

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA



**EVALUACIÓN DE LA FRITURA DE PATATAS POR
MICROONDAS A NIVÉL CINÉTICO Y SENSORIAL**

Máster en Ciencia e Ingeniería de los Alimentos

Realizado por: Juan Alberto Cabrera García

Directoras:

Dra. Ana Belén Heredia Gutiérrez

Dra. Ana M^a Andrés Grau

Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo

EVALUACIÓN DE LA FRITURA DE PATATAS POR MICROONDAS A NIVEL CINÉTICO Y SENSORIAL

Cabrera, J.A; Andrés, A; Heredia, A.

Resumen: La demanda de los consumidores está impulsando a la industria alimentaria a desarrollar nuevas estrategias que permitan optimizar la seguridad y calidad nutricional de sus productos. En el caso particular del sector de las patatas fritas, sus objetivos se centran en reducir el contenido en grasa y acrilamida sin alterar las cualidades organolépticas que definen este tipo de productos. En este sentido, la fritura por microondas presenta un gran potencial, ya que puede reducir tanto las temperaturas de fritura como los tiempos de operación, dos de los parámetros que, junto con el contenido en precursores, parecen tener mayor influencia en el contenido final en acrilamida. El objetivo de este trabajo ha sido evaluar la fritura por microondas partiendo de aceite a temperatura ambiente, sin precalentamiento del medio, tanto a nivel cinético como sensorial. Concretamente, se han estudiado el efecto del nivel de potencia de microondas aplicado (1,8, 2,4 y 2,9 W/g) sobre los cambios composicionales, variaciones netas de masa total y de componentes (agua y aceite), propiedades ópticas y mecánicas, y generación de acrilamida a lo largo del tiempo de fritura. Los resultados han puesto de manifiesto que la fritura por microondas, sin precalentamiento del medio, permite obtener patatas con un menor contenido en humedad ($0,13 \pm 0,03$, $0,19 \pm 0,04$ y $0,15 \pm 0,04$ g agua/g producto, a 1,8, 2,4 y 2,9 W/g respectivamente, frente a $0,67 \pm 0,05$ de la fritura convencional), mayor contenido en aceite ($0,19 \pm 0,01$, $0,12 \pm 0,02$ y $0,1 \pm 0,03$ g aceite/ g producto, frente a $0,05 \pm 0,004$), y con una textura más dura y crujiente que las muestras fritas por inmersión en aceite convencionalmente, siendo más similares a las patatas tipo *chips* por sus características finales que al tipo *French Fries*. Sin embargo, en cuanto al contenido en acrilamida, la aplicación de microondas permite reducir notablemente las cantidades presentes en el producto final, consiguiéndose una mayor reducción al aumentar la potencia aplicada (60 ± 7 , 90 ± 2 y 30 ± 6 , frente 138 ± 12).

Palabras clave: patata, microondas, fritura, cinética, acrilamida

Resum: La demanda dels consumidors està impulsant la indústria alimentària a desenvolupar noves estratègies que permeten optimitzar la seguretat i qualitat nutricional dels seus productes. En el cas particular del sector de les creïlles fregides, els seus objectius se centren a reduir el contingut en greix i acrilamida sense alterar les qualitats organolèptiques que defineixen aquest tipus de productes. En aquest sentit, el fregit per microones presenta un gran potencial, ja que pot reduir tant les temperatures de fregit com els temps d'operació, dos dels paràmetres que, juntament amb el contingut en precursors, sembla que tenen més influència en el contingut final en acrilamida. L'objectiu d'aquest treball ha sigut avaluar el fregit per microones partint d'oli a temperatura ambient, sense preescalfament del medi, tant a nivell cinètic com sensorial. Concretament, s'han estudiat l'efecte del nivell de potència de microones aplicat (1,8, 2,4 i 2,9 W/g) sobre els canvis composicionals, variacions netes de

massa total i de components (aigua i oli), propietats òptiques i mecàniques, i generació d'acrilamida al llarg del temps de fregit. Els resultats han posat de manifest que el fregit per microones, sense preescalfament del medi, permet obtenir creïlles amb un menor contingut d'humitat ($0,13 \pm 0,03$, $0,19 \pm 0,04$ i $0,15 \pm 0,04$ g aigua / g producte, a 1,8, 2,4 i 2,9 W/g respectivament, davant $0,67 \pm 0,05$ del fregit convencional), major contingut en oli ($0,19 \pm 0,01$, $0,12 \pm 0,02$ i $0,1 \pm 0,03$ g oli / g producte, davant $0,05 \pm 0,004$), i amb una textura més dura i cruixent que les mostres fregides per immersió en oli convencionalment, sent més similars a les creïlles tipus *chips* per les seues característiques finals que al tipus *French Fries*. No obstant, pel que fa al contingut en acrilamida, l'aplicació de microones permet reduir notablement les quantitats presents en el producte final, aconseguint una major reducció en augmentar la potència aplicada (60 ± 7 , 90 ± 2 y 30 ± 6 , davant 138 ± 12).

Paraules clau: creïlla, microones, fregit, cinètica, acrilamida

Abstract: The consumer demand is driving the food industry develop new strategies to optimize the safety and nutritional quality of their products. In the specific case the sector of chips, its objectives are to reduce the fat content and acrylamide without altering the organoleptic qualities which define this type of product. In this regard, the microwave frying has great potential since it can reduce both frying temperatures and operating times, two of the parameters along with the content precursors appear to have more influence on the final content acrylamide. The aim of this study was to evaluate based microwave frying oil at room temperature without preheating the medium, both kinetic and sensory. Specifically, they have studied the effect of microwave power level applied (1,8, 2.4 and 2,9 W/g) on the compositional changes, net changes in total mass and components (water and oil), optical and mechanical properties, and acrylamide generation along the frying time. The results have shown that microwave frying, without preheating the medium, allows obtaining potatoes with lower moisture content ($0,13 \pm 0,03$, $0,19 \pm 0,04$ and $0,15 \pm 0,04$ g water / g product, 1,8, 2,4 and 2,9 W/g, respectively, compared to $0,67 \pm 0,05$ for conventional frying), higher oil content ($0,19 \pm 0,01$, $0,12 \pm 0,02$ y $0,1 \pm 0,03$ g oil/ g product, compared to $0,05 \pm 0,004$), and a harder texture and crunchy fried samples dip conventionally oil, being more similar to potato chips type by its final characteristics than to French Fries. However, in the content of acrylamide, microwave application can significantly reduce the amounts present in the final product, achieving a greater reduction by increasing the power applied (60 ± 7 , 90 ± 2 y 30 ± 6 , compared to 138 ± 12).

Key words: potato, microwave, frying, kinetic, acrylamide

INTRODUCCIÓN

La fritura es una de las técnicas más empleadas en la preparación de alimentos, tanto a nivel doméstico como industrial. Permite obtener productos con una combinación de propiedades organolépticas muy apreciadas por los consumidores y muy difíciles de conseguir con otras técnicas culinarias. Entre la gran variedad de productos que se obtienen por fritura destacan por su volumen de consumo las patatas fritas. En España las patatas fritas representan entorno al 20% de las ventas del mercado de los aperitivos, con un volumen de facturación de 381,6 millones de euros (Asociación de Fabricantes de Aperitivos, AFAP).

Sin embargo en las últimas décadas, debido al creciente interés que prestan los consumidores por el perfil nutricional de sus alimentos, los productos fritos han ido perdiendo popularidad al asociarse su consumo a alimentos ricos en grasas. Por otro lado, también es creciente la preocupación por la ingesta de acrilamida, compuesto potencialmente carcinógeno que se ha encontrado en elevadas cantidades en diferentes alimentos de consumo habitual sometidos en su elaboración a altas temperaturas, tanto en frituras como horneados (Tareke, 2002). Esta situación ha llevado a las autoridades sanitarias y a la industria alimentaria a impulsar programas de investigación para la búsqueda de técnicas que permitan obtener productos más saludables desde un punto de vista nutricional, marcándose como objetivos principales la reducción del contenido en grasa y en acrilamida de los productos finales.

Entre las diferentes estrategias que se han venido desarrollando y validando en los últimos años para reducir el contenido en acrilamida en patatas fritas destacan:

- Reducción del pH mediante inmersión de las patatas cortadas en una solución de ácido cítrico al 1-2%, lo que permite reducir la formación de acrilamida en más de un 70% (Jung et al., 2003; Pegreschi et al., 2004).
- Pre-tratamiento por inmersión de las patatas cortadas en diferentes aditivos: en aminoácidos (disolución al 3% de lisina o glicina) con una reducción de la formación de acrilamida en más de un 80% en fritura a 185°C durante 1,5 minutos (Tae Kim et al., 2005) ó en cationes mono y divalentes tales como el Na⁺, k⁺ ó Ca²⁺ (Gökmen and Senyuva, 2007; Pedrischi, 2007).
- Fritura a bajas temperaturas mediante aplicación de vacío lográndose disminuir el contenido en acrilamida hasta un 94% respecto a la fritura convencional (Granda et al., 2004).
- Escaldado de las patatas previo a su fritura, que logra reducir entre un 60-80% la concentración de acrilamida (Pedreschi et al., 2004; Mestdagh et al., 2008).
- Precocción de las patatas mediante microondas con lo que se observa una reducción de hasta un 60% en contenido en acrilamida (Belgin, 2007).

El escaldado suele ser un proceso comúnmente empleado en la industria con objetivos múltiples, como son la de obtener mayor homogeneidad en el

color del producto, inactivar enzimas y reducir la absorción de aceite al formarse una capa de almidón gelificado (Mestdagh, 2008). La acidificación o el enriquecimiento de la materia prima vegetal con diversos componentes capaces de reducir la formación de acrilamida no ha cuajado en la industria debido a los largos tiempos de tratamiento requeridos y al precio de dichos agentes. Además la aplicación de algunos de estos compuestos presenta ciertas limitaciones a nivel organoléptico.

Por su parte, alternativas a nivel tecnológico, como son la fritura a vacío o la fritura por microondas, requieren de importantes inversiones en equipos que en muchos casos son incluso difíciles de encontrar en el mercado a la escala necesaria para grandes volúmenes de producción. Sin embargo, estas tecnologías de fritura presentan un gran potencial ya que pueden ser la única vía para lograr reducir tanto las temperaturas de fritura como los tiempos de operación, dos de los parámetros que, junto con el contenido en precursores, parecen tener mayor influencia en el contenido final en acrilamida.

Fritura por microondas

El procesamiento de alimentos mediante aplicación de microondas a escala industrial comenzó a nivel comercial en la década de 1960, cuando Cryodry Corporación, de San Ramón, California, presentó el primer sistema para su venta. El primer mercado al que se orientó este equipo fue el acabado de chips de patata. Tras una fritura parcial de las patatas y su posterior deshidratación mediante la aplicación de microondas se conseguía disminuir en un 10% el contenido en aceite de las patatas sin alterar sus características organolépticas (Lipoma and Watkins, 1968).

En el calentamiento de alimentos por microondas tienen lugar fenómenos de transferencia de masa y energía totalmente diferentes a los que ocurren en el calentamiento por convección. En la cocción por microondas el gradiente de temperatura en el producto es positivo del interior a la superficie, al contrario que en el calentamiento por convección (Astigarraga-Urquiza y Astigarraga-Aguirre, 1995). Con la generación interna de calor, la transferencia de masa es primordialmente debida al gradiente total de presión parcial de vapor de agua, establecido a causa de la rápida generación de vapor dentro del material. Si la muestra tiene inicialmente una elevada humedad y la presión interna aumenta rápidamente, el líquido puede ser eliminado bajo la influencia del gradiente de presión de vapor generado. Esto contribuye a un secado más rápido sin la necesidad de sobrecalentar el alimento, evitándose así que se alcancen elevadas temperaturas en la superficie, y por lo tanto sobrecalentamientos y encostramientos (Fito *et al.*, 2001; Maskan, 2001; Wang *et al.*, 2004). Como consecuencia de estos mecanismos, es de esperar que en un proceso de fritura por microondas puedan mejorarse la eficiencia y la economía de la operación de fritura, ya que proporciona una manera más eficiente y homogénea de cocer los alimentos y de eliminar el agua interna del producto, pudiendo reducirse notablemente los tiempos y las temperaturas de operación.

La evaluación de la idoneidad de implementar la fritura por microondas, así como su optimización, requiere del estudio de la cinética del proceso y de las ventajas comparativas que esta técnica de fritura puede aportar a la calidad de

los productos obtenidos. Existen estudios donde se ha evaluado el uso de la aplicación de microondas como pre-tratamiento previo a la fritura convencional o para terminación del producto. Sin embargo, son muy reducidos los estudios donde se evalúe la fritura por microondas como una operación única y continua con la que se obtenga directamente el producto final. A este respecto, a continuación se comentan algunos de los estudios encontrados y sus alcances:

- Precocinado de tiras de patata como pre-tratamiento previo a la fritura en aceite caliente con el objetivo de reducir el contenido en acrilamida del producto final. Los resultados demostraron una marcada reducción en los niveles de acrilamida, con una reducción de entorno al 60% en fritura a 190°C (Belgin, 2007; Tuta, 2010).
- Reducción del contenido en grasa en un 10% en patatas chips usando microondas para la terminación del producto (Blau et al., 1965; Smith and Davis, 1965).
- Fritura de tiras de patatas al microondas partiendo de aceite precalentado hasta 170°C con el mismo microondas. Para una fritura a 400 W durante 1 minuto se consiguió reducir el contenido en acrilamida en un 87,85% y el tiempo de operación en un 81,82%, para un contenido de humedad en el producto final similar (Sahin *et al.*, 2007). Sin embargo para esta valoración no se tuvo en cuenta el tiempo necesario para calentar el aceite hasta la temperatura requerida.
- Optimización de la fritura por microondas de patatas tipo chips mediante la valoración de los parámetros tiempo de fritura, potencia aplicada y tipo de aceite empleado. Para ello se evaluó el contenido en humedad y aceite, la dureza y el color (Oztop *et al.*, 2006).

El objetivo principal de este trabajo ha sido evaluar la fritura por microondas partiendo de aceite en frío, tanto a nivel cinético como sensorial. Concretamente, se han estudiado el efecto del nivel de potencia de microondas aplicado sobre los cambios composicionales, variaciones netas de masa total y de componentes, propiedades ópticas y mecánicas, y generación de acrilamida a lo largo del tiempo de fritura. Adicionalmente se han evaluado los cambios experimentados por el aceite de fritura, en cuanto a su espectro de transmitancia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Como materias primas se emplearon patatas frescas de la variedad *Agría* (marca comercial: PATATAS AGUILAR) y aceite vegetal para freír (mezcla de aceite refinado de girasol alto oleico y de germen de maíz, HACENDADO). Esta variedad de patata es ampliamente utilizada en la industria debido a su buena conservación y almacenamiento, con disponibilidad a lo largo de todo el año, su equilibrio entre el contenido de fécula y agua, así como su baja concentración en azúcares reductores, que la convierten en una variedad ideal para fritura (Eduardo Sanz S.L.).

Acondicionamiento de la materia prima

Las patatas se almacenaron a 9°C y una humedad relativa del 95% en una cámara termostataada y con control de humedad relativa hasta su utilización. Los tubérculos, a su vez, fueron equilibrados en cuanto a su perfil de humedad, por inmersión en agua durante las 24 h antes de llevar a cabo los experimentos. Se obtuvieron tiras con una sección transversal de 10x10 mm con ayuda de un cortador manual para patatas fritas (Taurus) y 50 mm de longitud con ayuda de un cuchillo y un pie de rey. Por último, se secaron las muestras con el objetivo de eliminar el exceso de agua y almidón en superficie.

Metodología experimental

Las tiras de patata se frieron en aceite vegetal manteniendo una relación patata:aceite de 1:10 (m/m).

Fritura microondas: La fritura por microondas tuvo lugar a 1,8, 2,4 y 2,9 W/g con un tiempo máximo de 10, 8 y 6 minutos respectivamente, a intervalos de 1 minuto. Los tiempos máximos de fritura se ajustaron tras observar el aspecto final de las muestras. Una vez fritas las muestras se retiró el exceso de aceite con papel absorbente, frotando las patatas con el papel durante 20 segundos. Los experimentos se realizaron en un horno microondas de uso doméstico (Samsung GW72N). Para cada tiempo de fritura se emplearon 250 mL de aceite situados en un vaso de precipitados de 600 mL en los cuales se frieron 5 tiras de patatas. Como recipiente para el aceite se emplearon vasos de precipitado de vidrio de 600 ml. Para iniciar la fritura se introdujo el vaso de precipitado con las patatas sumergidas en el aceite en frío, renovándose tanto el aceite como las patatas en cada fritura. Las frituras se repitieron a cada tiempo en función de la cantidad de muestra necesaria para llevar a cabo las diferentes determinaciones analíticas.

Fritura convencional por inmersión en aceite: se llevó a cabo un proceso control de fritura en condiciones convencionales de inmersión en aceite a 180°C y durante 8 minutos. El equipo utilizado fue una freidora eléctrica de acero inoxidable de uso doméstico (Solac Ideal 2000). En este caso no se renovó el aceite para las frituras a los diferentes tiempos y las patatas se introdujeron en el aceite una vez éste alcanzaba los 180°C, extrayendo muestras también cada minuto de fritura.

Adicionalmente se llevó a cabo un control de temperatura durante todo el proceso de fritura. Se determinó el incremento de temperatura tanto del aceite como de la patata una vez finalizados los tiempos de fritura, empleándose un sensor termopar tipo K de rápida respuesta (HIBOK 14).

Determinaciones analíticas en el producto

Todas las determinaciones analíticas fueron llevadas a cabo por triplicado a cada uno de los tiempos de fritura por microondas o convencional, salvo que se indique otro número de repeticiones.

HUMEDAD

El contenido en humedad de las muestras se determinó de acuerdo con la norma de la A.O.A.C. nº 20.103 (1980). Según dicho procedimiento se depositaron en un crisol de vidrio 0,5 g de muestra, previamente triturada y homogenizada, y se llevan a estufa (P-SELECTA mod. Vaciotem-T) a 60°C y

una presión de vacío inferior a 0,8 bares hasta peso constante (2-3 días). El contenido en humedad se determina por diferencia de pesada entre el peso de la muestra antes y después del secado en estufa.

MATERIA GRASA

El contenido de grasa de las muestras de patatas se determinó mediante el método Soxhlet empleando el equipo Soxtec Foss 2055, el cual permite en análisis de seis muestras a la vez. Para la preparación previa de las muestras se tomaron 5 g de patata, se trituraron en flanderas de acero inoxidable junto con 5 g de arena lavada y se secaron en la estufa a 60°C durante 48 h. Las muestras, una vez deshidratada; se introdujeron en sobres de papel de filtro y se colocaron en dedales de celulosa para su introducción en el equipo. Como solvente se emplearon 90 ml de éter para cada muestra. El proceso de extracción se realizó a 135°C y tuvo una duración total de 137 minutos dividido en tres fases consecutivas de 45, 60 y 32 minutos de duración respectivamente.

VARIACIÓN DE MASA TOTAL Y DE COMPONENTES

La variación neta de masa (ΔM_t), de agua (ΔM_t^w) y de aceite (ΔM_t^{ac}) se calcularon de acuerdo a las ecuaciones 1 y 2:

$$\Delta M_t = \frac{(M_t - M_0)}{M_0} \quad (1)$$

$$\Delta M_t^i = \frac{(M_t \times x_t^i) - (M_0 \times x_0^i)}{M_0} \quad (2)$$

donde: ΔM_t = flujo neto de masa (g/g inicial de muestra), ΔM_t^i = flujo neto de componente (i) (g componentes i ganado o perdido/g muestra inicial); M_t = masa total después de la fritura (g); M_0 = masa inicial (g); x_t^i = fracción másica del componente i después de la fritura (g componente i/g total); x_0^i = fracción másica inicial del componente i (g de componente i/g total); superíndices i: w = agua; ac = aceite.

Para ello, la variación de masa total del conjunto de las muestras se determinó por diferencia de pesada antes y después de la fritura en balanza analítica (Mettler Toledo, xs105 dualRange), y tras retirar el exceso de aceite con papel adsorbente durante 20 segundos. Con el fin de obtener media y desviación estándar, dicha operación se llevó a cabo por triplicado para cada tiempo de fritura.

DETERMINACIÓN DE ACRILAMIDA

La determinación del contenido en acrilamida se llevó a cabo usando el método de extracción en fase sólida dispersiva denominado QuEChERS según una nota de aplicación de Agilent Technologies (Al-Tasher, F., 2011) con algunas modificaciones. Este método consiste en 2 fases, una primera dispersiva cuya composición es: 4 g de $MgSO_4$ y 0.5g de NaCl (Quechhers1), seguida de una fase de limpieza y purificación de la muestra: 50 mg de Primary Secondary Amine (PSA) y 150 mg de $MgSO_4$ (Quechhers2).

Reactivos y Solución Estándar

El estándar de acrilamida ($\geq 99\%$) se obtuvo en Merck (Darmstadt, Germany). El NaCl se adquirió en Scharlab (Barcelona, Spain). Acetonitrilo (calidad HPLC), ácido fórmico (pureza de 99-100%) y sulfato de magnesio (MgSO_4) seco PA, fueron adquiridos en VWR (Fontenay-sous-Bois, France). El hexano (calidad UV-IR-HPLC) fue de Panreac (Barcelona, Spain). El PSA se obtuvo en Supelco (Bellefonte, PA). El agua bidestilada se preparó para su uso cromatográfico (Milli-Q, Millipore Corp., Bedford, MA).

Para la preparación de la solución de stock se pesaron 100 mg de acrilamida y se disolvieron en acetonitrilo hasta un volumen final de 100 mL. A partir de ésta se elaboraron disoluciones de trabajo de 1 y 10 $\mu\text{g}/\text{mL}$. Todas ellas fueron almacenadas a 4°C .

Extracción de la muestra

El proceso empleado para la extracción de la acrilamida fue el siguiente: se pesó 1 g de patata en un tubo Falcon de 50 mL y se añadieron 500 μL de $^{13}\text{C}_3$ -acrilamida ($1\mu\text{g}/\text{mL}$) como patrón interno. En una primera fase, con el fin de eliminar la grasa de la muestra, se añadieron 5 mL de n-hexano y se agitó en el vortex durante 30 segundos para facilitar la extracción. A continuación, se añadieron 10 mL de agua bidestilada, 10 mL de acetonitrilo y se trituró el contenido con Ultra-Turrax. Posteriormente, se adicionó el contenido del QuEChERS 1 y se agitó de nuevo en el vortex durante un minuto. Después se centrifugó el tubo a 5000 rpm durante 5 minutos con el fin de separar las diferentes fases (hexano, acetonitrilo y agua). La fase de hexano (fase superior) se descartó y se recogió una alícuota de 1 mL de la fase de acetonitrilo (fase intermedia), donde queda retenida la acrilamida. Ésta se transfirió a un eppendorf de 2 mL con el QuEChERS 2 y se agitó durante 30 segundos. Posteriormente se centrifugó a 5000 rpm durante 1 minuto y finalmente se tomaron 500 μL del sobrenadante que se transfirieron a un vial para su posterior análisis por HPLC/MS/MS.

Análisis HPLC/MS-MS

El análisis cromatográfico se realizó utilizando un cromatógrafo 1200 Series (Agilent Technologies, Inc., CA; USA) acoplado a un espectrómetro de masas 6410 TripleQuad LC/MS de Agilent (Agilent Technologies Inc., CA; USA), con fuente de ionización tipo Electrospray, en modo positivo. La columna usada en el presente estudio fue una Zorbax Eclipse XDB C-18 (2.1 mm x 50 mm, $1.8\mu\text{m}$).

El gradiente de elución fue el siguiente: inicialmente la composición fue de 0% de fase B (disolución de ácido fórmico al 0,1%) y 100% de fase A (agua bidestilada), hasta el minuto 4. A partir del minuto 4.10 un 30% de fase B hasta el minuto 6 y en el minuto 6:10 se ajusta al valor inicial: 0% de fase B. La temperatura del horno de columna se mantuvo constante a 30°C . El flujo empleado fue de 0.2 mL/minuto, y un volumen de inyección de 10 μL . Las condiciones usadas en la fuente de ionización fueron: T^a del gas de secado (N_2) de 350°C a 12 L/min, presión del nebulizador de 40 psi y voltaje del capilar de 4000 voltios. El ión monitorizado fue el m/z 72, y los iones producto fueron 55.2 (cuantitativo) y el 26.7 (cualitativo).

Validación del método

El método empleado fue validado por el laboratorio según la Directiva 96/23/CE en estudios anteriores (Sansano, 2011). Para verificar la validez de las medidas realizadas se estudió la linealidad (R^2) y la recuperación del método, mediante la fortificación de la matriz frita (patata frita a microondas a 1,765 W/g durante 2 minutos), estudiando 5 niveles (0, 25, 100, 300 y 500 ppb). Para determinar la linealidad se representó el área obtenida del pico cromatográfico (ión producto de m/z 55.2) frente a la concentración de la acrilamida adicionada. La recuperación se calculó a partir de la ecuación 3:

$$\%R = (C_{obtenida}/C_{añadida}) \times 100 \quad (3)$$

Siendo $C_{añadida}$, la concentración de estándar añadida (de referencia) y, $C_{obtenida}$ la concentración calculada a partir de la respuesta (área) obtenida del cromatógrafo. Según la Directiva 96/23/CE en masas comprendidas entre 10-100 mg/Kg se admite una tolerancia de un DSR (desviación estándar relativa) del 20%, de lo que se deduce que la recuperación de nuestro método deberá estar comprendido entre un 80-120%.

PROPIEDADES ÓPTICAS

La determinación de las propiedades ópticas de las tiras de patata en cada uno de los tratamientos se realizó mediante un espectrocolorímetro (MINOLTA, mod. CM-3600d, Japan) conectado a un ordenador dotado del software SpectraMagic 3.6.1. Las coordenadas del espacio de color CIEL*a*b* se obtuvieron a partir del espectro de reflectancia proporcionado por el equipo entre 400 y 700 nm con un sistema de referencia: iluminante D65 y observador 10°. Previamente, el equipo fue calibrado sobre fondo negro y blanco. Las medidas se realizaron en 5 tiras de patata, tomando sobre una de las caras dos puntos, uno en el centro y otro en uno de los extremos, empleando para ello una lente de 7 mm. Como resultado se obtuvieron un total de 10 mediciones para cada tiempo y tratamiento.

PROPIEDADES MECÁNICAS

La caracterización de las propiedades mecánicas de las tiras de patata para cada uno de los tratamientos se realizó mediante un ensayo de corte, haciendo uso de la prensa universal ANAME (Textura Analyser mod. TA-XT Plus). Se utilizó una cuchilla de Warner Bratzler a una velocidad de ensayo de 1mm/segundo con la finalidad de provocar una deformación del 100% en la muestra. El ensayo se ejecutó cuando las patatas fritas alcanzaban la temperatura normal de consumo (45-50°C). El parámetro analizado fue la fuerza máxima aplicada (N).

Determinaciones analíticas en el aceite de fritura

La transmitancia del aceite de fritura se midió con el mismo equipo empleado para determinar las propiedades ópticas de las patatas fritas descrito anteriormente. Las muestras de aceite se tomaron a cada tiempo de fritura y se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 24 horas. Previamente, el equipo fue calibrado sobre fondo totalmente opaco y sobre agua destilada. Se

realizó una medida a cada tiempo de fritura, introduciendo las muestras en unas cubetas transparentes.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El efecto del tipo de fritura sobre los parámetros medidos se evaluó mediante un análisis simple de la varianza (ANOVA simple), llevado a cabo con el programa de análisis estadístico Statgraphics Centurion XVI.I, con un nivel de significación del 95% (p -valor ≤ 0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Flujos netos de masa durante la fritura

En una operación de fritura la variación de masa total de las muestras se debe a la entrada de aceite y a la pérdida de agua, siendo el balance neto una reducción de la masa total de las muestras, tal y como muestra la figura 1. La aplicación de potencia de microondas en la fritura dio lugar a una mayor pérdida de masa total (ΔM_t) que en fritura convencional a 180°C , siendo ésta superior a medida que aumentó el nivel de potencia aplicado. Esto puede atribuirse al mayor flujo de vapor de agua desde el interior de las muestras hacia la superficie de las mismas como resultado de la aplicación de energía de microondas, al cocerse las muestras desde el interior. Además, con la aplicación de microondas se retrasa la formación de la corteza en la superficie del producto que actúa como barrera a los fenómenos de transporte, tal y como ocurre en la fritura convencional por inmersión en aceite caliente.

En cuanto a la comprobación de la ecuación del balance y validación de la metodología experimental empleada para la determinación de los flujos se ha obtenido una linealidad próxima a 1 (0,964) al representar los valores del flujo neto de masa total (ΔM_t) frente a la suma de los flujos netos de aceite (ΔM_t^{ac}) y agua (ΔM_t^w).

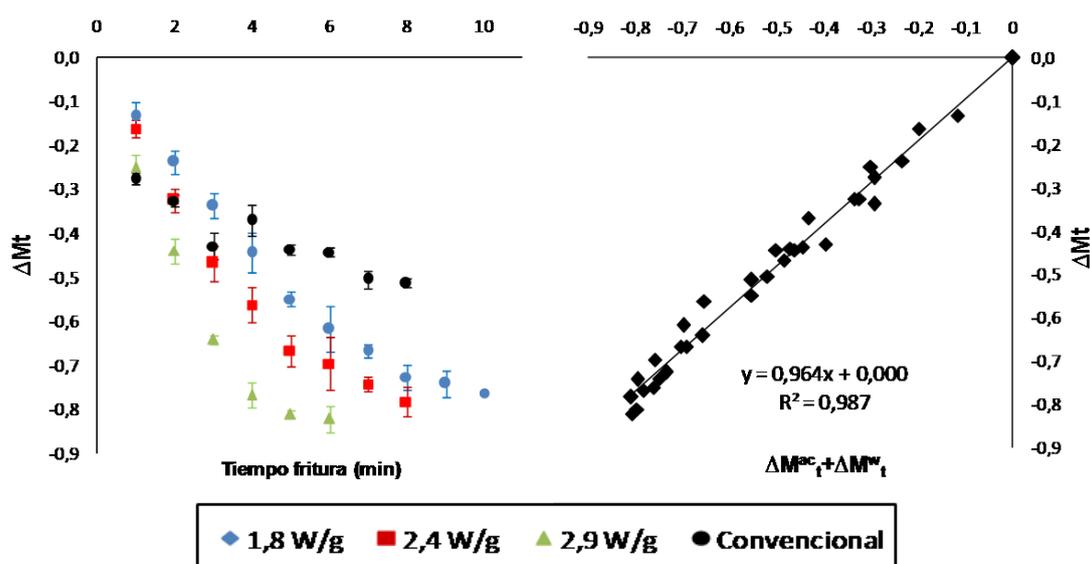


Figura 1. Evolución del flujo neto de masa total (ΔM_t) en los diferentes tipos de fritura, microondas y convencional (izquierda). Validación de la metodología llevada a cabo para la determinación de los flujos de materia, enfrentándose el flujo neto de masa total (ΔM_t) frente a la suma de los flujos de aceite (ΔM_t^{ac}) y agua (ΔM_t^w).

El registro de la temperatura del producto (TP) y del aceite (TA) durante la fritura se muestra en la Figura 2. A pesar de que el calentamiento de la patata tiene lugar por mecanismos diferentes en ambos tipos de fritura, ésta aumentó bruscamente al inicio hasta alcanzar los 100°C, temperatura que se mantiene constante durante todo el proceso con independencia de la técnica y potencia de microondas aplicada. En cuanto a la temperatura del aceite (TA), las diferencias en la temperatura de partida fueron ya de por sí importantes. Así, mientras que en la fritura por microondas se partió de aceite a temperatura ambiente, en la convencional se precalentó el aceite a 180°C. Los resultados muestran además, una clara influencia del nivel de potencia de microondas sobre la cinética de calentamiento del aceite, siendo ésta mayor cuanto mayor es la potencia aplicada.

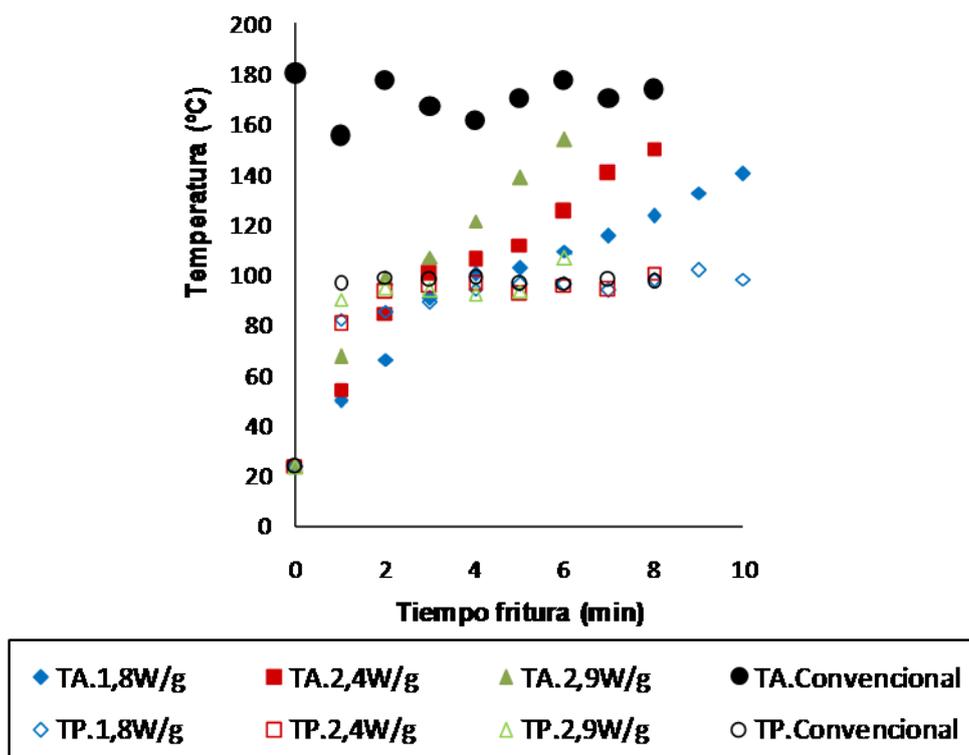


Figura 2. Evolución de las temperatura del aceite (TA) y de las patatas (TP) con el tiempo de fritura en los diferentes tratamientos, microondas y convencional.

Influencia del tiempo de fritura y de la potencia de microondas aplicada sobre los cambios composicionales del producto

En cuanto a la pérdida de agua se refiere, ésta fue más rápida, inicialmente, en la fritura convencional que en microondas (Figura 3) debido a la diferencia existente en la temperatura inicial del aceite (Figura 2); sin embargo, la pérdida de agua se ralentizó como consecuencia de la rápida formación de la corteza. Posteriormente, el calentamiento volumétrico propio de la aplicación de microondas provocó la vaporización y bombeo del agua desde el interior de la patata hacia la superficie, aumentando notablemente la velocidad de deshidratación del producto durante la fritura por microondas. Este fenómeno quedó patente con la drástica disminución de la fracción másica de agua del producto (x_t^w) a medida que avanza el proceso de fritura, siendo

ésta más rápida y acentuada a medida que aumenta la potencia aplicada (Figura 3).

De forma acoplada y en contracorriente a la salida de agua del producto, tiene lugar la ganancia de aceite que caracteriza todo proceso de fritura. El particular tipo de calentamiento que experimentan las muestras durante la fritura por microondas y el consiguiente bombeo de agua origina en la estructura de las patatas unos canales que, una vez alcanzado un nivel de humedad y temperaturas críticos, favorecen la entrada de aceite en el producto, tal y como se observa al comparar la evolución de la fracción másica de aceite (x_t^{ac}) bajo las diferentes condiciones de fritura (Figura 3).

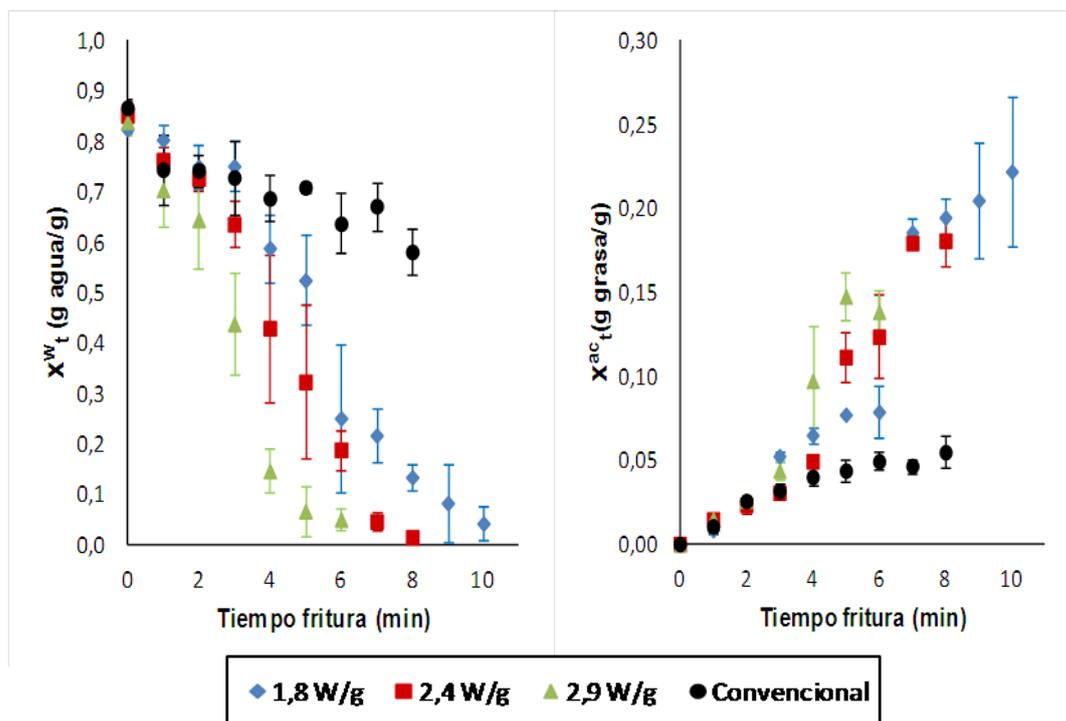


Figura 3. Evolución de la fracción másica de agua (x_t^w) y de aceite (x_t^{ac}) de las patatas con el tiempo de fritura en los diferentes tratamientos, microondas y convencional.

Los resultados obtenidos muestran que la fritura por microondas da como resultado un producto con un mayor contenido en aceite para un mismo tiempo de fritura. Sin embargo, desde la perspectiva de las características sensoriales obtenidas con la fritura por microondas, marcadas por un bajo contenido en humedad, la comparación de este producto sería más acertada con las patatas tipo *chips*. Estas últimas se caracterizan por tener un contenido en humedad entorno al 2% y un contenido en aceite elevado, entre un 35-45% (base húmeda), lo que otorga al producto una combinación única de textura y sabor muy apreciable por los consumidores. El objetivo de la industria es conseguir productos bajos en grasa que mantengan estas cualidades de sabor y textura (Pedreschi, 2005).

La fritura por microondas podría alcanzar dicho objetivo, ya que consigue aumentar la velocidad de deshidratación a la vez que logra reducir los contenidos en aceite en el producto final. Esta reducción en la absorción de aceite podría atribuirse al mayor flujo de vapor de agua desde el interior de las

patatas hacia la superficie, así como a los menores tiempos de fritura requeridos para alcanzar el nivel de deshidratación óptimo.

Los contenidos más altos en aceite obtenidos en la fritura a 1,8 W/g concuerdan con lo observado por otros autores, ya que parece que tiempos más largos y temperaturas de fritura inferiores conducen a un mayor contenido final de aceite en productos de patata fritos (Pedreschi, 2005).

La reducción en los contenidos de grasa conseguidos con la aplicación de microondas puede atribuirse además a la gelatinización de almidón en la superficie de las muestras en los primeros minutos de fritura, efecto observado también en el escaldado (Califano and Calvelo, 1987). Además, algunos autores apuntan que la activación de la pectinesterasa (con escaldados a 55-70°C) provoca una reducción de la porosidad de las patatas que da como resultado un descenso en la absorción de aceite (Aguilar *et al.* 1997).

Cabe resaltar la elevada variabilidad de los resultados obtenidos en la fritura a microonda, independientemente de la potencia aplicada. Esta elevada variabilidad también se produjo en las determinaciones de los parámetros de color y textura analizados posteriormente. A pesar de que el calentamiento por microondas es volumétrico y por lo tanto es más eficiente en comparación con otros métodos de calentamiento, no es uniforme siendo éste uno de los principales problemas asociados con el calentamiento por microondas. Debido al calentamiento heterogéneo algunas partes del material se calientan muy rápidamente, mientras que las regiones restantes se calientan en menor medida. Los parámetros que afectan en mayor grado a la falta de uniformidad son la profundidad de penetración, el flujo de microondas y la duración del tratamiento (Lobo and Datta, 1998).

Influencia del tiempo de fritura y potencia de microondas aplicada sobre la generación de acrilamida en patata

VALIDACIÓN DEL MÉTODO CROMATOGRÁFICO

Tal como se indica en materiales y métodos se estudió la linealidad, la precisión y la exactitud del método. A continuación se detalla los resultados para cada parámetro estudiado.

Linealidad

La linealidad se estudió con dos métodos: el primero con patrones puros y el segundo por el método de adiciones, fortificando patata frita. A partir de dicho estudio se concluyó que existe efecto matriz, ya que la pendiente en disoluciones era de 22,76 frente a la de 1,45 en fortificación en patata frita. Es por esto que se decidió utilizar para la cuantificación la curva con matriz frita y no la de patrones puros. El valor obtenido de R^2 fue de 0,9931, por encima de la tolerancia marcada (>0,99).

Exactitud (% recuperación)

Los resultados obtenidos de recuperación para los diferentes niveles estudiados se muestran junto con su coeficiente de variación (CV) en la tabla 1, habiéndose alcanzado en todos los niveles valores dentro del rango de tolerancia (recuperación (%) entre 80-120 y CV (%) <20).

Tabla 1. Rango de tolerancia (recuperación (%) y coeficiente de variación (%)) para los distintos niveles en patata fortificada frita por microondas a 1,765 W/g durante 2 min.

Nivel	ppb	Recuperación (%)	CV (%)
1	25	85 (12,54)	14,7
2	100	99 (11,98)	12,1
3	300	101 (8,94)	8,8
4	500	100 (7,09)	7,1

CONTENIDO EN ACRILAMIDA EN PATATA FRITA

El contenido en acrilamida (ppb) siguió una pauta diferente en función de la técnica de fritura (Figura 4), formándose más acrilamida durante la fritura convencional para tiempos de fritura equivalente. Durante la fritura convencional se observó un aumento gradual del contenido en acrilamida en función del tiempo de fritura, mientras que al aplicar energía de microondas se produjo un aumento claramente exponencial de este compuesto. El vapor de agua que atraviesa la matriz de la patata desde el interior hasta la superficie de contacto con el aceite mantendría los niveles de humedad de la corteza exterior, a la vez que arrastra parte de la acrilamida formada y sus precursores (Gertz et al., 2003), disminuyendo así el contenido de acrilamida en el producto final. Este mecanismo, observado en la fritura convencional por inmersión en aceite caliente, puede verse intensificado en la fritura por microondas al calentarse el producto desde el centro, aumentando así el flujo de vapor de agua (Belgin, 2007). En cuanto a la influencia del nivel de potencia de microondas aplicado, si bien se produjo más acrilamida a 2,4 W/g que a 1,8 W/g, la formación de este compuesto disminuyó a 2,9 W/g. Este hecho se puede observar claramente al comparar los primeros 5 minutos de fritura.

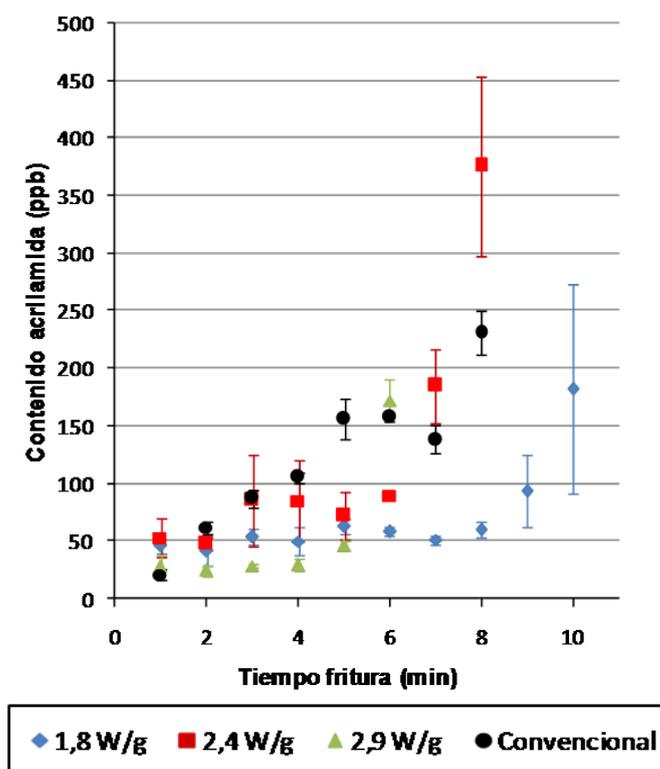


Figura 4. Evolución de la concentración de acrilamida (ppb) de las patatas con el tiempo de fritura en los diferentes tratamientos, microondas y convencional.

Como se puede observar, una vez alcanzado un determinado tiempo de fritura (5, 6 y 9 minutos a 1,8, 2,4 y 2,9 W/g, respectivamente) tuvo lugar un aumento drástico en el contenido en acrilamida. Este aumento podría ser atribuido a niveles críticos de deshidratación alcanzado a dichos tiempos, en los que desaparece el efecto protector del vapor de agua. Esto se corresponde bien con los resultados de diferentes estudios sobre la formación de acrilamida durante la fritura de patatas: la mayoría de la acrilamida se forma en la última fase del proceso de fritura, cuando el contenido de agua del producto llega a valores bajos (Amrein, 2006).

Cabe además resaltar los descensos puntuales de acrilamida registrados a los 4, 5 y 6 minutos a 2,4 W/g, 1,8 W/g y fritura convencional, respectivamente. Este descenso puede deberse al hecho de que la acrilamida es una sustancia reactiva y volátil que puede reaccionar y autodegradarse después de su formación. Descensos en la formación de acrilamida con la temperatura han sido probados en sistemas modelo (Mottram et al. 2002). Taubert et al. (2004) y Biedermann et al. (2002) ya apuntaron descensos en las concentraciones de acrilamida con tiempos largos de fritura y tras alcanzar cierta temperatura.

Influencia del tiempo de fritura y de la potencia de microondas aplicada sobre el color superficial y textura de las patatas fritas

El aspecto y el color de la superficie de las patatas es el primer parámetro de calidad evaluado por los consumidores y por lo tanto es un factor crítico para la aceptación del producto. Los consumidores tienden a relacionar el color con el sabor y nivel de satisfacción ya que este factor se correlaciona bien con las propiedades físicas, químicas y sensoriales (Pedreschi et al., 2006). La figura 5 muestra la evolución de las coordenadas de color del espacio CIEL*a*b* con el tiempo de fritura. Tal y como se puede observar, las coordenadas colorimétricas a* y b* experimentaron un aumento más acusado que en fritura convencional como consecuencia de la aplicación de microondas. Así, las potencias más altas, 2,4 y 2,9 W/g, permiten alcanzar valores positivos del parámetro a* en menos tiempo que por fritura convencional, por lo que el tiempo óptimo de fritura sería inferior en la fritura por microondas (Krokida et al., 2001). Estos cambios en los parámetros a* y b* dieron como resultado un aumento en la pureza de color (aumentan los valores de C*) y la desviación a tonos más próximos al rojo (pasando del segundo al primer cuadrante del plano cromático b*-a*).

En cuanto a la luminosidad (L*), no se observa una influencia clara de la técnica de fritura ni del nivel de potencia de microondas aplicado, si bien parece aumentar gradualmente en todos los casos debido a la ganancia de aceite, dado que este ingrediente aporta cierto brillo al producto, y disminuye a continuación como consecuencia del oscurecimiento de las muestras, coincidiendo con el momento en que las muestras pasan de presentar valores negativos de a* a valores positivos.

Por otro lado, la fritura con microondas provoca cambios importantes en la estructura de la patata, lo cual queda reflejado en los parámetros analizados en el ensayo de corte. Dicho cambio estructural se tradujo en un aumento significativo de los valores de la fuerza máxima aplicada ($F_{m\acute{a}x}$) respecto a los valores obtenidos para la fritura convencional, dando lugar a muestras más duras y crujientes (Figura 6).

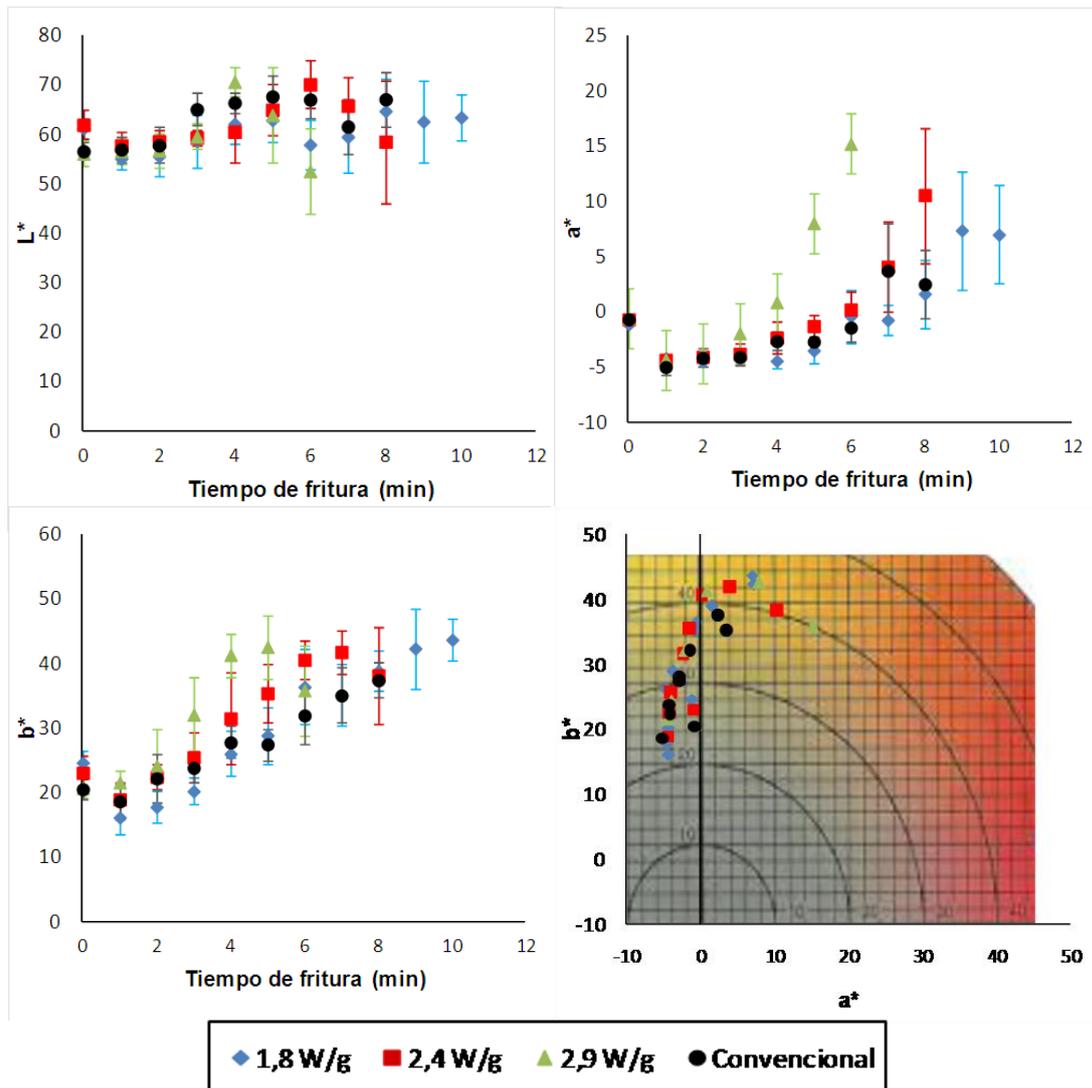


Figura 5. Evolución de los parámetros cromáticos L*, a* y b* con el tiempo de fritura en los diferentes tratamientos. microondas v convencional.

Con ninguna de las potencias y tiempos de fritura por microondas ensayados se logró obtener patatas con características de textura semejantes a las conseguidas con fritura convencional. En los primeros tiempos, dado que el aceite se mantenía a temperaturas por debajo de los 100°C, las muestras presentaban el aspecto de las patatas cocidas debido a la ausencia de la corteza característica conseguida por fritura convencional. Sin embargo, en los últimos tiempos de fritura ensayados, y como resultado de una deshidratación más intensa en toda la matriz de las patatas, se obtuvieron muestras con una textura más próxima a la de patatas tipo *crisps*. La sección transversal de las patatas mostraba una estructura interna totalmente vítrea, con numerosas cavidades formadas por la presión de vapor de agua alcanzada en el interior de las muestras durante la fritura por microondas. Este efecto en la estructura interna de las muestras ya ha sido observado por otros autores (efecto denominado “puffing” en inglés) y resulta de aplicación en la elaboración de *snacks* inflados (Yan *et al.*, 2009).

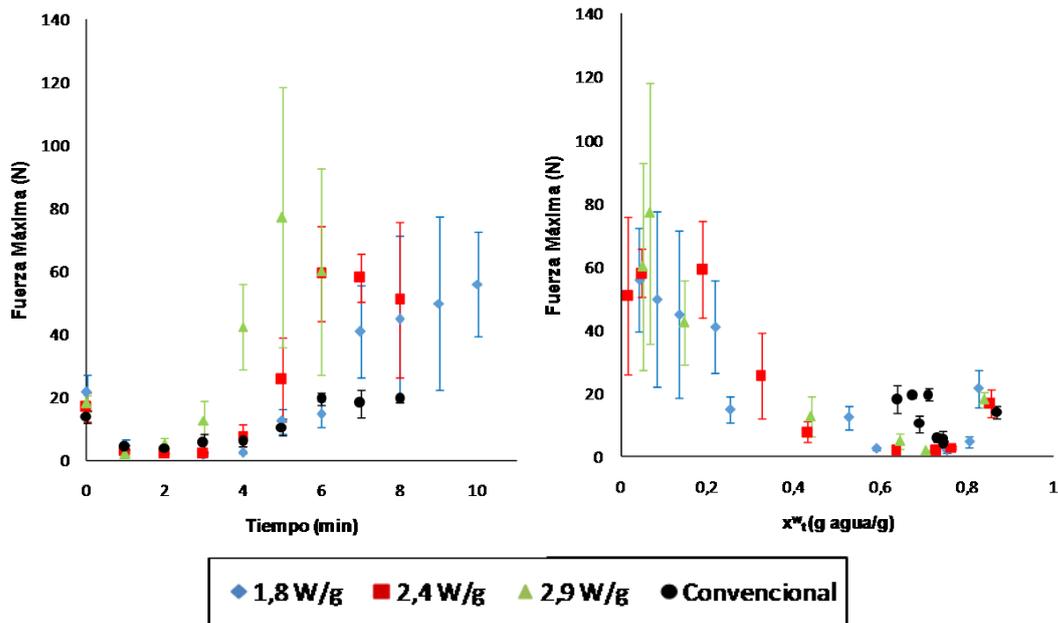


Figura 6. Evolución de la fuerza máxima aplicada ($F_{m\acute{a}x}$) con el tiempo de fritura y con la fracción másica de agua de las muestras (x_t^w) en los diferentes tratamientos, microondas y convencional.

Por último resaltar que la correlación entre la fracción másica de agua de las patatas y su dureza (Figura 6), es coherente con los flujos anteriormente descritos, observándose un reblandecimiento inicial como consecuencia de la deshidratación y pérdida de turgencia celular y un posterior endurecimiento a niveles de humedad bajos como consecuencia de la transición del estado gomoso al vítreo, tanto más acusado en la fritura por microondas y directamente proporcional a la potencia aplicada.

Influencia de la técnica de fritura en las propiedades del aceite de fritura

Los resultados de la medida de transmitancia en el aceite a lo largo del proceso de fritura indican que durante la fritura por microondas partiendo de aceite a temperatura ambiente, se produce una emulsión agua en aceite como consecuencia de la vaporización interna del agua de las muestras y su posterior condensación en la superficie del producto debido a la baja temperatura inicial del aceite. Como resultado de este fenómeno, la emulsión de agua en aceite que se forma, modifica las propiedades dieléctricas del medio contribuyendo a un calentamiento más rápido del aceite que el que se observa en el aceite puro a la misma potencia.

La formación de esta emulsión tuvo además un importante efecto sobre las propiedades ópticas del aceite, reduciendo notablemente su translucidez. Sin embargo, una vez el aceite supera los 100°C y el agua comienza a evaporarse, el aceite tiende a aumentar su translucidez aunque no se llega a alcanzar el valor inicial (Figura 7).

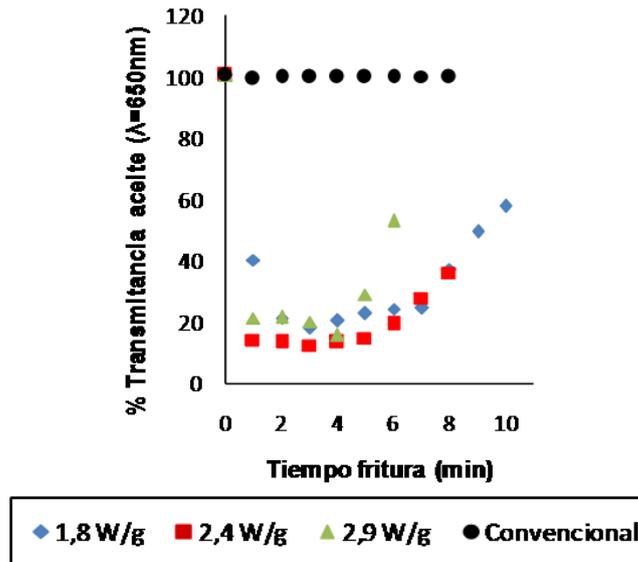


Figura 7. Evolución del %transmitancia del aceite de fritura con el tiempo de fritura en los diferentes tratamientos, microondas y convencional.

Valores de los parámetros analizados al tiempo óptimo de fritura seleccionado

Se compararon los tiempos óptimos de fritura a cada potencia de microondas aplicada, considerando éste como aquel tiempo en el que la coordenada colorimétrica a^* toma valores positivos, ya que se puede considerar que las patatas fritas presentan una tonalidad óptima (color) cuando el parámetro a^* presenta valores comprendidos entre 0 y -5 y b^* superiores a 10 (Krokida et al., 2001).

En cuanto a la variación de masa total de las muestras, el análisis estadístico simple de la varianza (ANOVA simple) mostró diferencias significativas entre todas las potencias de microondas aplicadas y la fritura convencional, consiguiéndose con la aplicación de microondas mayores reducciones de masa. De manera paralela, se encontraron diferencias significativas en la fracción másica de agua y aceite entre la fritura por microondas y fritura convencional, obteniéndose con la aplicación de microondas muestras con un menor contenido en agua y un mayor contenido en aceite. El análisis estadístico mostró por otro lado que la aplicación de microondas resulta una técnica efectiva para reducir significativamente la concentración de acrilamida en el producto final, aumentando dicha reducción con la aplicación de mayores potencias.

Respecto al color superficial de las muestras las potencias de 2,4 y 2,9 W/g mostraron diferencias significativas respecto a la fritura convencional en las tres coordenadas del espacio de color CIEL^{*} a^*b^* , mientras que a la potencia de 1,8 W/g sólo se observaron diferencias en la coordenada b^* . Por último, en cuanto a la textura de las patatas fritas se encontraron marcadas diferencias entre la fritura por microondas y la fritura convencional, obteniéndose con la aplicación de microondas muestras más duras.

Tabla 2. Valoración de los parámetros analizados a los tiempos de fritura óptimos considerados.

Parámetro	1,8 W/g (8 min)	2,4 W/g (6 min)	2,9 W/g (4 min)	Convencional (7 min)
ΔM_t	-0,73(0,03) ^{bc}	-0,70(0,02) ^c	-0,77(0,03) ^b	-0,51(0,02) ^a
x_t^w	0,13(0,03) ^b	0,19(0,04) ^c	0,15(0,04) ^{bc}	0,67(0,05) ^a
x_t^{ac}	0,19(0,01) ^b	0,12(0,02) ^c	0,10(0,03) ^c	0,05(0,004) ^a
Acrilamida (ppb)	60(7) ^b	90(2) ^c	30(6) ^d	138(12) ^a
L*	64,60(6,57) ^a	69,99(4,76) ^b	70,51(2,82) ^b	61,48(5,49) ^a
a*	1,59(3,08) ^{ab}	0,17(1,58) ^b	0,81(2,07) ^b	3,68(4,31) ^a
b*	38,80(3,18) ^b	40,51(3,06) ^b	41,26(3,37) ^b	34,99(4,25) ^a
a*/b*	-2,66(36,18) ^{ab}	-18,25(45,84) ^b	4,55(51,09) ^a	1,56(14,41) ^a
F_{máx}	44,95 (26,39) ^b	59,28(15,18) ^b	44,44(13,45) ^b	18,10(4,33) ^a

^{abc} Diferencias significativas debidas a la aplicación de microondas (p-valor < 0,05)

CONCLUSIONES

La técnica de fritura por microondas sin precalentamiento del aceite, no resulta adecuada para la elaboración de patatas tipo *French fries* con características sensoriales semejantes a las obtenidas en fritura convencional por inmersión en aceite caliente. Se obtuvieron muestras con un menor contenido en humedad, mayor contenido en aceite, y con una textura más dura y crujiente. Sin embargo, en cuanto al contenido en acrilamida la aplicación de microondas permite reducir notablemente las cantidades presentes en el producto final, consiguiéndose una mayor reducción al aumentar la potencia aplicada. Este efecto puede atribuirse a la reducción en los tiempos de fritura, a la disminución de la temperatura de operación, y especialmente al efecto protector que ejerce el flujo de vapor de agua desde el centro de las muestras, arrastrando tanto la acrilamida formada como sus precursores.

Las características sensoriales del producto obtenido con la técnica de fritura por microondas sin precalentamiento del medio, lo hacen comparable con las patatas fritas tipo *chips*, frente a las cuales presentan un menor contenido en aceite. Con la aplicación de microondas se ha conseguido intensificar los fenómenos de transporte de agua y con ello la velocidad de deshidratación, lo que se traduce en una reducción considerable del tiempo de fritura requerido en la fritura por inmersión en aceite caliente para alcanzar los mismos niveles de humedad.

La principal limitación que presenta la aplicación de microondas en las operaciones de fritura es la baja uniformidad en el calentamiento del medio y del producto, lo que se refleja en una mayor heterogeneidad del producto final. Resulta imprescindible por tanto, mejorar la uniformidad del calentamiento por microondas mediante el diseño de nuevos equipos y la optimización de los parámetros de operación para cada tipo de producto (geometría del producto, tiempo de tratamiento, potencia aplicada, etc.).

REFERENCIAS

- Aguilar, C. N, Anzaldúa-Morales, R., Talama's, R., & Gaste'lum, G. (1997). Low-temperature blanch improves textural quality of French-fries. *Journal of Food Science*, 62, 568-571.
- Amrein, T., Limacher, A., Conde-Petit, B. Amadò, R., and Escher, F. (2006). Influence of thermal processing conditions on acrylamide generation and browning in a potato model system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54, 5910-5916.
- Astigarraga-Urquiza, J.; Astigarraga-Aguirre, J. (1995). *Hornos de alta frecuencia y microondas. Teoría, cálculo y aplicaciones*. Mc Graw-Hill.
- Belgin Erdogdu, S. (2007). Reduction of acrylamide formation in French fries by microwave pre-cooking of potato strips. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87,133–137.
- Blau, R., Powell, M., and Gerling, J.E. (1965). Results of 2450 megacycle microwave treatments in potato chip finishing. Processing, Production and Technology división Meetings, Potato Chip Institute International. 1-8.
- Califano, A. N., & Calvelo, A. (1987). Adjustment of Surface concentration of reducing sugars before frying of potato strips. *Journal of Food Processing and Preservation*, 12, 1-9.
- Fito, P., Andrés, A., Barát, J., Abors, A. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Gertz, C., Klostermann, S., Kochhar P. (2003). Deep frying: the role of water from food being fried and acrylamide formation. *Oléagineux Corps Gras Lipides*. 10 (4), 297-303.
- Gökmen, V. and Senyuva, H.Z. (2007). Acrylamide formation is prevented by divalent cations during the Maillard reaction. *Food Chemistry*103 (2007) 196–203.
- Granda, C. and Moreira, R. (2005). Kinetics of acrylamide formation during traditional and vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Process Engineering*. 28, 478–493.
- Grand, C. Moreira, R. and Tichy, S. (2004). Reduction of Acrylamide Formation in Potato Chips by Low-temperature Vacuum Frying. *Journal of Food Science*. 69(8).
- Jung, M.Y., Choi, D.S., and Ju, J.W. (2003). A novel technique for limitation of acrylamide formation in fried and baked corn chips and in french fries. *Journal of Food Science*. 68(4), 1287-1290.
- Krokida, M.K., Oreopolou, V., Maroulis, Z.B. & Marinos-Kouris, D. (2001). Deep fat frying of potato-strips-quality issues *Drying Technology*, 19, 879-935.
- Lipoma, S.P., and Watkins, H.E. (1968). Process for Making fried chips. US Patent no. 3,365,301.
- Lobo, S., and Datta, A. K. (1998). Characterization of spatial non-uniformity in microwave reheating of high loss foods. *The Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 33, 158–166.
- Maskan, M. (2001). Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48, 177-182.
- Mestdagh, F., De Wilde, T., Fraselle, S., Govaert, Y., Ooghe, W., Degroodt, J., Verhé, R., Van Peteghem, C., and De Meulenaer, B. (2008). Optimization of the blanching process to reduce avrylamide in fried potatoes. *Food Science and Technology*. 41(9), 1648-1654.
- Miranda, M.L., and Aguilera, J.M. (2006). Structure and texture properties of fried potato products. *Food Rev*. 22: 173-201.
- Mottram, D.S., Wedzicha, B.L. and Dodson, A.T. (2002). Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature* 419, 448–449.
- Oztop, M.H., Sahin, S., and Sumnu, G. (2007). Optimization of microwave frying of potato slices by using Taguchi technique. *Journal of Food Engineering*. 79: 83-91.
- Pedreschi, F., Kaack, and K., Granby. (2004). Reduction of acrylamide formation in potato slices during frying. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*. 37, 679–685.
- Pedrechi, F. and Moyano, P. (2005). Oil uptake and texture development in fried potato slices. *Journal of Food Engineering*. 70(4), 557-563.
- Pedreschi, F., Leon, J., Mery, D., & Moyano, P. (2006). Implementation of a computer vision system to measure the color of potato chips. *Food Research International*, 39, 1092–1098.
- Pedrischi F., Bustos, O., Mery, D. et al. (2007). Colour kinetics and acrylamide formation in NaCl soaked potato chips. *Journal of Food Engineering*, 79, 989–997.
- Pedreschi, F., Kaack, K., Granby, K., and Troncoso E. (2007). Acrylamide reduction under different pre-treatments in French fries. *Journal of Food Engineering*. 79(4), 1287-1294.
- Smith, O., and Davis, C.O. (1965). Use Microwaves in batch preparation of potato chips. *Proceedings of the 15th National Potato Utilisation Conference*. 15-57.

- Sansano, M., Andrés, A. and Heredia, A. (2011). Estudio de la influencia del tipo de pre-tratamiento sobre la reducción de la generación de acrilamida durante la fritura de patatas en aceite. Trabajo Final de Máster. Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo. Universidad Politécnica de Valencia.
- Stuerga, D. (2006). Microwave-Material Interactions and Dielectric Properties, Key Ingredients for Mastery of Chemical Microwave Processes. Weinheim, Germany. Edited by A. Loupy Copyright.
- Tae Kim, C., Hwang, E., and Joo Lee, H. (2005). Reducing acrylamide in fried snack products by adding amino acids. *Journal of Food Science*. 70(5), 354-358.
- Tareke, E., Rydberg, P., Karlsson, P., Eriksson, S., and Törnqvist, M. (2002). Analysis of Acrylamide, a Carcinogen Formed in Heated Foodstuffs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50, 4998-5006.
- Taubert, D., Harlfinger, S., Henkes, L., Berkel, R. and Schomig, E. (2004). Influence of processing parameters on acrylamide formation during frying of potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52, 2735–2739.
- Tuta, S., Palazoglu, T.K., and Gökmen, V. (2010). Effect of microwave pre-thawing of frozen potato strips on acrylamide level and quality of French fries. *Journal of Food Engineering*. 97: 261-266.
- Wang, J., Xiong Y., and Yu, Y. (2004). Microwave dring characteristics of potato and the effect of different microwave powers on the dried quality of potato. *Eur. Food Res. Technol*. 219:500-506.
- Yan, W., Zhang, M., Huang, L., Tang, J., Mujumbar, A.S., and Sun, J. (2009). Study of the optimization of puffing characteristics of potato cubes by spouted bed drying enhanced with microwave. *J. Sci. Food Agri*. 90, 1300-1307.