is from 1 to 5 mm. This convective drying to prevent browning of the apple slices, they were immersed in a solution of citric acid to prevent enzymatic browning, and a pretreatment in a sucrose solution at 40 ° Brix in order to reduce the time of dehydration because it reduces the amount of free water that is contained within is the apple, obtaining as a result that at a temperature of 60 ° C and an appropriate thickness of 2.5 mm to minimize the final humidity and maximize the snack acceptability.

Keywords: Humidity, dehydration, Granny Smith, texture, Rotational Central Composite Design

1. Introducción

Manzana (*M. domestica*) es una de las frutas más importantes cultivadas en las regiones templadas del mundo. El color de la manzana es un factor importante

porque se considera atractivo para el consumidor, siendo los frutos de color rojo más populares (King y Cliff, 2002). La variedad Granny Smith se caracteriza por tener un largo periodo de

*Autor para correspondencia
E-mail: xhile.r.t1@gmail.com (S. Rojas)

cultivo en zonas relativamente cálidas. Las manzanas se han exportado de Perú en cantidades cada vez mayores en los últimos 20 años.

Más recientemente, manzanas secas y otras exportaciones de frutos secos se han vuelto importantes. Los principales mercados para estos productos incluyen los EE.UU., la Comunidad Europea y Japón (Vílchez *et al.*, 2013). En los últimos años el consumidor pone especial atención a sus alimentos orientado por la abundante evidencia científica de que la mayor ingesta de alguno de ellos o de ciertos ingredientes añadidos dentro de una dieta normal genera mayores beneficios para la salud. La obesidad, constituye el mayor problema de salud pública en el ámbito mundial por su creciente prevalencia y por sus consecuencias sobre la expectativa y la calidad de vida futura. La obesidad infantil seguirá muy probablemente en la edad adulta, por lo que es de vital importancia examinar los factores determinantes en los primeros años de vida ya que los individuos con sobrepeso y obesidad poseen mayor riesgo de desarrollar enfermedades crónicas, enfermedades cardiovasculares, hipertensión y ciertas formas de cáncer (Hurley *et al.*, 2011).

El secado de los alimentos ha sido ampliamente utilizado en toda la historia del hombre, lo que permite flexibilidad en la disponibilidad de estos productos independientemente de la temporada. Hoy en día, la industria de alimentos deshidratados ocupa una importante posición dentro de las industrias de alimentación general de todo el mundo. La deshidratación de las manzanas es hoy en día una práctica frecuente, ya que se seca las manzanas y son parte de numerosos alimentos preparados incluidas las preparaciones de aperitivos, alimentos para el desayuno, así como otras preparaciones (Akpınar *et al.*, 2003). Las ventajas de la deshidratación son bien conocidas,

como la reducción de la humedad en el producto que retarda en gran medida el deterioro microbiano y químico y provoca una importante reducción de volumen (Doymaz y Pala, 2003). Sin embargo, los productos alimenticios son sensibles a condiciones de secado (temperatura, velocidad del aire y humedad relativa), que puede causar deterioro de la calidad de los productos a través de la oxidación, cambio de color, la contracción o pérdida de la textura y las propiedades nutricionales funcionales (Vega-Gálvez *et al.*, 2009).

A pesar de estos beneficios, la deshidratación causa evidentes cambios en la microestructura de los tejidos de frutas y vegetales y dichos cambios pueden hacer que el producto sea inaceptable para los consumidores. Estos cambios están relacionados con la pérdida de agua de las partes interiores hacia la superficie y el aire circundante, posiblemente causando rigidez, el deterioro y la alteración de las paredes celulares, o incluso un colapso de los tejidos celulares (Maltin *et al.*, 2003). Frutas y hortalizas son generalmente difíciles de deshidratar en aire caliente, debido a su alto contenido de agua, lo que implica largos tiempos de secado, lo que conduce posteriormente a serios cambios estructurales y de color (Krokida y Maroulis, 2001), y la inevitable pérdida de nutrientes (Aguilera *et al.*, 2003). Como ventajas complementarias se permite su almacenamiento y transporte a un bajo costo.

La manzana es una fruta de consumo frecuente y constituye una de las principales fuentes de polifenoles en la dieta occidental (Boyer y Liu, 2004). En los sistemas de alimentación de baja y media-humedad, la actividad de agua se utiliza tradicionalmente como una herramienta predictiva de los cambios microbianos, químicos y los cambios físicos (Maltini *et al.*, 2003).

Los snack de frutas se perciben como alimentos sanos y refrescantes, al igual que las frutas naturales, pero la ventaja de los snack es que incluyen otros aspectos valorados por los consumidores como la facilidad para almacenarlos y la ausencia de deshechos (Jack *et al.*, 1997).

El objetivo de este trabajo fue optimizar el efecto de la temperatura del aire de secado y espesor sobre la humedad final y la textura de rodajas de manzana var. Granny Smith.

2. Materiales y métodos

2.1. Materia Prima

Las manzanas (var. Granny Smith) fueron adquiridos de un supermercado local en la ciudad de Trujillo. Para su selección se consideró la frescura, color, tamaño, estado de madurez y la ausencia de cualquier daño mecánico.

Para las rodajas de manzana frescas se caracterizaron con un porcentaje de humedad de 84,20%, 12,3 °Brix determinado por método indirecto (Brixometro) y un pH de 3,20 medido con pH-metro.

Para la preparación de las muestras, las manzanas se lavan despojándolas de las semillas y son sumergidas en una solución de bisulfito de sodio y ácido cítrico al 1% y 2% respectivamente. Las rodajas se cortaron perpendicularmente al eje principal de la manzana utilizándose el vernier (UIUSTOOLS) para medir los espesores que oscilan entre 1 a 4 mm (Tabla 1).

El acondicionamiento de las rodajas listas continuó con una solución de sacarosa de 40 Brix adicionándole baño maría de 50°C para que la velocidad de transferencia de masa sea más rápida. El contenido de humedad inicial era determinado según el método oficial AOAC 934.06 (AOAC1996), utilizando la estufa eléctrica (MEMMERT, rango 30-225°C, Alemania) y una balanza

digital (SARTORIUS, Alemania) con una precisión de $\pm 0,01$ g.

2.2. Proceso de secado

El proceso de secado de aire caliente se llevó a cabo en un secador de convección diseñado y construido en el Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de Trujillo, Perú (Vega-Gálvez *et al.*, 2009).

Este secador se caracteriza por estar hecho de acero y tener la forma como se observa en la figura 1, cuyas dimensiones son 90, 28 y 25 centímetros de largo, altura y ancho. Cuenta con un ventilador acoplado (Motor de corriente alterna) en uno de sus extremos que tiene la capacidad de generar aire con una velocidad máxima de hasta 4,5 m/s, inmediatamente después se encuentra ubicada una resistencia de alambre espiral que permite generar una temperatura máxima de 70 °C. Cuenta con una puerta para introducir el alimento, asimismo con 4 sensores de temperatura interno específicamente el LM35 de "National Semiconductor" de rango de operación entre -55 a 150 °C y comportamiento lineal: 2 sensores de bulbo seco, 1 de bulbo húmedo y 1 sensor de temperatura externo para medir la temperatura ambiente, además un sensor de peso diseñado para un peso máximo de 100g y cuyo mecanismo de funcionamiento es de puente Wheatstone para lo cual hace uso de galga extensiométricas. Este último se ubica en la parte superior el equipo del cual sostiene una canasta donde se coloca la muestra a secar.

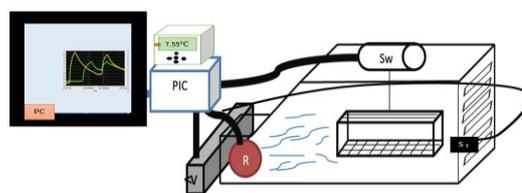


Figura 1. Esquema de secador.

El secador cuenta con un sistema de interfaz conectado a un PC, que registró los datos utilizando el programa LabVIEW 9,0 (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) empleando símbolos gráficos en lugar de lenguaje textual para describir acciones de programación. Además incorpora librerías para estándares de software como TCP/IP y ActiveX.

Los experimentos se realizaron hasta un condición de equilibrio se alcanzó y un peso constante de la muestras se registró. Las muestras secas se mantuvieron en bolsas de polipropileno selladas hasta su posterior análisis.

2.3. Diseño experimental

Las condiciones aplicadas en los montajes experimentales utilizados para el secado de manzanas se basa en determinar los mejores valores óptimos con un Diseño Compuesto Central Rotacional (DCCR) usando factoriales completos con un planeamiento factorial: $2^n + 2 \cdot n + pc$, donde 2 es el número de niveles a ser estudiado (-1;+1); n es el número variables independientes y pc es la cantidad de puntos centrales que se repiten.

Se consideraron 2 variables independientes, haciendo un total de 2^2 incluido 4 puntos axiales y 3 repeticiones en el punto central, totalizando 11 ensayos. Los valores en los niveles de los puntos axiales (-1,41 y +1,41) y el punto central fueron determinados tomando como antecedentes las investigaciones realizadas por Rodríguez *et al.* (2005).

La firmeza de las muestras, como un indicador de la textura, se define como la fuerza máxima aplicada al perforar el tejido de la manzana. Esta propiedad física se midió usando un analizador de textura (INSTRON 2519-102, capacidad máxima 50 N, Barcelona, España). En todos los casos, las pruebas se hicieron a la temperatura ambiente

(18° C) y se ajustó para una distancia de recorrido de 20 mm a una velocidad de ensayo de 0,5 mm/s. La fuerza máxima fue medida por la fabricación de una punción en cada muestra de snack de manzana. El valor medio de firmeza para a continuación, se calculó cada tratamiento y se expresa en gramo-fuerza (gf).

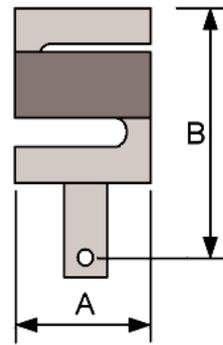


Figura 2. Dimensiones de la celda de carga (A = ancho y B = longitud efectiva).

Para llegar a la etapa de optimización se procedió a evaluar el efecto significativo de las variables, se determinó los niveles óptimos de las variables de mayor significancia para ello se utilizó un Delineamiento Compuesto Central Rotacional (DCCR) de segundo orden con resultados en Superficie de Respuesta. El diseño experimental a utilizar está basado en procedimientos estandarizados en el Software Statistica 5,5 con un nivel de significancia al 5% (Moreno *et al.*, 2010).

Las manzanas *var. Granny Smith*, después de haber sido lavadas se caracterizaron de acuerdo a la cantidad de sólidos solubles y pH. Los valores obtenidos del zumo de manzana arrojaron un pH de $3,21 \pm 0,01$ y $10,63 \pm 0,2$ °Brix. Los valores obtenidos corresponden al promedio de tres determinaciones con su respectivo intervalo de sensibilidad al error. Del mismo modo Pacheco (2009), determinó las mismas características

fisicoquímicas para esta variedad de manzana, obteniendo un pH de $3,2 \pm 0,1$ y $12,7 \pm 0,04$ °Brix; como promedios de siete determinaciones con su respectiva desviación estándar.

3. Resultados y discusión

Con el objetivo de aumentar la estabilidad de las muestras optimizando los parámetros de temperatura de secado y espesor de las rodajas de manzana, estas se secaron con aire caliente sobresaliendo temperaturas de $57,1$ °C y 60 °C durante 5 horas, para espesores de $1,4$ y $1,0$ mm respectivamente.

Con el mismo objetivo Morales *et al.* (2012) secó sus muestras con aire caliente a 30 ó 45 °C durante 24 horas con espesores de $2,5$ y 7 mm, en un secador de bandejas de dimensiones $50 \times 80 \times 140$ cm³ con capacidad para 637 discos de manzana. Es decir el autor utilizó un tiempo de secado mayor pero a temperaturas de secado menores a 45 °C; asimismo el secador optimiza mejores resultados por la capacidad de trabajo que ofrece.

La Figura 3 presenta el gráfico de los efectos de las variables independientes en la humedad (%) de un Snack de manzana (*var. Granny Smith*), la cual nos indica que no tiene efecto significativo sobre la variable respuesta ya que tanto la temperatura (°C) como el espesor no sobrepasan el valor de p ($p < 0,05$); en estas gráficas los escalones donde cambian bastante la longitud de las barras separan grupos de efectos con diferente importancia (Gutiérrez y De la Vara, 2008). Por lo que se observa no existe influencia significativa del espesor y la temperatura, para un nivel de confianza del 95 %.

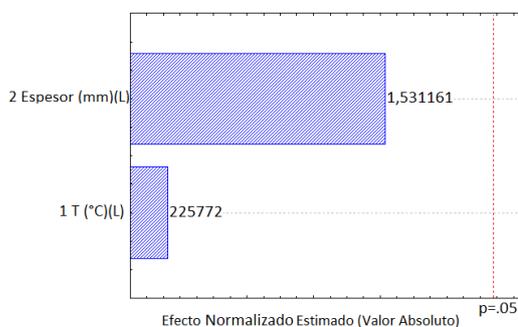


Figura 3. Efecto de la Temperatura de secado y espesor sobre la Humedad final (%) de un Snack de manzana *var. Granny Smith*.

Tabla 1. Variables dependientes e independientes para cada tratamiento del DCCR

Trata- miento	Variables Independientes		Variables Dependientes					
	T (°C)	Espesor (mm)	H final (%)		Textura (N)		AG(Textura)	
			Real	Estimado	Real	Estimado	Real	Estimado
T1	52,9(-1)	1,44(-1)	19,96	20,18	1,45	1,96	6,10	6,08
T2	67,1(1)	1,44(1)	18,82	18,76	1,37	8,52	6,15	6,17
T3	52,9(-1)	3,56(-1)	22,17	27,32	6,15	7,28	6,64	6,56
T4	67,1(1)	3,56(1)	21,65	26,51	1,07	8,83	6,53	6,49
T5	50,0(-1,41)	2,5(-1,41)	29,10	26,36	1,89	0,77	6,09	6,15
T6	70,0(1,41)	2,5(1,41)	27,13	24,78	18,59	6,50	6,16	6,17
T7	60,0(0)	1(0)	14,60	15,55	13,75	7,68	6,22	6,21
T8	60,0(0)	4(0)	32,11	26,08	18,74	11,66	4,34	6,78
T9	60,0(0)	2,5(0)	12,12	12,28	11,93	18,03	6,60	6,28
T10	60,0(0)	2,5(0)	12,12	12,28	19,93	18,03	6,15	6,28
T11	60,0(0)	2,5(0)	12,52	12,28	12,76	18,03	6,35	6,28

Gutiérrez y De la Vara (2008) señalan que el estadístico R^2 cuanto más cerca esté al 100% los modelos propuestos se adaptan mejor a los datos reales. En lo que respecta al estadístico R^2 , de la investigación, indica que el modelo explica el 85,206 % con un R_{Adj} de 76,987 % de la variabilidad humedad. La humedad final de los snacks de manzana es lo suficientemente baja para asegurar ausencia de microorganismos y de actividad enzimática, en este último aspecto se trataron las manzanas previa deshidratación con ácido cítrico y antioxidante. Como antioxidante se usó bisulfito de sodio y el ácido cítrico actúa como sustancia sinergista del antioxidante. La adición del bisulfito de sodio evita el pardeamiento enzimático, retiene pigmentos que le dan la coloración natural a las frutas y evita un mayor pardeamiento por la reacción de Maillard y la generación de olores desagradables.

La superficie de respuesta obtenida de y las curvas de nivel de dicha superficie (Figura 4) reflejan que conforme la temperatura se va acercando a un valor óptimo entre 60 y 62,9 °C, así como el espesor de las rodajas de manzana entre 1 a 2,5 mm; el porcentaje de humedad disminuye a un valor numérico de 15 %.

La firmeza es una propiedad muy importante en la textura de frutas, ya que da información sobre la capacidad de almacenamiento y resistencia a las lesiones de los productos durante la manipulación y el procesamiento. Por otra parte, este atributo de calidad se utiliza para describir las propiedades mecánicas de los tejidos de la fruta (Vega - Gálvez *et al.*, 2009).

La deformación en la rotura, obtenida de la prueba de flexión permanece más o menos constante hasta $aw = 0,56$ y aquí se produce un incremento fuerte. Esto está relacionado con los cambios

estructurales del pan con aw . A baja aw el material es cristalino y muy frágil. Las fallas se propagan rápidamente en la estructura vítrea y provoca la fragmentación y desintegración a baja deformación. Al transformarse en gomoso, la falla de la pared celular no puede propagarse fácil y rápidamente, por lo tanto el material es más dúctil, lo que hace que el material soporte mayor deformación (Castro *et al.*, 2004).

Los parámetros texturales aumentaron al aumentar la temperatura y disminuir el espesor. En la elasticidad no se produjeron efectos (Yorrilla *et al.*, 2000).

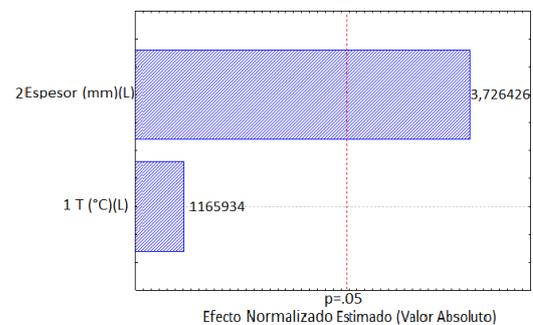


Figura 4. Gráfico de Pareto de los efectos estimados para la Temperatura de secado y espesor sobre la textura (AG) de un Snack de manzana var. *Granny Smith*.

La fig. 4 evidencia que solo el espesor tiene efecto significativo ($p < 0,05$) sobre la textura determinada por jueces no entrenados que evaluaron el snack de manzana basando en esta atribución sensorial. Caso contrario ocurrió con la temperatura de secado que no tuvo influencia significativa. Gutiérrez y De la Vara (2008) señalan que el estadístico R^2 cuanto más cerca esté al 100% los modelos propuestos se adaptan mejor a los datos reales. En lo que respecta al estadístico R^2 , de la investigación, indica que el modelo explica el 74,216 % de la variabilidad de la aceptabilidad en textura, dicho indicador refleja que los datos se ajustan a este modelo:

$$T (AG) = 1,06138 + (0,16366 * T) - (0,001248 * T) - (0,037454 * E) + (0,093269 * E^2) - (0,005226 * T * E)$$

Donde:

T (AG): Aceptabilidad general de la textura

T: temperatura de secado (°C)

E: Espesor (mm).

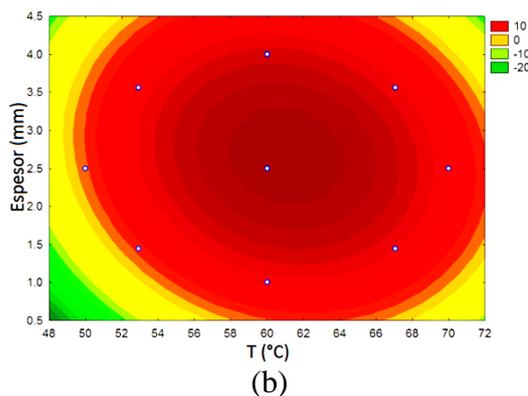
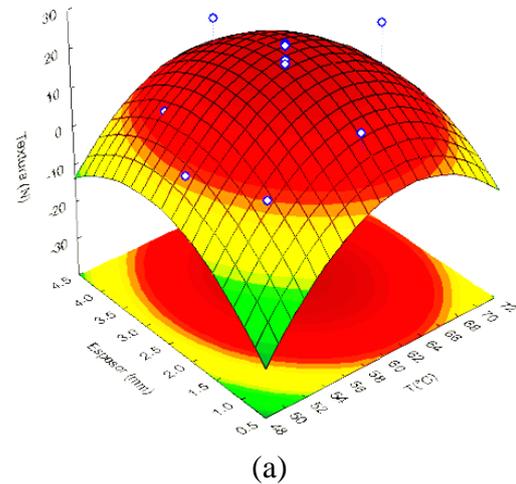


Figura 5. Textura para Snack de manzana (var. *Granny Smith*): (a) Superficie de respuesta (b) Gráfica de contorno.

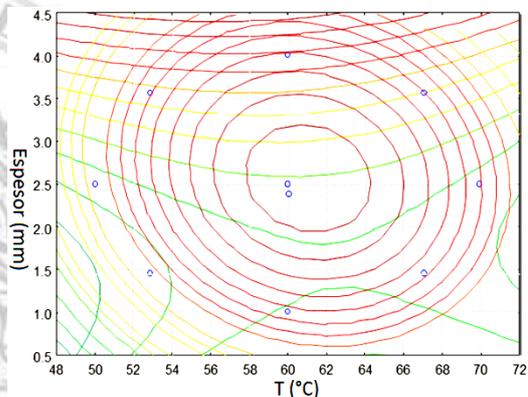


Figura 6. Superposición de Curvas de contorno para la aceptabilidad general de la textura.

La grafica de superposición nos permite obtener los rangos óptimos de temperatura y/o espesor necesarios para maximizar la aceptabilidad general. El área de la intersección es la que encierra los valores óptimos, pero en la gráfica de intersección no se llega a tal intersección de las áreas óptimas, es por ello que no se puede determinar exactamente un valor óptimo apropiado para poder predecir la temperatura y espesor que permita determinar una aceptabilidad de 6,6. No se logra obtener una concordancia entre la textura medida con el texturómetro con la aceptabilidad general, esto es determinante porque se trabajó con jueces no entrenados, los cuales aceptaron la muestra evaluando otras características que no fueron necesariamente las de la textura.

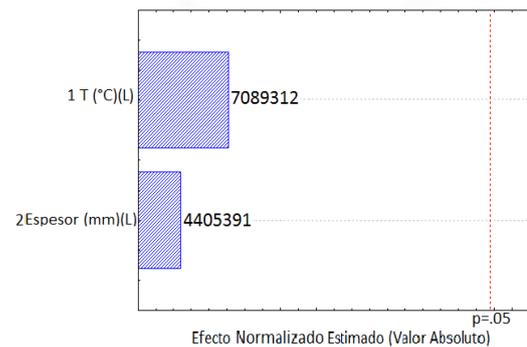


Figura 7. Gráfico de Pareto de los efectos estimados para la Temperatura de secado y espesor sobre la textura (N) de un Snack de manzana var. *Granny Smith*.

El espesor y la temperatura no tienen un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre la textura determinada por el texturómetro (Figura 7). Cabe indicar que los instrumentos de medición no permiten medir cual es de su agrado, ya que tan solo se aplica una fuerza con una velocidad constante para todos los tratamientos sin excepción y solo se obtiene un valor estándar de la fuerza que soporta, mas no de las características organolépticas que el alimento posee. Las frutas presentan mayor proporción de fibra insoluble que

fibra soluble al igual que la mayoría de las verduras. La fibra insoluble es más resistente a la fermentación por bacterias en el colon y tiene efecto en el hábitat intestinal. Posee la propiedad de atraer agua en forma pasiva, lo que promueve el volumen fecal, ablandamiento y laxación. Existe evidencia epidemiológica que sugiere que la fibra insoluble si tendría un efecto en la glicemia postprandial y se ha demostrado su asociación con disminución del riesgo de Diabetes.

Después de 4 horas la velocidad de transferencia decreció, lo que se puede atribuir a la disminución del gradiente de concentraciones y a los cambios estructurales que se presentan en el tejido. Esto se explica por el hecho de que las células más cercanas a la interface, están en equilibrio con la solución externa, por lo que las paredes celulares están relajadas y las cavidades celulares impregnadas, mientras que las células internas del tejido, están ligeramente deshidratadas e incluso, inalteradas, reduciéndose la tasa de transferencia de masa (Chiralt, 2005). En cuanto a la calidad sensorial, el puntaje promedio obtenido en los panelistas pone de manifiesto que el snack de manzana no tiene una gran aceptabilidad debido a que observó que evaluaron la AG por sus los cambios estructurales (encogimientos). Por otro

lado, los panelistas de diferentes edades, si bien es cierto también calificaron los snack de manzana con valores muy cercanos a “no me gusta ni me disgusta”, su aceptabilidad no fue tan alta como en los se esperaba obtener en los resultados. El éxito logrado en el diseño del producto se fundamenta en su crocancia y en la equilibrada y acentuada relación dulzor/acidez.

El sabor juega un rol importante en la aceptabilidad de alimentos, pero los compuestos volátiles que forman el sabor se pierden por volatilización, se degradan u oxidan durante procesos térmicos como la deshidratación, pero la temperatura aplicada en el proceso (60°C) no fue extremadamente alta y el snack mantuvo el sabor característico de la manzana variedad Granny Smith.

Uno de los principales problemas asociado a la baja precisión de los datos obtenidos en el desarrollo de la experimentación radica en la limitación del diseño del secador principalmente debido a pérdida de energía y descalibraciones de los sensores. Se podría sugerir el rediseño (Figura 8) y montaje del secador automático capaz de registrar datos de las variables asociadas al proceso de deshidratación (evolución de la humedad, temperaturas de bulbo seco y húmedo, velocidad del aire, entre otros) como mejora de la calidad del proceso.

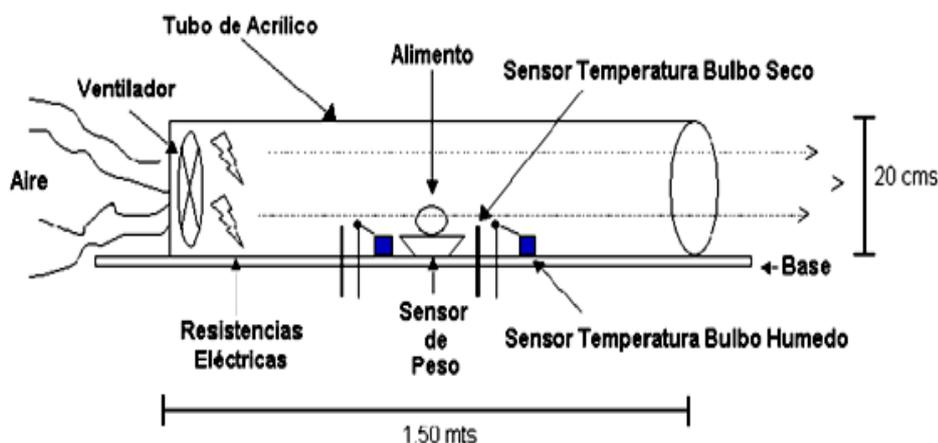


Figura 8. Propuesta de rediseño del secador de Alimentos.

Para ello se debería considerar un registro automatizado de datos del proceso de secado, la posibilidad de transmisión de información y monitoreo hacia puntos remotos vía internet y una interfaz de comunicación visual (Figura 9) que opere tanto a nivel local como remoto en un PC que tenga acceso a Internet.

Esta interfaz entrega la siguiente información: ventana de visualización de video (1), control de captura de imagen (2), nombre del archivo de imagen (formato JPG) (3), gráfico en tiempo real de los datos de humedad versus tiempo (4), temperaturas de bulbo húmedo y seco (5), velocidad del aire de secado (6), velocidad de secado calculada a partir de la derivada del grafico de humedad versus tiempo (7).

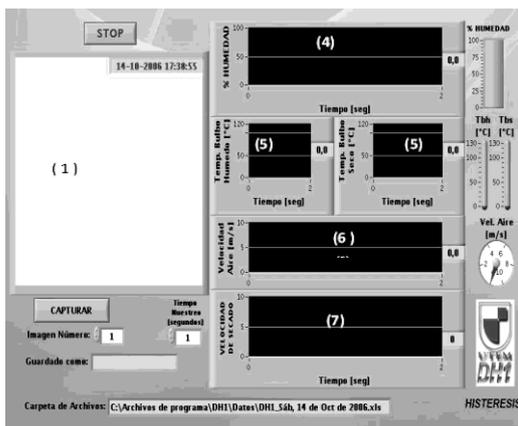


Figura 9. Interfaz de comunicación con el usuario.

4. Conclusiones

Se determinó que a la temperatura de 60°C y espesor de 2,5 mm se obtiene una textura de 10 N y humedad óptima de 15%.

Se sugiere el rediseño y montaje del secador automático capaz de registrar datos de las variables asociadas al proceso de deshidratación (evolución de la humedad, temperaturas de bulbo seco y húmedo, velocidad del aire, entre otros) como mejora de la calidad del proceso.

5. Referencias Bibliográficas

- King, M.C.; Cliff, M.A. 2002. Development of a model for prediction of consumer liking from visual attributes of new and established apple cultivars. *Journal American Pomological Society* 56: 223–229.
- Vilchez, A.; Sánchez, A.; García, J.; Montoya, L.; Jáuregui, E.; Cueto, M. 2013. Informe Técnico N°10. INEI. Perú.
- Hurley, K.; Cross, M.; Hughes, S. 2011. A systematic review of responsive feeding and child obesity in high-income countries. *J Nutr.* 141: 495-501.
- Akpınar, E. K.; Bicer, Y.; Yildiz, C. 2003. Thin layer drying of red pepper. *Journal of Food Engineering* 59(1): 99–104.
- Doymaz, I.; Pala, M. 2003. The thin-layer drying characteristics of corn. *Journal of Food Engineering* 60: 125–130.
- Vega-Gálvez, A.; Di Scala, K.; Rodríguez, K.; Lemus-Mondaca, R.; Miranda, M.; López, J.; *et al.* 2009. Effects of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry* 117(4): 647–653.
- Maltini, E.; Torreggiani, D.; Venir, E.; & Bertolo, G. 2003. Water activity and the preservation of plant foods. *Food Chemistry* 82: 79–86.
- Krokida, M. K.; & Maroulis, Z. B. 2001. Structural properties of dehydrated products during rehydration. *International Journal of Food Science and Technology* 36: 529–538.
- Aguilera, J. M.; Chiralt, A.; & Fito, P. 2003. Food dehydration and product structure. *Trends in Food Science and Technology* 14, 432–437.
- Boyer, J.; Liu, R.H. 2004. Review: Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutrition Journal* 3, 1–15.
- Jack F.; O'Neill, J.O.; Piacentini, M.G.; Schröder, M.J.A. 1997. Perception of fruit as a snack: A comparison with manufactured snack foods. *Food Qual Prefer.* 8(3):175-182
- Rodríguez, M.; Ienma, A. 2005. Planeamiento de Experimentos y Optimización de procesos. Una estrategia secuencial de planeamientos. Edit. Casa do Pao. Brasil.
- Moreno, J.; López, G.; Siche, R. 2010. Modelación y optimización del proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto

- (*Eucalyptus globulus*). *Scientia Agropecuaria* 1(2): 147 – 154.
- Pacheco E.L.A. 2009. Determinación de nutrientes en manzanas de las variedades Fuji royal, Granny Smith y Fuji en frutos libres y afectados por Bitter Pit. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. pp. 18.
- Morales B. L.; Betoret V. E.; Betoret V. N.; Barrera P. C. 2012. Estudio del efecto de la temperatura de secado y el espesor de la muestra sobre la viabilidad de los microorganismos y las propiedades mecánicas de un snack de manzana (var. *Granny smith*) con alto contenido en *Lactobacillus salivarius* spp *salivarius*. Universidad Politécnica de Valencia. pp. 9.
- Castro, E.; Verdugo, M.; Miranda, M.; Rodríguez, A. 2004. Determinación de parámetros texturales de galletas Disponible en: http://www.uchile.cl/biblioteca_digital.
- Gutiérrez, H.; De la Vara, R. 2008. Análisis y diseño de experimentos. McGraw Hill. México. 545p.
- Yorrilla, S. E.; Rovedo, C. O.; Singh, R. P. 2000. A new approach to correlate textural and cooking parameters with operating conditions during double-rieded cooking of meat patties. *J. Texture Studies* 31: 499-523.
- Chiralt, A.; Talens, P. 2005. Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues, *J. Food Engineering* 67 (12): 167–177.

Agroind Sci
Agroind Sci
www.uchile.cl

