

MÁSTER EN GESTIÓN Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

Vista la solicitud presentada por el/la alumno/a D./Dña. GINA PAOLA CORTÉS MUNAR , la Comisión Académica del Máster le autoriza la realización del Trabajo Fin de Máster enmarcado en la línea de investigación "OPTIMIZACIÓN DE LA ETAPA DE SECADO POR AIRE CALIENTE EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE UN SNACK DE MANZANA FUNCIONAL CON EFECTO PROBIÓTICO CONTRA LA INFECCIÓN OCASIONADA POR Helicobacter pylori" bajo la Dirección Académica de D./Dña. CRISTINA BARRERA PUIGDOLLERS, debiendo ajustarse a las Normas establecidas para la redacción y presentación de dichos Trabajos.

Codirectores (si procede): NOELIA BETORET VALLS

Tutor (si procede):

Valencia, 2 de abril de 2012

EL DIRECTOR DEL MÁSTER


**IU - IAD
UPV**
INSTITUTO UNIVERSITARIO DE INGENIERIA
DE ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Daniel Vidal Brotons

** (Esta solicitud será incluida en todos los ejemplares del Trabajo, como primera página tras la portada)

ANÁLISIS DEL PROCESO DE ESTABILIZACIÓN DE UN SNACK DE MANZANA FUNCIONAL CON EFECTO PROBIÓTICO.

Gina Paola Cortés Munar, Cristina Barrera Puigdollers¹, Noelia Betoret Valls¹.

RESUMEN

Estudios previos corroboran la posibilidad de obtener un snack con efecto probiótico a partir de manzana por impregnación a vacío y estabilizado por diferentes técnicas. Con la finalidad de garantizar la supervivencia del microorganismo, el secado por aire caliente debe aplicarse a temperaturas moderadas, resultando un producto de textura gomosa, no muy aceptada por el consumidor. A pesar del aumento en el valor energético, la aplicación de una operación de fritura posterior durante pocos segundos asegura una mayor eliminación de agua y un posible aumento de la crujencia, sin afectar sensiblemente al contenido en probióticos.

En el presente trabajo, snacks de manzana impregnados con zumo de mandarina y estabilizados mediante las técnicas de secado por aire caliente (SAC) y liofilización (LIOF) se frieron con aceite a 190 ° C durante 1, 2, 3 y 4 segundos. La combinación del secado por aire caliente y la fritura durante 2 y 3 segundos no aumentó excesivamente el contenido en aceite de las muestras ni modificó en gran medida su aspecto y supuso una mejora en las propiedades mecánicas. En una segunda parte del trabajo, estas condiciones fueron seleccionadas para determinar el efecto de la fritura a 130 y 190 ° C durante 2 y 3 segundos, así como de la fuente de proteína empleada en la preparación del líquido de impregnación (levadura panaria y suero de leche). Ninguno de los factores considerados tuvo un efecto notable sobre las propiedades del snack frito. Respecto al contenido en probióticos, únicamente se alcanzó el nivel mínimo requerido para este tipo de productos cuando las muestras se frieron a 130 ° C, observándose una ligera mejora al emplear suero de leche como fuente de proteína.

RESUM

Estudis previs corroboren la possibilitat d'obtindre un snack amb efecte probiòtic a partir de poma per impregnació al buit i estabilitzat per diferents tècniques. Amb la finalitat de garantir la supervivència de microorganisme, l'assecat per aire calent ha d'aplicar-se a temperatures moderades, resultant un producte de textura gomosa, no molt acceptada pel consumidor. Tot i l'augment en el valor energètic, l'aplicació d'una operació de fregit-posterior durant pocs segons assegura una major eliminació d'aigua i un possible

¹ Instituto de Ingeniería de los Alimentos para el Desarrollo.
Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera, s/n 46022. Valencia. España.

augment de la textura cruixent, sense afectar sensiblement el contingut en probiòtics.

En el present treball, snacks de poma impregnats amb suc de mandarina i estabilitzats mitjançant les tècniques d'assecat per aire calent (SAC) i liofilització (LIOF) es van fregir amb oli a 190 °C durant 1, 2, 3 i 4 segons. La combinació de l'assecat per aire calent i el fregit durant 2 i 3 segons no va augmentar excessivament el contingut en oli de les mostres ni va modificar en gran mesura el seu aspecte i va suposar una millora en les propietats mecàniques. Estes condicions van ser seleccionades per a, en una segona part del treball, determinar l'efecte del fregit a 130 i 190 °C durant 2 i 3 segons, així com de la font de proteïna emprada en la preparació del líquid d'impregnació (rent panari i sèrum de formatge). Cap dels factors considerats va tindre un efecte notable sobre les propietats del snack fregit.

Respecte al contingut en probiòtics, únicament es va aconseguir el nivell mínim requerit per a este tipus de productes quan les mostres es van fregir a 130 °C, observant-se una lleugera millora a l'emprar sèrum de llet com a font de proteïna.

ABSTRACT

Previous studies confirm the possibility to obtain a snack with probiotic effect from vacuum impregnation apple and stabilized by various techniques. With the purpose of ensuring the survival of the microorganism, air drying at moderate temperatures should be applied, resulting in a product of rubbery texture, not accepted by the consumer. Despite the increase in the energy value, the application of a frying step back for a few seconds ensures greater water removal and possible increased crispness, without appreciably affecting the probiotic content. In this paper, impregnated apple snack tangerine juice and stabilized through the techniques of air drying (SAC) and lyophilization (LIOF) were fried in oil at 190 ° C for 1, 2, 3 and 4 seconds. The combination of air drying and fried for 2 to 3 seconds will not excessively increased oil content of the samples nor greatly modify their appearance and made a substantial improvement in mechanical properties.

These conditions were selected to, in a second part of the work, to determine the effect of frying at 130 and 190 ° C for 2 to 3 seconds as well as the protein source used in preparing the impregnation liquid (baker yeast and whey). None of the factors considered had a significant effect on the properties of fried snack. Regarding the content in probiotics, only reach the minimum level required for this type of product when the samples were fried at 130° C, showing a slight improvement when using whey as protein source.

PALABRAS CLAVE: Impregnación a vacío, secado por aire caliente, fritura atmosférica, *Lactobacillus salivarius spp. salivarius*, *Helicobacter pilory*, suero de leche.

INTRODUCCIÓN

Los alimentos funcionales proporcionan beneficios fisiológicos y nutricionales (Guang Chang et al., 2012), por ello, el sector de la industria alimentaria ofrece diferentes productos entre los que se encuentran prebióticos, alimentos enriquecidos y probióticos (Silveira, 2003).

Los probióticos se definen como ingredientes alimentarios microbianos vivos que producen un beneficio para la salud (Salminen et al., 1998), entre los que se encuentran, *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, debido a su efecto inhibitor sobre el crecimiento de varios patógenos intestinales en seres humanos y animales (Wang, 2004). En este contexto, cabe destacar la eficacia probada de *Lactobacillus salivarius* spp. *salivarius* contra la infección causada por *Helicobacter pylori* en un estudio preliminar in vivo (Betoret et al., 2012).

En la actualidad, se comercializan como probióticos principalmente los lácteos (Betoret, et al., 2003). Ante esta situación, se han desarrollado nuevas técnicas que permiten introducir componentes en diferentes matrices (Fito y Pastor, 1994; Chiralt et al, 1999; Fito y Chiralt, 2000; Fito et al, 2001), específicamente, la incorporación de componentes fisiológicamente activos (minerales, vitaminas) en la estructura de varias frutas y hortalizas por medio de la impregnación a vacío (Fito et al., 2001). En estudios previos, se logró con éxito el desarrollo de un snack con bajo contenido de humedad y efecto probiótico, combinando la impregnación a vacío con varias técnicas de deshidratación tales como secado por aire caliente, deshidratación osmótica y liofilización (Betoret et al., 2003; Arilla, 2008; Morales, 2009 y 2010).

Con el fin de mejorar las características texturales del producto desarrollado previamente, se incluyó la fritura como operación adicional de estabilización; ya que varios autores (Singh, 1995; Fellows, 1998; Dobarganes et al., 2000) reportan que debido a la transferencia simultánea de calor y de materia durante dicho proceso, los productos desarrollan una costra superficial como resultado de la disminución de la actividad del agua.

Por otra parte, Gamble y Rice (1987), manifiestan que pre tratamientos tales como secado por aire caliente y liofilización favorecen la disminución de la ganancia de aceite al conseguir la reducción de la permeabilidad.

En este estudio se empleó levadura panaria y suero de leche prebiótico para enriquecer el zumo de mandarina comercial y garantizar el óptimo desarrollo del microorganismo de acuerdo a lo reportado por algunos autores. Para el caso puntual del suero de leche, Saarela et al. (2003) refiere que los derivados de la lactosa, como la lactulosa, favorecen el crecimiento de *Lactobacillus salivarius*. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la fuente de proteína, la temperatura y el tiempo de fritura sobre el crecimiento de *Lactobacillus salivarius* spp. *salivarius*, la composición y las propiedades mecánicas y ópticas de un snack de manzana probiótico con bajo contenido de humedad y de aceite.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materias primas

En los ensayos realizados se emplearon manzanas de la variedad *Granny Smith*, en estado de madurez adecuado, que fueron adquiridas en un supermercado local. Las manzanas se cortaron en discos sin piel de 3 mm ($\pm 0,5$) de espesor, con un diámetro de 65 mm siguiendo la dirección del eje longitudinal y el corazón de las rodajas se extrajo con ayuda de un sacabocados metálico de 20 mm de diámetro. Las muestras se conservaron en condiciones de refrigeración hasta su utilización en los ensayos.

La cepa de cultivo puro, *Lactobacillus salivarius* spp. *salivarius* CECT 4063 fue suministrada por la Colección Española de Cultivos Tipo (CECT, Universidad de Valencia, Burjassot, Valencia). Para la recuperación del microorganismo se tuvieron en cuenta las instrucciones especificadas por la CETC; iniciando con la resuspensión del vial liofilizado en 1-2 mL de medio de cultivo MRS (Man Rogosa and Sharpe, Scharlau Chemie ®, Barcelona, España) bajo condiciones de asepsia. Posteriormente, se inoculó 250 mL de medio específico MRS con el líofilo estéril y se llevó a incubación (37 ° C/24 horas).

Líquido de impregnación

Para todos los ensayos de impregnación a vacío, se empleó zumo de mandarina comercial (Don Simón®).

En los experimentos con el probiótico, con el fin de asegurar su óptimo crecimiento, se trabajó con la siguiente formulación del líquido de impregnación:

- zumo de mandarina comercial
- fuente proteica: se utilizaron dos fuentes proteicas diferentes, levadura panaria (Levital®) y suero de leche prebiótico (Composición: suero de leche granulado-92% y fructooligosacáridos-8%, Casa Santiveri, S.L.), en una proporción de 5 g/L. Para prevenir el excesivo oscurecimiento del medio, tanto la levadura como el suero se esterilizaron aproximadamente con un 7% del zumo a 121 °C durante 20 minutos.
- bicarbonato sódico: En una proporción de 9,8g/L con el objeto de modificar el pH del medio.

Cada litro de zumo reformulado se inoculó con 4 mL de medio MRS que contenía el microorganismo crecido. Finalmente, el medio se incubó durante 24 horas a 37 ° C.

Ensayos de impregnación a vacío (IV)

En todos los casos, los ensayos de IV se realizaron en una cámara de vacío ILMVAE (Alemania), aplicando una presión de vacío de 50 mbar durante 10 minutos para asegurar el flujo de salida del aire que estaba ocluido en la estructura porosa de la manzana. Posterior a esto, se restauró

la presión atmosférica, manteniendo las muestras sumergidas en el zumo durante otros 10 minutos para permitir la entrada suficiente de la solución de impregnación. Cumplido este tiempo, se eliminó el exceso de zumo de la superficie de las rodajas.

Métodos de estabilización de las muestras

Las rodajas de manzana impregnadas se estabilizaron por dos métodos: secado por aire caliente (SAC) y liofilización (LIOF).

En las experiencias de secado se empleó un secador de bandejas (POL-EKO) de flujo transversal y con renovación de aire total, durante 24 horas a una temperatura de 40 ° C.

Para la liofilización, las muestras se congelaron previamente durante 12 horas a -45 ° C en un Ultracongelador Dycometal (Barcelona, España). Posteriormente, el agua contenida en las mismas, se sublimó en un liofilizador LIOALFA 6-80 a una temperatura de -40 ° C y a una presión de vacío de 0,1 mbar, durante 24 horas.

Ensayos de fritura

Este procedimiento se realizó en una freidora doméstica (SOLAC 3000) por inmersión de las rodajas de manzana en aceite de girasol comercial (Koipesol®), adquirido en un supermercado local. Las experiencias de fritura fueron realizadas a una temperatura de 190 °C durante uno, dos, tres y cuatro segundos. En los experimentos con el probiótico, los ensayos de fritura se realizaron a 130 y 190 °C durante 2 y 3 segundos.

Recuento de microorganismos: determinación de viables

La determinación de viables se realizó por duplicado, tanto en el líquido de impregnación como en las muestras impregnadas, secas y fritas, por el procedimiento de siembra en placa, incubación y conteo. La siembra se hizo en profundidad y con doble capa de agar MRS (Scharlau Chemie ®, Barcelona, España) con el fin de garantizar condiciones de micro anaerobiosis. Las placas resultantes se incubaron a 37 ° C durante 24 horas.

Para determinar el contenido microbiano de las muestras líquidas (líquidos de impregnación), 1 mL fue mezclado con 9 mL de agua peptona tamponada y a partir de ésta se hicieron diluciones seriadas. Para el caso de las rodajas impregnadas y secas, 5 g de la muestra fueron mezclados y triturados en una bolsa stomacher con 45 mL de agua de peptona tamponada con el fin de realizar diluciones seriadas. En cuanto a las muestras fritas, debido al contenido en aceite, se adicionó Tween 80 al 1% al agua de peptona.

Al cabo de las 24 horas de incubación, se realizó el conteo del número de unidades formadoras de colonia (UFC) por mililitro de zumo inoculado o gramo de muestra, teniendo en cuenta solamente las placas cuyo número de colonias se encontraba entre 30 y 300.

Determinaciones analíticas

Las muestras en las diferentes etapas del proceso se evaluaron en términos de humedad, actividad del agua, propiedades mecánicas y ópticas.

Todas las determinaciones analíticas descritas en el presente apartado se realizaron al menos por triplicado.

HUMEDAD

El contenido en agua se midió por gravimetría secando en una estufa bajo condiciones de vacío (≈ 410 mbar) a 60° C hasta alcanzar peso constante (Método oficial 20.013 AOAC, 1980).

CONTENIDO EN SÓLIDOS SOLUBLES

La determinación del índice de refracción se realizó con un refractómetro (Abbe Atago 89553 marca Carl Zeiss) termostatado a 20° C. El contenido en sólidos solubles se midió tanto en las muestras líquidas (zumo de mandarina comercial y líquidos de impregnación) como en la fase líquida de las muestras de manzana fresca.

DENSIDAD

La densidad se determinó con un picnómetro de líquidos a 25° C y utilizando agua destilada como líquido de referencia. Esta determinación se hizo al zumo de mandarina comercial y a los líquidos de impregnación.

DETERMINACIÓN DE pH

La determinación del pH de la fase líquida de las muestras de manzana fresca, del zumo comercial y de los líquidos de impregnación se realizó con un potenciómetro micropH CRISON, 2001, calibrado con buffer pH 7 y 4,01.

ACTIVIDAD DEL AGUA

Las mediciones se llevaron a cabo en un higrómetro de punto de rocío (Decagon Aqualab CX-2 con sensibilidad $\pm 0,003$), el cual permite obtener una medida directa de la actividad de agua gracias a un sensor infrarrojo de precisión superior al 2%; la determinación se realizó introduciendo un volumen de muestra de aproximadamente 3 cm^3 en la cámara de medida.

PROPIEDADES ÓPTICAS

Las coordenadas de color CIE $L^*a^*b^*$ de las rodajas de manzana se obtuvieron a partir de los espectros de reflectancia de la superficie entre 400 y 700 nm medido sobre fondo blanco y negro, con un espectrofotómetro Minolta modelo CM-3600d, utilizando un iluminante de D65 y un observador estándar con un ángulo de visión de 10° (UNE 40-080, 1984). Debido a la

translucidez de las muestras, los valores obtenidos fueron ajustados de acuerdo con la teoría de Kubelka-Munk de dispersión de luz múltiple (Judd y Wyszecski, 1975; Hutchings, 1999; Talens et al., 2002), que describe las propiedades ópticas de una muestra a cualquier longitud de onda mediante un coeficiente de dispersión de luz (S) y otro de absorción de luz (K) (ecuaciones 1 a 4).

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R_{\infty})^2}{2R_{\infty}} \quad (1)$$

$$R_{\infty} = a - b \quad (2)$$

$$a = \frac{1}{2} \left(R + \frac{R_0 - R + R_g}{R_0 R_g} \right) \quad (3)$$

$$b = \sqrt{a^2 - 1} \quad (4)$$

donde: R_{∞} es la reflectancia infinita de una capa gruesa de material, R y R_0 son la reflectancia de la muestra determinada sobre fondo blanco y negro, respectivamente, y R_g es la reflectancia del fondo blanco.

La diferencia de color (ΔE) entre las muestras deshidratadas (L_0^* , a_0^* y b_0^*) y fritas (L^* , a^* y b^*) fue calculado tomando la distancia euclidiana entre ellas, de acuerdo con la ecuación 5.

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (5)$$

Adicionalmente, a partir de las coordenadas de color CIE- $L^*a^*b^*$ se estimaron las coordenadas psicométricas tono (h_{ab}^*) y croma (C_{ab}^*) (Ecuaciones 6 y 7).

$$h_{ab}^* = \arctg \frac{b}{a} \quad (6)$$

$$C_{ab}^* = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (7)$$

Las determinaciones ópticas se realizaron en diferentes puntos de cada rodaja de manzana. Al menos 9 repeticiones se obtuvieron para cada tratamiento realizado.

PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas de las rodajas de manzana secas, liofilizadas y fritas se evaluaron a temperatura ambiente por medio de un ensayo de punción realizado en un analizador de textura (Universal TA.XT2, Stable Micro System) con una sonda cilíndrica de acero inoxidable de 2 mm de diámetro, con una velocidad de avance de punzón de 2,0 mm/s, fuerza de activación de 0,04903 N, con una distancia recorrida por la sonda de 10 mm y una celda de carga de 50 kg. Los parámetros de fuerza máxima (F_{max} , N), distancia a la que es alcanzada la fuerza máxima (D, mm) y área bajo la

curva (A, N·mm) se obtuvieron de las curvas de fuerza vs. distancia utilizando el software Texture Exponent (versión 3,2) del Analizador de Textura Universal.

Las determinaciones mecánicas se realizaron en diferentes puntos de cada rodaja de manzana. Al menos 9 repeticiones se obtuvieron para cada tratamiento realizado.

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Para determinar la significancia estadística de los resultados, se llevó a cabo un análisis múltiple de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95% ($P < 0,05$) usando el Software Statgraphics Plus, versión 5,1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de las técnicas de estabilización sobre la composición, las propiedades ópticas y mecánicas de muestras de manzana impregnadas.

Con el objetivo de mejorar las propiedades texturales, se evaluó el efecto de la operación de fritura sobre las rodajas de manzana impregnadas únicamente con zumo de mandarina comercial y estabilizadas por secado por aire caliente y liofilización, con el fin de obtener un snack con bajo contenido de agua sin incrementar en exceso su valor calórico.

EFECTO SOBRE LA COMPOSICIÓN

Al finalizar cada etapa del proceso, se determinó el contenido de humedad, la actividad del agua y el contenido en aceite de las muestras. Este último se calculó a partir de la variación de la masa total (ΔM^o) y de la pérdida de agua (ΔM^w) que se produjo durante el proceso de fritura al asumir que el cambio de la masa total sólo se debe a la pérdida de agua y a la ganancia de aceite (ΔM^{Ac}). (Ecuaciones 8 a 9).

$$\Delta M^o = \frac{M_f^o - M_0^o}{M_0^o} = \Delta M^w + \Delta M^{Ac} \quad (8)$$

$$\Delta M^i = \frac{M_f^o \cdot x_f^i - M_0^o \cdot x_0^i}{M_0^o} \quad (9)$$

donde M_0^o y M_f^o son los pesos de cada muestra antes y después de la fritura; i hace referencia a agua o aceite.

Respecto a la variación de masa de agua y aceite, la Figura 1 muestra que la cantidad de aceite ganado por las muestras durante el proceso de fritura fue mayor que la pérdida de agua, lo que podría explicarse en términos del bajo contenido de agua de las muestras sometidas al proceso

de fritura. Adicionalmente, se evidencia que no hay un efecto claro del tiempo de fritura pero si se observa que las muestras liofilizadas presentan mucho más aceite al final del proceso de fritura.

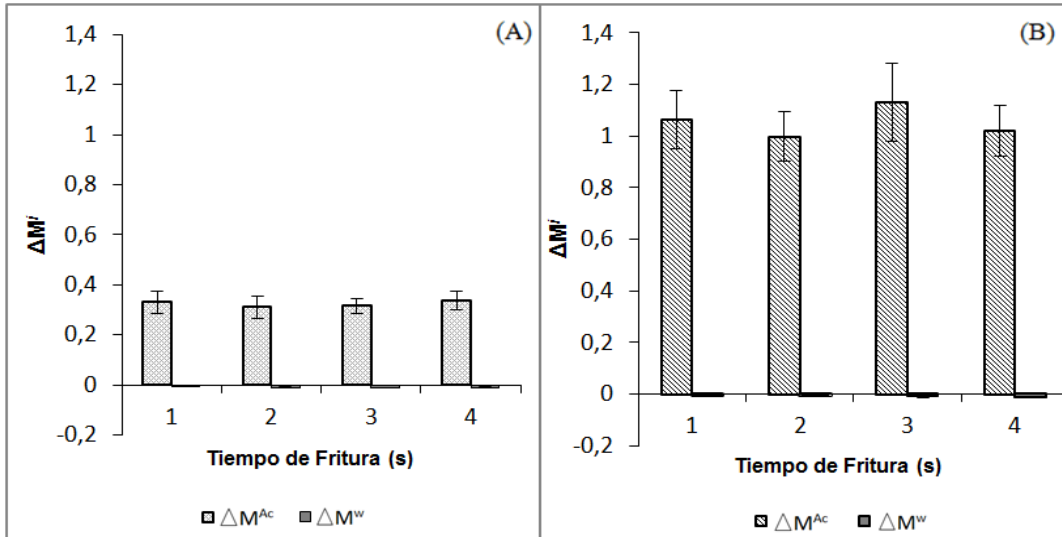


FIGURA 1. Efecto del método de estabilización sobre la variación en la masa de aceite y agua en los diferentes tiempos de fritura. (A) Para las muestras estabilizadas por aire caliente; (B) para las muestras liofilizadas.

En la Tabla 1 se muestran los valores de humedad final, actividad del agua y el contenido en aceite en las rodajas de manzana (var. Granny Smith) impregnadas con el zumo comercial, deshidratadas y fritas.

Según Pedreschi y Moyano (2005), en estudios realizados con rodajas de patata, el aumento del tiempo de fritura disminuye el contenido de humedad de las muestras. Sin embargo, en la investigación se determinó que el descenso en la humedad está más relacionado con el método de estabilización y con la operación de fritura indistintamente del tiempo de ésta etapa. Adicionalmente, se evidencia que las muestras liofilizadas resultaron ser menos húmedas que las secas por aire caliente tras la fritura, debido a que su humedad antes de la fritura es ligeramente menor y por el efecto de las propiedades estructurales (mayor porosidad) adquiridas por el producto tras la operación. Esta misma tendencia se observa para la actividad del agua.

Al analizar el descenso en la humedad con respecto al tiempo de fritura, se observa que éste no es tan significativo como el de a_w . No obstante, a partir de 3 segundos de fritura parece que la a_w permanece constante.

Con respecto al contenido en aceite, se observa que existe un efecto significativo de los métodos de estabilización y el proceso de fritura sobre esta variable, independientemente del tiempo de fritura al que se sometan las rodajas de manzana. Respecto a las muestras liofilizadas y fritas, se evidencia una mayor ganancia de aceite, resultado que puede estar asociado a la estructura porosa de la muestra.

En el caso de las rodajas secas por aire caliente, el contenido en aceite es menor debido a la baja permeabilidad de la capa externa formada durante el secado por aire caliente (Moreno y Bouchon, 2008).

TABLA 1. Efecto del tiempo de fritura en las rodajas de manzana estabilizadas por secado por aire caliente y liofilización. Valores expresados como media \pm desviación estándar.

TRATAMIENTO	t (s)	x^w (g agua/g total)	x^{Ac} (g aceite/g total)	a_w
FRESCA	-	0,86 \pm 0,05	-	0,986 \pm 0,002
IV	-	0,848 \pm 0,006	-	0,984 \pm 0,002
SAC	0	0,0684 \pm 0,0007	-	0,345 \pm 0,005
	1	0,047 \pm 0,002	0,25 \pm 0,02	0,334 \pm 0,006
	2	0,04 \pm 0,02	0,24 \pm 0,02	0,323 \pm 0,005
	3	0,044 \pm 0,007	0,24 \pm 0,02	0,2689 \pm 0,0002
	4	0,0437 \pm 0,0007	0,25 \pm 0,02	0,269 \pm 0,004
LIOF	0	0,0512 \pm 0,0014	-	0,281 \pm 0,005
	1	0,024 \pm 0,002	0,51 \pm 0,02	0,262 \pm 0,005
	2	0,0233 \pm 0,0001	0,50 \pm 0,02	0,245 \pm 0,007
	3	0,0215 \pm 0,0007	0,50 \pm 0,06	0,230 \pm 0,012
	4	0,0191 \pm 0,0104	0,51 \pm 0,02	0,228 \pm 0,005

EFFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

En la Tabla 2 se muestran los valores de fuerza máxima (N), distancia (mm) hasta F_{max} y el área comprendida bajo la curva (N·mm). Se observa un incremento en la fuerza máxima a medida que aumenta el tiempo de fritura, en especial para las muestras secadas por aire caliente (SAC).

TABLA 2. Efecto de los tratamientos y el tiempo de fritura de las muestras sobre las propiedades mecánicas de las mismas. Valores expresados como media \pm desviación estándar.

TRATAMIENTO	t (s)	F_{max} (N)	DISTANCIA (mm)	ÁREA (N·mm)
SAC	0	5,7 \pm 0,7	3,5 \pm 0,8	6,4 \pm 1,3
	1	9,2 \pm 1,3	3,8 \pm 0,8	12 \pm 3
	2	10,7 \pm 1,3	3,4 \pm 0,4	12 \pm 2
	3	11,6 \pm 0,9	3,7 \pm 0,4	15,5 \pm 0,9
	4	13,4 \pm 0,9	3,4 \pm 0,6	16 \pm 2
LIOF	0	5,6 \pm 0,4	2,9 \pm 0,6	6,2 \pm 1,2
	1	4,5 \pm 0,6	2,1 \pm 0,7	5 \pm 2
	2	5,7 \pm 0,9	2,3 \pm 0,5	7 \pm 2
	3	6,0 \pm 0,9	2,8 \pm 0,7	8 \pm 2
	4	6,0 \pm 0,8	2,2 \pm 0,3	6,0 \pm 1,5

Con respecto a la fuerza máxima, no se observan diferencias entre secado por aire caliente y liofilización para el tiempo cero de fritura. Por otra parte, en las muestras liofilizadas no se aprecia el efecto del tiempo de fritura, mientras que para las secas por aire caliente la variable en estudio

incrementa significativamente al aumentar el tiempo de fritura.

En el caso del área, la fritura de las muestras liofilizadas produce pequeños cambios en esta variable. Respecto a las muestras secas por aire caliente, la operación de fritura incrementa este valor, el cual tiende a ser mayor con el tiempo de fritura.

En la figura 2 (A y B), se muestran los comportamientos de las curvas fuerza-distancia para las muestras estabilizadas y fritas.

Los efectos comentados anteriormente en la Tabla 2 se constatan en la figura 2(A), donde se observa que las curvas de todas las muestras presentan una abrupta disminución en la fuerza máxima tras una única fractura, generando así, gran deformación en las muestras; resultados también evidenciados en el trabajo realizado por Morales (2009), en donde se evaluó el efecto del secado por aire caliente sobre las propiedades mecánicas de las rodajas de manzana (var. Granny Smith).

Ante estos resultados, y en concordancia con lo reportado por otros autores (Pedreschi et al., 2001; Pedreschi y Moyano, 2005), es importante resaltar que al someter las muestras a un proceso de fritura, se puede presentar el desarrollo de una costra superficial que le confiere dureza a las rodajas y por tanto, ocasiona un aumento en los valores de fuerza a medida que se incrementa el tiempo de fritura. Por otro lado, al observar la forma de las curvas, se puede señalar que todas las muestras presentaron antes de llegar al punto de fractura, un comportamiento viscoelástico.

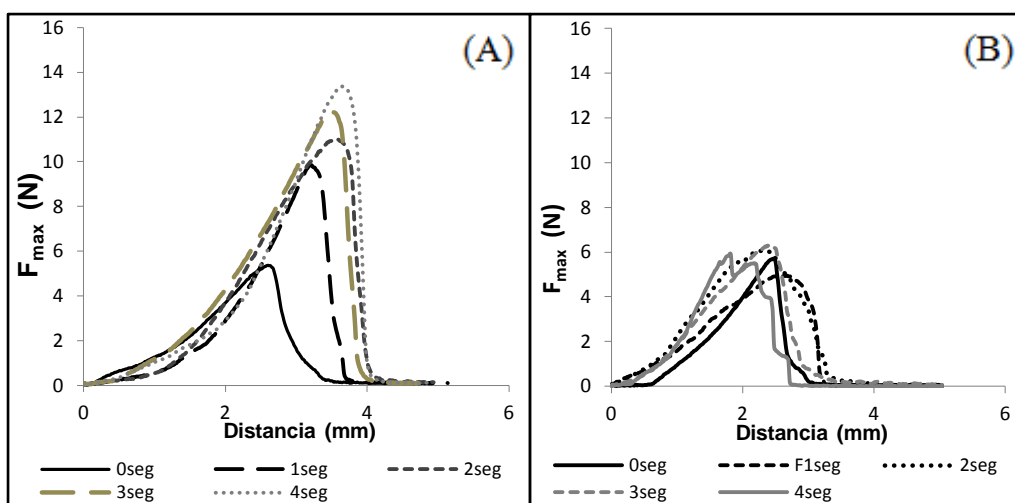


FIGURA 2. Efecto de la fritura sobre las propiedades mecánicas de las muestras secas por aire caliente (A) y las muestras liofilizadas (B).

Con respecto a la figura 2(B), se evidencia en la mayoría de las curvas el mismo comportamiento de las muestras representadas en la figura 2(A); sin embargo, para el caso de la muestra liofilizada y frita a 4 segundos, se observa la presencia de varias fracturas lo que puede estar relacionado con la cantidad de agua eliminada. Adicionalmente, al comparar las muestras liofilizadas, se observa que el punto de fractura se presenta antes que en las rodajas secas por aire caliente, lo que está asociado a una estructura más frágil.

EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES ÓPTICAS

En el presente trabajo se utilizaron espacios cromáticos uniformes (CIEL*a*b*), con el fin de caracterizar objetivamente el color de las muestras.

En la Tabla 3 se presentan los valores de las coordenadas L*, a* y b*, y de las magnitudes C*_{ab} y h*_{ab} de las rodajas de manzana estabilizadas y fritas.

TABLA 3. Efecto de los tratamientos y el tiempo de fritura de las muestras sobre las propiedades ópticas de las mismas. Valores expresados como media ± desviación estándar.

TRATAMIENTO	t (s)	L*	a*	b*	C* _{ab}	h* _{ab}	ΔE
SAC	0	78±2	1,9±0,6	36±3	36±3	87,0±0,8	22±3*
	1	71,4±3	1,6±0,2	33,5±0,8	33±0,8	87,2±0,4	7±3
	2	69±3	3,7±1,2	35±3	35±3	84±2	10±2
	3	72±3	5,9±1,1	40±2	40±2	81,6±1,2	8±3
	4	77±2	4,2±0,9	37±3	38±4	83,5±0,9	4±2
LIOF	0	86,6±0,7	0,8±0,2	30±2	30±2	88,4±0,5	17,0±1,2*
	1	78±2	1,1±0,9	36±2	36±2	88,3±1,3	11±2
	2	79,4±1,3	1,0±0,3	38±2	38±2	88,4±0,6	11±2
	3	79±3	2,9±0,8	40±3	40±3	85,9±1,2	14±2
	4	78±2	4,4±0,9	41±2	41±2	83,8±1,5	14,8±1,3

* ΔE calculado respecto de la muestra fresca.

La operación de fritura genera una disminución en el parámetro L* tanto para las muestras liofilizadas como secas por aire caliente, encontrando valores superiores en las rodajas liofilizadas debido probablemente a la eliminación de aire del interior de la matriz de la manzana durante la etapa de congelación, lo que se traduciría en una muestra más opaca. Además, se observa que no hay un efecto considerable sobre la luminosidad al aumentar el tiempo de fritura excepto para la muestra seca por aire caliente y frita durante 4 segundos, donde se ve un cambio en la tendencia y el valor obtenido es similar a las muestras sin freír. De acuerdo a lo afirmado por Mariscal y Bouchon (2008), la coordenada L* es un parámetro crítico en las industrias dedicadas a la elaboración de productos fritos y es usado para el control de calidad de los mismos. Además, refiere que las reacciones de pardeamiento no enzimático están relacionadas con altos valores de luminosidad.

Los valores de a* de las muestras secas presentan un incremento significativo cuando se comparan con las rodajas de manzana fresca (-1,5±0,7), lo que indica una coloración más rojiza. De acuerdo a lo reportado por otros autores (Djendoubi et al., 2012), el incremento en los valores de a* indica la presencia de reacciones enzimáticas y/o no enzimáticas en las muestras, debido a las altas temperaturas y el contacto con el oxígeno en los tratamientos de secado por aire caliente.

En el caso del valor b* de las muestras estabilizadas, se observa un aumento significativo con respecto a la manzana fresca (15±2), lo cual indica

que después del proceso de estabilización las rodajas son más amarillas; siendo más acusada esta tendencia cuando se realiza la fritura.

Para una mayor comprensión de los cambios presentados en las coordenadas a^* y b^* se calculan las magnitudes C^*_{ab} y h^*_{ab} de las diferentes muestras. Entre las rodajas estabilizadas (tiempo cero) se observan diferencias significativas en los valores de C^*_{ab} , siendo inferior para las muestras liofilizadas. En general, se evidencia que al aumentar el tiempo de fritura la magnitud C^*_{ab} asciende progresivamente, lo que se traduce en una mayor saturación de color según lo manifestado por Da Silva y Moreira (2008).

Con respecto al ángulo de tono en las muestras liofilizadas, se observa que el descenso de esta magnitud con el tiempo de fritura no es tan significativo como en las secas por aire caliente. No obstante, en los primeros tiempos de fritura para los dos tratamientos, los valores de h^*_{ab} permanecen constantes. De acuerdo a los resultados de tono obtenidos, se puede afirmar que las muestras tienden a acercarse al color amarillo.

En relación a la diferencia global de color de las muestras estabilizadas (secas por aire caliente y liofilizadas) con respecto a la manzana fresca, se observa un cambio significativo en la coloración; siendo mayor esta tendencia cuando se realiza el secado por aire caliente. Según el estudio realizado por Mariscal y Bouchon (2008), en rodajas de manzana (var. Granny Smith) escaldadas y secas a 80°C , se observa que el valor ΔE de las muestras fritas, aumenta de manera progresiva al aumentar el tiempo de fritura; resultados concordantes con la mayoría de las muestras del presente estudio. Se determinó además, que el aumento en la diferencia global de color depende del método de estabilización, siendo más acusada esta tendencia en las muestras liofilizadas.

Efecto de las fuentes de proteína, el secado por aire caliente, la temperatura y el tiempo de fritura sobre la composición, el contenido microbiano, las propiedades ópticas y mecánicas de muestras de manzanas impregnadas.

Con el objetivo de obtener un snack de manzana con una concentración aceptable de microorganismos con efecto probiótico, se analizó el efecto del método de estabilización, la temperatura y el tiempo de fritura sobre la viabilidad del mismo. Para tal fin, se seleccionaron las siguientes condiciones:

- secado por aire caliente como método de estabilización de las muestras ya que se consigue una menor ganancia de aceite al combinarse con la operación de fritura. Adicionalmente, con este tratamiento se obtienen rodajas de manzana más duras debido a la formación de una costra superficial en las muestras.
- temperatura de fritura: para evaluar el efecto de esta variable sobre el probiótico, se decidió continuar con 190°C ya que otros autores (Parkash y Gertz, 2004) afirman que el proceso de fritura se realiza normalmente entre 140 y 200°C . Por otra parte, se decidió probar una

temperatura inferior, tal como 130 °C, a la que se realizan algunos ensayos de fritura a vacío (Da Silva y Moreira, 2008).

- tiempo de fritura: de acuerdo a los resultados evidenciados en los primeros ensayos en cuanto a las propiedades mecánicas, se seleccionaron 2 y 3 segundos como tiempo de fritura debido a los altos valores en la fuerza máxima; incremento asociado con la dureza de las muestras. Además, fueron seleccionados por la sensibilidad del microorganismo a las altas temperaturas y así evaluar el efecto de esta variable sobre la viabilidad del probiótico.
- fuente de proteína: con el fin de asegurar el óptimo crecimiento del probiótico, se reformuló el líquido de impregnación con dos fuentes proteicas diferentes; para tal fin, se tuvo en cuenta los resultados obtenidos en trabajos previos (Morales, 2009) al emplear levadura panaria. Por otra parte, se utilizó suero de leche por su carácter altamente nutritivo y porque en otros estudios (Saarela et al., 2003), se pone de manifiesto que los derivados de la lactosa (lactulosa) favorecen el crecimiento de *Lactobacillus salivarius*.

EFFECTO SOBRE LA COMPOSICIÓN

La Tabla 4 presenta los valores medios experimentales de las propiedades físico-químicas que caracterizan los lotes de manzana fresca, el zumo de mandarina comercial y los líquidos de impregnación. Estos valores se encuentran dentro del rango encontrado en estudios previos (Morales, 2009; Betoret et al., 2012).

TABLA 4. Parámetros físico-químicos de la manzana fresca, zumo comercial y del líquido de impregnación. Valores expresados como media \pm desviación estándar.

	pH	°Brix	Densidad (g/cm ³)	Log (UFC/mL)
Manzana fresca	3,27 \pm 0,02 ^a	11,1 \pm 0,3 ^a	-	-
Zumo mandarina	3,53 \pm 0,01 ^b	12,53 \pm 0,15 ^c	1,0456 \pm 0,0002 ^a	-
LQ IV (LP)	5,63 \pm 0,02 ^d	11,65 \pm 0,07 ^b	1,048 \pm 0,002 ^a	8,86 \pm 0,03 ^b
LQ IV (SL)	5,56 \pm 0,02 ^c	11,55 \pm 0,08 ^b	1,05 \pm 0,01 ^a	8,46 \pm 0,05 ^a

Como se observa en la Tabla 4, los valores de °Brix tanto de la manzana fresca como de los líquidos de impregnación enriquecidos con la fuente de proteína no presentan una gran diferencia, lo que asegura que el único mecanismo que actúa durante la impregnación a vacío es el hidrodinámico, obteniéndose una muestra impregnada con un contenido de humedad de 0,848 \pm 0,006, igual al de la manzana fresca.

En cuanto al valor de densidad, no se observan diferencias significativas, con lo cual no se afecta el proceso de intercambio gas-líquido que se lleva a cabo en el proceso de impregnación.

Finalmente, se analiza el efecto de la fuente de proteína empleada sobre el crecimiento microbiano. Según Saarela et al. (2003), los derivados de la lactosa favorecen el crecimiento de *Lactobacillus salivarius*. En este estudio, sin embargo, los recuentos del probiótico alcanzaron en los dos líquidos de

impregnación analizados valores similares a los obtenidos por otros autores (Arilla 2008; Betoret, 2012). Por último, cabe señalar que los recuentos del probiótico llevados a cabo en las manzanas impregnadas mostraron una ligera disminución con respecto a los obtenidos en los líquidos impregnación, siendo esta tendencia más acusada en el zumo enriquecido con suero de leche ($7,64 \pm 0,04$) que en el formulado con levadura panaria ($8,01 \pm 0,07$).

Respecto a la variación de masa de agua y aceite que tiene lugar durante el proceso de fritura de las muestras impregnadas con el probiótico y secadas por aire caliente, la Figura 3 muestra que la cantidad de aceite ganado por las muestras fue mayor que la pérdida de agua, lo que podría explicarse en términos del bajo contenido en agua alcanzado por las mismas tras la etapa de secado. Coincidiendo con lo reportado por otros autores, (Shyu y Hwang, 2001; Pedreschi y Moyano, 2005; Mariscal y Bouchon, 2008), los flujos de pérdida de agua y de ganancia de aceite se vieron favorecidos tanto por el incremento de la temperatura del aceite como por el incremento del tiempo de fritura.

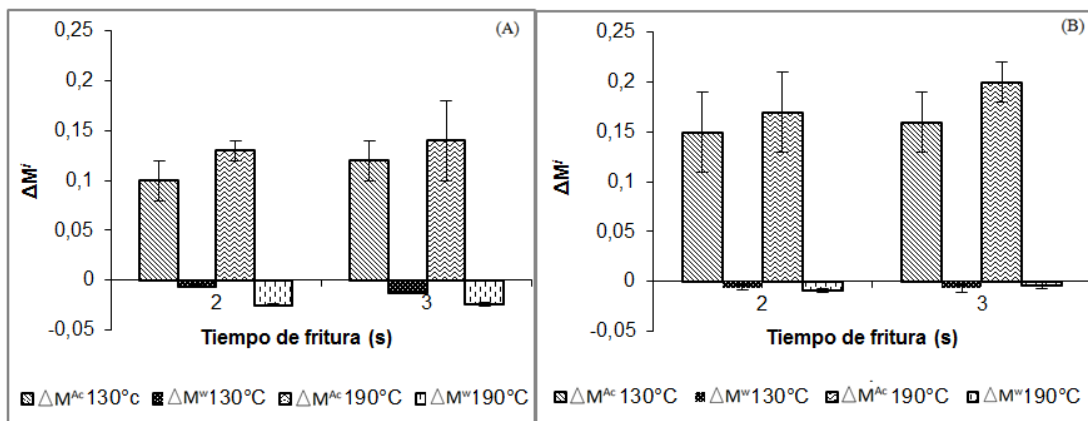


FIGURA 3. Efecto de la fuente de proteína sobre la variación masa aceite y agua en los diferentes tiempos y temperaturas de fritura. (A) Suero de leche; (B) Levadura panaria.

En la Tabla 5 se muestran los valores de humedad, actividad del agua, contenido en aceite y recuento del probiótico en las rodajas de manzana (var. Granny Smith) impregnadas con cada uno de los dos líquidos de impregnación inoculado con el probiótico, secadas por aire caliente y fritas en las diferentes condiciones estudiadas.

Con respecto a la humedad, se observaron diferencias significativas entre los valores alcanzados por las muestras al final de la etapa de secado, siendo menor en el caso de las muestras impregnadas con el líquido que incluía suero de leche como fuente de proteína. Este comportamiento se podría explicar en términos de la capacidad del catión calcio para interactuar con componentes de la pared celular de la manzana y para formar estructuras más firmes, que emplean menos energía en deformaciones y, en consecuencia, disponen de más energía para evaporar agua (Barrera, 2007). Como consecuencia de esta diferencia constatada entre las muestras al comienzo del proceso de fritura, las muestras

impregnadas con el líquido que incluía suero de leche como fuente de proteína presentaron, en las mismas condiciones de fritura, valores de humedad más bajos que las muestras impregnadas con el líquido que incluía levadura panaria como fuente de proteína.

TABLA 5. Efecto de la fuente de proteína, el tiempo y la temperatura de fritura en las rodajas de manzana SAC. Valores expresados como media \pm desviación estándar.

FUENTE PROTEÍNA	T (°C)	t (s)	x^w (g agua/g total)	x^{Ac} (g aceite/g total)	a_w	Log (UFC/g)
Suero Leche (SL)	-	0	0,082 \pm 0,002	-	0,33 \pm 0,02	6,94 \pm 0,03
		2	0,062 \pm 0,002	0,09 \pm 0,01	0,313 \pm 0,008	6,7\pm0,7
	130	3	0,059 \pm 0,004	0,11 \pm 0,02	0,301 \pm 0,002	6,34\pm0,01
		2	0,0668 \pm 0,0001	0,11 \pm 0,01	0,310 \pm 0,002	3,87 \pm 0,02
	190	3	0,05 \pm 0,03	0,12 \pm 0,03	0,294 \pm 0,005	NR*
		0	0,110 \pm 0,005	-	0,34 \pm 0,01	7,04 \pm 0,01
Levadura Panaria (LP)	-	2	0,0665 \pm 0,0004	0,13 \pm 0,03	0,318 \pm 0,009	6,67\pm0,10
		3	0,065 \pm 0,03	0,14 \pm 0,02	0,318 \pm 0,007	5,98 \pm 0,03
	130	2	0,063 \pm 0,001	0,15 \pm 0,03	0,309 \pm 0,003	NR*
		3	0,06 \pm 0,04	0,17 \pm 0,01	0,308 \pm 0,014	NR*
	190	2	0,063 \pm 0,001	0,15 \pm 0,03	0,309 \pm 0,003	NR*
		3	0,06 \pm 0,04	0,17 \pm 0,01	0,308 \pm 0,014	NR*

*NR= no reportada.

Se observa que, con la operación de fritura, tanto la humedad como la actividad del agua disminuyen notablemente, sin existir un efecto significativo de las variables analizadas.

En relación al contenido en aceite, se observa un ligero aumento con la temperatura y el tiempo de fritura. Cabe destacar que la fracción másica de aceite toma valores más bajos en las muestras impregnadas con el líquido que incluía suero de leche como fuente de proteína, lo que podría estar relacionado con la acción de algún derivado de la lactosa, que actúa como barrera (corteza) frente a la ganancia de aceite. Al comparar el contenido en aceite de las muestras impregnadas con el probiótico, secadas y fritas con el de las muestras impregnadas con el zumo de mandarina sin inocular, secadas y fritas, se observan valores considerablemente más bajos en el caso de las primeras, lo que es, aunque difícil de explicar, muy interesante desde un punto de vista nutricional.

Según los niveles de probiótico en las muestras impregnadas indicados anteriormente, el secado por aire caliente a 40 °C durante 24 horas supuso, con independencia de la fuente de proteína empleada, una reducción de su contenido en una unidad logarítmica, resultado que coincide con el reportado por Betoret, et al., (2012) en similares condiciones de proceso.

Como era de esperar, tras la etapa de fritura se produjo un descenso estadísticamente significativo ($P < 0,05$) en el recuento de viables, especialmente en los tratamientos realizados a 190 °C. Si bien el contenido en probiótico en la mayoría de las muestras fritas a 130 °C es lo suficientemente elevado (del orden de 10^6 UFC/g) como para afirmar que el snack es capaz de ejercer un efecto beneficioso contra la infección causada por *Helicobacter pylori* (International Dairy Federation, 1992), ninguna de las

muestras fritas a 190 °C cumple con este requisito. De hecho, no se evidenciaron recuentos en las muestras fritas a 190 °C, a excepción del caso de las rodajas de manzana impregnadas con el líquido que incluía suero de leche como fuente de proteína y que, tras el secado, se frieron con aceite a 190 °C durante 2 segundos. Aunque los niveles de crecimiento de *Lactobacillus salivarius spp. salivarius* alcanzados en este caso no fueron lo suficientemente elevados como para considerar que el snack es probiótico, el resultado es de gran interés y evidencia la posible interacción de algún derivado del suero con la matriz estructural del producto, lo que permite la formación de una costra protectora frente a las altas temperaturas alcanzadas durante el proceso de fritura.

EFFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

En la Tabla 6 se muestran los valores de fuerza máxima (N), distancia recorrida por el punzón hasta alcanzar la fuerza máxima (mm) y el área comprendida bajo la curva fuerza-distancia (N·mm).

TABLA 6. Efecto de las fuentes de proteína, la temperatura y tiempo de fritura de las muestras sobre las propiedades mecánicas de las mismas. Valores expresados como media \pm desviación estándar.

FUENTE DE PROTEÍNA	T (°C)	t (s)	F _{máx} (N)	DISTANCIA (mm)	ÁREA (N·mm)
Suero Leche (SL)	-	0	9,5 \pm 0,5	3,0 \pm 0,5	10,3 \pm 0,2
		2	9,23 \pm 1,04	2,9 \pm 0,6	11 \pm 2
	130	3	9 \pm 2	2,9 \pm 0,7	10 \pm 3
		2	13 \pm 2	3,0 \pm 0,5	14 \pm 4
	190	3	13 \pm 2	3,8 \pm 0,4	18 \pm 2
		0	10 \pm 3	3,74 \pm 1,03	14 \pm 2
Levadura Panaria (LP)	-	0	10 \pm 3	3,74 \pm 1,03	14 \pm 2
		2	10 \pm 2	3,6 \pm 0,9	12 \pm 3
	130	3	10 \pm 2	2,9 \pm 0,9	14 \pm 4
		2	11 \pm 2	3,21 \pm 1,12	13 \pm 3
	190	3	15 \pm 2	3,3 \pm 0,6	23 \pm 5

En primer lugar, cabe resaltar que las propiedades mecánicas de las muestras al final de la etapa de secado resultaron similares e independientes de la fuente de proteína empleada en la preparación del líquido de impregnación. En comparación con las muestras que fueron impregnadas con zumo de mandarina sin inocular, las muestras enriquecidas con el probiótico resultan, al final de la etapa de secado, significativamente más duras y deformables.

Respecto al efecto de la fritura sobre las propiedades mecánicas, parece que éstas no se vieron prácticamente afectadas por los tratamientos llevados a cabo a 130 °C. Sin embargo, al aumentar la temperatura de fritura hasta 190 °C se obtuvieron muestras ligeramente más duras y que, en consecuencia, requerían de mayor energía para su fractura, lo que podría deberse al estado avanzado de desarrollo de una costra superficial (Pedreschi et al., 2001; Pedreschi y Moyano, 2005).

En la figura 4 se muestra la forma típica de las curvas fuerza-distancia de las muestras impregnadas con el probiótico, secadas por aire caliente y fritas. Como se puede observar, las curvas de todas las muestras presentan un comportamiento viscoelástico antes de llegar al punto de fractura, así como una abrupta disminución en la fuerza máxima tras una única fractura. Estos resultados coinciden con los obtenidos anteriormente por otros autores (Morales et al., 2009) y confirman el estado gomoso que persiste en las muestras fritas. No obstante, aunque no existen ensayos de evaluación sensorial que permitan corroborar esta percepción, las muestras fritas resultaron, especialmente tras los tratamiento llevados a cabo a 190 °C, más crujientes que las simplemente secadas por aire caliente.

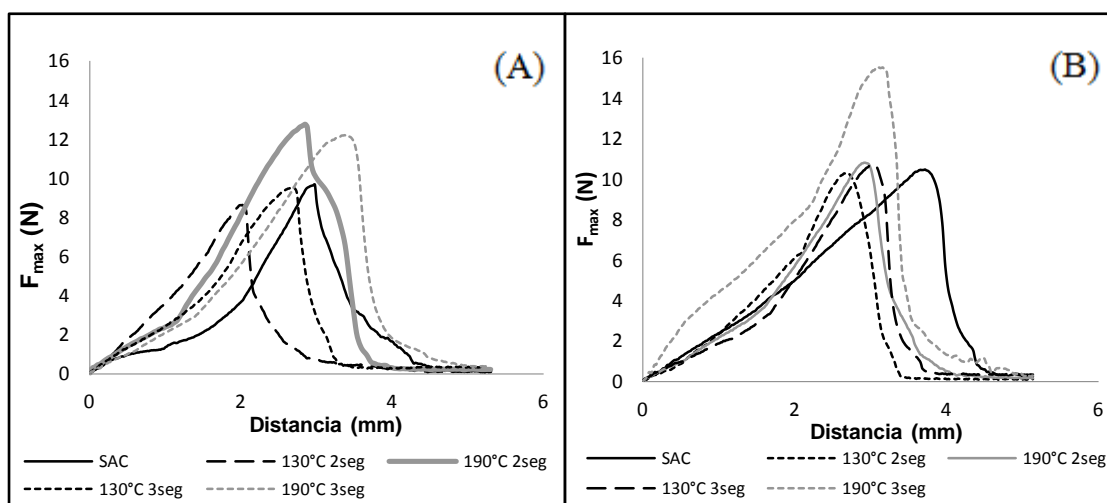


FIGURA 4. Efecto de la fuente de proteína sobre las propiedades mecánicas de las muestras. (A) Suero de Leche; (B) Levadura Panaria.

EFFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES ÓPTICAS

En la Tabla 7 se presentan los valores de las coordenadas L^* , a^* y b^* , de las magnitudes C^*_{ab} y h^*_{ab} , y ΔE referido a la muestra seca de las rodajas de manzana con fuente proteica y fritas a dos tiempos y temperaturas.

En general, la fritura de las muestras a cualquier temperatura durante 2 segundos disminuye el valor de L^* . Además, se observa que al aumentar el tiempo de fritura de 2 a 3 segundos la luminosidad de las muestras aumenta llegando en algunos casos a ser superior al de las muestras sin freír.

Comparando estos valores de luminosidad con los obtenidos en los ensayos sin probiótico, se observó un descenso significativo cuando se reformuló el líquido de impregnación.

Los valores de a^* y de la magnitud tono de las muestras fritas no se ven afectados por las condiciones del proceso. En todos los casos, las muestras fritas tienden a tener una coloración más rojiza, lo que indica la intervención de reacciones enzimáticas y/o no enzimáticas (Djendoubi et al., 2012). Por otra parte, al observar los datos del ángulo de tono se puede decir que las muestras tienden a acercarse al color amarillo.

TABLA 7. Efecto de las fuentes de proteína, la temperatura y el tiempo de fritura sobre las propiedades ópticas de las mismas. Valores expresados como media \pm desviación estándar.

FUENTE PROTEÍNA	T (°C)	t (s)	L*	a*	b*	C* _{ab}	h* _{ab}	ΔE
Suero Leche (SL)	-	0	63 \pm 5	8,3 \pm 1,3	38,4 \pm 0,3	39,38 \pm 0,06	78 \pm 2	-
		2	53 \pm 3	8 \pm 2	35 \pm 2	36 \pm 2	77 \pm 3	8 \pm 3
	130	3	58 \pm 5	10,9 \pm 1,2	42 \pm 2	44 \pm 2	75 \pm 2	11 \pm 4
		2	56 \pm 7	9 \pm 2	40 \pm 4	42 \pm 4	77 \pm 4	9 \pm 3
	190	3	65 \pm 3	10,2 \pm 0,9	45 \pm 2	46 \pm 2	77,3 \pm 1,2	8 \pm 2
		0	65 \pm 6	7,04 \pm 0,03	39,4 \pm 0,3	40,1 \pm 0,3	79,84 \pm 0,05	-
Levadura Panaria (LP)	-	2	57 \pm 5	8 \pm 2	38 \pm 2	39 \pm 2	78 \pm 2	6 \pm 3
		3	66 \pm 5	9 \pm 2	41 \pm 3	42 \pm 3	78 \pm 2	7 \pm 3
	130	2	58 \pm 3	10 \pm 2	38 \pm 2	39 \pm 2	75 \pm 2	5 \pm 2
		3	63 \pm 4	11 \pm 2	47 \pm 3	48 \pm 3	77 \pm 2	11 \pm 3
	190	2	58 \pm 3	10 \pm 2	38 \pm 2	39 \pm 2	75 \pm 2	5 \pm 2
		3	63 \pm 4	11 \pm 2	47 \pm 3	48 \pm 3	77 \pm 2	11 \pm 3

En el caso del valor b* de las muestras fritas, independientemente de la fuente proteica adicionada, se observa un aumento significativo con respecto a las muestras sin freír, lo cual indica que después del proceso de fritura las rodajas llegan a ser más amarillas, siendo más acusada esta tendencia cuando se realiza esta operación a 190 °C durante 3 segundos.

Para una mayor comprensión de los cambios presentados se calcula la magnitud C*_{ab} de las diferentes muestras, encontrando que al aumentar el tiempo y la temperatura de fritura, los valores de esta variable aumentan progresivamente, lo que se traduce en una mayor saturación de color según lo manifestado por Da Silva y Moreira (2008). En relación a la diferencia global de color, se observa que no hay un efecto de la temperatura, tiempo y fuente proteica sobre la variable en estudio, obteniendo a simple vista ligeras variaciones de color en las muestras.

CONCLUSIONES

La combinación del secado por aire caliente y la liofilización con la operación de fritura a 190 °C durante 2- 3 segundos, para la estabilización de un snack de manzana obtenido por impregnación a vacío, no afecta en gran medida las propiedades ópticas y mecánicas del producto final, siendo la ganancia de aceite el factor determinante para establecer la combinación de la operación de secado por aire caliente con la fritura como la más idónea.

En el proceso de obtención de un producto de manzana con efecto probiótico, por combinación de las técnicas de impregnación a vacío, secado por aire caliente y fritura se determina:

- La combinación temperatura- tiempo de fritura resultó decisiva para determinar un contenido apropiado de probióticos en el producto final, estableciendo la combinación 130°C/2 segundos como la más adecuada.
- La fuente de proteína utilizada en la formulación del líquido de impregnación afectó la ganancia de aceite e influyó en el recuento del

probiótico. Ambas variables alcanzaron niveles más satisfactorios cuando se empleó suero de leche como fuente proteica.

- No se modificó el comportamiento viscoelástico del producto si bien la reformulación del líquido de impregnación permitió obtener rodajas de manzana con mayor resistencia a la fractura.

REFERENCIAS

- A.O.A.C. 1980. Official methods of analysis (13th edition) Washington DC: Association of official analytical chemists.
- Arilla, A. 2008. Combinación de las técnicas de impregnación a vacío y secado por aire caliente en la obtención de alimentos probióticos a partir de manzana con efecto contra la infección por *Helicobacter pylori*. Trabajo fin de carrera. Universitat Politècnica de Valencia.
- Barrera, C. 2007. Estudio de la deshidratación osmótica y del secado por aire caliente como operaciones de estabilización de productos de manzana (var. Granny Smith) enriquecidos en calcio. Tesis Doctoral. Universidad Politècnica de Valencia.
- Betoret, N.; Puente, L.; Díaz, M.J.; Pagán, M.J.; García, M.J.; Gras, M.L.; Martínez-Monzó, J.; Fito, P. 2003. Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation. *Journal of Food Engineering*, **56 (2-3)**: 273–277.
- Betoret, E.; Betoret, N.; Arilla, A.; Bennár, M.; Barrera, C.; Codoñer, P.; Fito, P. 2012. No invasive methodology to produce a probiotic low humid apple snack with potential effect against *Helicobacter pylori*. *Journal of Food Engineering*, **110(2)**: 289–293.
- Chiralt, A., Fito, P., Andrés, A., Barat, J. M., Martínez-Monzó, J., Martínez-Navarrete, N. 1999. Vacuum impregnation: a tool in minimally processing of foods. En: F. A. R. Oliveira, y J. C. Oliveira (eds). *Processing of foods: quality, optimization and process assessment*, 341–356.
- Da Silva, P.; Moreira, R. 2008. Vacuum frying of high-quality fruit and vegetable-based snacks. *LWT-Food Science and Technology*, **41 (10)**: 1758-1767.
- Djendoubi Mrad, N.; Boudhrioua, N.; Kechaou, N.; Courtois, F.; Bonazzi, C. 2012. Influence of air drying temperature on kinetics, physicochemical properties, total phenolic content and ascorbic acid of pears. *Food and Bioprocesses Processing*, **90(3)**: 433-441.
- Dobarganes, C.; Márquez-Ruiz, G.; Velasco, J. 2000. Interactions between fat and food during deep-frying. *European Journal of Lipid Science and Technology*, **102 (8-9)**: 521-528.
- Fellows, P. J. 1998. Frying. En: P. J. Fellows. (eds). *Food processing technology. Principles and practice*. New York: Woodhead, 355-362.
- Fito, P.; Pastor, R. 1994. Non-diffusional mechanism occurring during vacuum osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, **21 (4)**: 513–519.
- Fito, P.; Chiralt, A. 2000. Vacuum impregnation of plant tissues. En S.M. Alzamora, M.S. Tapia, & A.
- Fito, P.; Chiralt, A.; Betoret, N.; Gras, M. L.; Cháfer, M.; Martínez-Monzó, J.; Andrés, A.; Vidal, D. 2001. Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering. Application in functional fresh food development. *Journal of Food Engineering*, **49 (2-3)**:175–183.
- Gamble M.H; Rice P. 1987. Effect of pre-fry drying on oil uptake and distribution in potato crisp manufacture. *International Journal of Food Science & Technology*, **22(5)**: 535–548.
- Guang Chang, P.; JunBo, X.; QuingSen, C.; ZhiHe, H. 2012. How functional foods play critical roles in human health. *Food Science and Human Wellness*, **1 (1)**: 26-60.
- Hutchings, J. 1999. Food color and appearance. Aspen Publisher, Inc. Gaithersburg, Maryland.
- International Dairy Federation (IDF/ FIL), 1992. Physiological and functional properties of probiotics. *Bulletin of the International Dairy Federation*; **272**: 17-22.
- Judd, D., Wyszecski, G. 1975. Colour in Business. Science and Industry. John Wiley and Sons, INC. New York.

- Mariscal, M.; Bouchon, P. 2008. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. *Food Chemistry*, **107(4)**: 1561–1569.
- Morales, L. 2009. 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*. Tesis fin de Máster. Universitat Politècnica de Valencia.
- Morales, L. 2010. Estudio del efecto de las operaciones de liofilización y deshidratación osmótica sobre la viabilidad de los microorganismos y las propiedades ópticas y mecánicas de un snack de manzana (VAR Granny Smith) con un elevado contenido en *Lactobacillus salivarius* spp *salivarius*. Tesis fin de Máster. Universitat Politècnica de Valencia.
- Moreno, M.C.; Bouchon, P. 2008. A Different Perspective to Study the Effect of Freeze, Air, and Osmotic Drying on Oil Absorption during Potato Frying. *Journal of Food Science*, **73(3)**: E122-E128.
- Parkash, S.; Gertz, C. 2004. New theoretical and practical aspects of the frying process. *European journal of lipid science and technology*, **106(11)**, 722-727.
- Pedreschi, F.; Aguilera, J. M.; Pyle, L. 2001. Textural Characterization and Kinetics of Potato Strips during Frying. *Journal of Food Science*, **66(2)**: 314–318.
- Pedreschi, F.; Moyano, P. 2005. Oil uptake and texture development in fried potato slices. *Journal of Food Engineering* **70(4)**: 557–563.
- Saarela, M.; Hallamaa, K.; Mattila-Sandholm, T.; Mättö, J. 2003. The effect of lactose derivatives lactulose, lactitol and lactobionic acid on the functional and technological properties of potentially probiotic *Lactobacillus* strains. *International Dairy Journal*, **13(4)**: 291-302.
- Salminen, S.; Bouley, C.; Boutron-Ruault, M.C.; Cummings, J.H.; Franck, A.; Gibson, G.R.; Isolauri, E.; Moreau, M.C.; Roberfroid, M.; Rowland, I. 1998. Functional food science and gastrointestinal physiology and function. *British Journal of Nutrition*, **80(Suppl 1)**: S147–S171.
- Shyu, S.L.; Hwang, L.S. 2001. Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips. *Food Research International*, **34(2-3)**: 133-142.
- Silveira, M.; Monereo, S.; Molina, B. 2003. Alimentos Funcionales y Nutrición Óptima ¿Cerca o lejos?. *Revista Especializada de Salud Pública*, **77(3)**: 317-331.
- Singh, R.P. 1995. Heat and mass transfer in foods during deep-fat frying. *Food Technology*, **49(4)**: 134-137.
- Talens, P.; Martínez-Navarrete, N.; Fito, P.; Chiralt, A. 2002. Changes in optical and mechanical properties during osmodehydrofreezing of kiwifruit. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, **3(2)**: 191-199.
- UNE 40-080, 1984. Determinación de las magnitudes cromáticas CIE. Norma Española. Madrid: Instituto Español de Normalización (IRANOR).
- Wang, K. Y.; Li, S. N.; Liu, C. S.; Perng, D. S.; Su, Y. C.; Wu, D. C.; Wang, W. M. 2004. Effects of ingesting *Lactobacillus*-and *Bifidobacterium*-containing yogurt in subjects with colonized *Helicobacter pylori*. *The American journal of clinical nutrition*, **80(3)**: 737-741.