

Efecto del ácido fumárico en las características de calidad de *muffins*¹

Juan David López Ochoa², Mariana Cardona Betancur³, Eduardo Rodríguez Sandoval⁴

Resumen

Introducción. El ácido fumárico se utiliza en la industria alimenticia como agente reductor, mejorador de textura, agente de leudado, regulador de pH y agente conservante. **Objetivo.** Evaluar los efectos del ácido fumárico encapsulado y sin encapsular en las propiedades de calidad de *muffins*. **Materiales y métodos.** El ácido fumárico con y sin encapsulante se incorporó a una formulación de *muffins* a un nivel de 0.25 y 0.125 g / g peso seco de harina de trigo. Las propiedades evaluadas fueron actividad de agua, pérdida de peso, altura, volumen específico, parámetros de color y propiedades texturales de *muffins*. Además, se verificó el comportamiento, durante el almacenamiento, de la firmeza y aceptación sensorial de una muestra sin ácido fumárico (control) y el tratamiento que presentó los mejores resultados en las pruebas de calidad. **Resultados.** Los niveles de adición de ácido fumárico utilizados no afectaron significativamente la actividad de agua, pérdida de peso, altura y parámetros de color de las muestras. La formulación seleccionada para evaluar el comportamiento en el almacenamiento durante 8 días fue la que contenía 0.25 % de ácido fumárico encapsulado con respecto a la harina de trigo por tener el mayor volumen y los menores valores de firmeza. **Conclusión.** Los *muffins* con ácido fumárico encapsulado a 0.25 % presentaron menor firmeza que la muestra control durante todo el tiempo de almacenamiento. Además, no se obtuvieron diferencias significativas en las características

sensoriales de estos *muffins*, comprobando la efectividad de este aditivo como mejorador de la calidad en productos de repostería.

Palabras clave: ácido fumárico encapsulado, farinógrafo, textura, *muffins*.

Effect of fumaric acid on the quality characteristics of muffins

Abstract

Introduction. Fumaric acid is used in the food industry as a reducing agent, texture improver, leavening agent, pH regulator and preservative. **Objective.** Evaluate the effects of encapsulated and non-encapsulated fumaric acid on the quality properties of muffins. **Materials and methods.** Fumaric acid with and without encapsulant was incorporated into a muffins formulation at a level of 0.25 and 0.125 g/g of wheat flour on a dry weight basis. Water activity, weight loss, height, specific volume, color parameters and textural properties of muffins were evaluated. In addition, the storage behavior of the firmness and sensory acceptance of a sample without fumaric acid (control) and the treatment that presented the best results in the quality tests was assessed. **Results.** The levels of fumaric acid used in muffins did not significantly affect the water activity, weight loss, height and color parameters of the samples. The formulation selected to evaluate the storage

1 Artículo original derivado del proyecto de investigación: "Efecto de la adición de ácido fumárico sobre las propiedades organolépticas y de calidad de *muffins*" realizado por la empresa Anhidridos y Derivados de Colombia –Andercol– S. A., con la asesoría del Laboratorio de Control de Calidad de Alimentos-Área de Farinología de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, durante el período 2015-2016.

2 Ingeniero químico. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Practicante en Investigación y Desarrollo de la empresa Anhidridos y Derivados de Colombia (ANDERCOL). ORCID: 0000-0002-5443-3587

3 Ingeniera química. Magíster en Ingeniería, especialista en Investigación y Desarrollo de Anhidridos y Derivados de Colombia (ANDERCOL). ORCID: 0000-0002-9011-0865

4 Ingeniero químico. Doctor Ingeniería de Alimentos. Profesor asociado. Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, ORCID: 0000-0001-9146-2419.

Autor para correspondencia: Eduardo Rodríguez-Sandoval, e-mail: edrodriguez@unal.edu.co

Artículo recibido: 01/03/2017; Artículo aprobado: 15/09/2017

behavior for 8 days was the sample with 0.25 % of encapsulated fumaric acid with respect to wheat flour because it had the highest volume and the lowest values of firmness. **Conclusion.** The muffins with 0.25 % encapsulated fumaric acid had lower firmness than the control sample during the storage. Moreover, no significant differences were found in the sensory characteristics of these two samples, proving the effectiveness of this additive as a quality improver in bakery products.

Key words: encapsulated fumaric acid, farinograph, texture, *muffin*.

Efeito do ácido fumárico sobre as características de qualidade dos queques

Resumo

Introdução. O ácido fumárico é utilizado na indústria alimentar como um agente redutor, melhorador de textura, agente de fermentação, regulador do pH e conservante. **Objetivo.** Avaliar os efeitos do ácido fumárico encapsulado e não encapsulado nas propriedades de qualidade de queques. **Materiais e Métodos.** Ácido fumárico com e sem encapsulante juntou queques formulação a um nível de 0.25

e 0.125 g / g de peso seco de farinha de trigo. As propriedades avaliadas foram atividade de água, perda de peso, altura, volume específico, parâmetros de cor e propriedades de textura de muffins. Além disso, o comportamento em armazenamento de firmeza e aceitação sensorial de uma amostra sem ácido fumárico (controle) e tratamento apresentou os melhores resultados em testes de qualidade verificada. **Resultados.** Não houve diferenças significativas nos níveis de adição de ácido fumárico utilizado na actividade de água, obteve-se perda de peso, altura e cor parâmetros das amostras. A formulação seleccionada para avaliar o desempenho em armazenamento durante 8 dias foi a amostra que contém 0.25 % de ácido fumárico encapsulado em relação à farinha de trigo por ter o maior volume e os menores valores de firmeza. **Conclusão.** Queques com ácido fumárico encapsulados para 0.25 % tiveram menor firmeza do que a amostra de controle ao longo do tempo de armazenamento. Além disso, não houve diferenças significativas foram obtidos nas características sensoriais destas duas amostras, a verificação da eficácia deste aditivo como o improver da qualidade em produtos de panificação e confeitaria.

Palavras chaves: ácido fumárico encapsulado, farinografia, textura, *queques*.

Introducción

El ácido fumárico es un ácido orgánico dicarboxílico insaturado con múltiples aplicaciones en la industria alimenticia debido a la conformación de su estructura molecular. Sus principales usos son como agente reductor, mejorador de textura, agente de leudado, regulador de pH y agente conservante (Yang, Zhang, Zhang y Huang, 2011). En productos de panificación, el ácido fumárico actúa como mejorador de textura gracias a sus propiedades reductoras únicas, donde, al romper los puentes bisulfuro de las proteínas de la harina de trigo, torna la masa más suave y maleable, lo que mejora la textura del producto y disminuye la energía consumida en el amasado (Schroeder y Hosene, 1978; Sidhu, Nordin, y Hosene, 1980). Este ácido actúa también como mejorador de textura en alimentos batidos y esponjosos, por ejemplo, en *muffins*, tortas, bizcochos, panqueques, *waffles*, donas y galletas, y puede ser adicionado a masas refrigeradas para generar productos más ligeros y prevenir la cristalización de fosfatos que son incluidos en algunos polvos de hornear. El ácido fumárico provee sabor instantáneo en panes

agrios o de centeno, eliminando la necesidad de la fermentación para el desarrollo del sabor. Por otro lado, confiere estabilidad a la espuma preparada con albúmina de huevo. Además, aumenta el tiempo de vida de anaquel de estos productos, debido a que presenta sinergia con la mayoría de los ingredientes utilizados en panadería como las enzimas, gomas, conservantes, entre otros (Gould, 1996).

En productos leudados químicamente, como los *muffins*, las galletas, los pasteles, los panes planos, entre otros, el ácido fumárico actúa como ácido leudante, reaccionando con el compuesto básico de este aditivo (leudante) para producir CO₂ y proporcionar el volumen específico final al producto. Por lo general, en este tipo de productos se emplean polvos de hornear de doble acción que contienen una parte de la base leudante (bicarbonato de sodio o potasio), dos ácidos leudantes como el pirofosfato de sodio y el fosfato monocálcico. Cuando se utiliza ácido fumárico como agente reductor y acidulante, este puede reemplazar los dos ácidos leudantes mencionados previamente, y tener el mismo efecto funcional o incluso mejorarlo, contribuyendo de

este modo a la disminución de aditivos en las formulaciones y obteniendo productos alineados a las nuevas tendencias saludables del mercado.

Los ácidos orgánicos, entre los que se encuentra el ácido fumárico, son clasificados como ácidos de acción rápida, motivo por el cual se han venido implementando en los últimos años tecnologías de encapsulación que permitan disminuir su dosificación en las formulaciones de productos de panificación y repostería, permitiendo una liberación controlada de los mismos y favoreciendo propiedades como la homogeneidad, suavidad y textura de los productos terminados (Cepeda, Waniska, Rooney y Bejosano, 2000).

Aunque se han encontrado estudios de los efectos del ácido fumárico en las propiedades de algunos productos de panificación como pan árabe, tortillas y galletas (Abu-Ghoush *et al.*, 2008; Cepeda *et al.*, 2000; Koh y Ng, 2008) no se tiene información respecto a sus efectos en productos batidos tipo *muffin*. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del ácido fumárico encapsulado y sin encapsular sobre las propiedades relacionadas con la calidad de *muffins*. Además, se verificó el comportamiento farinográfico del ácido fumárico al mezclarlo con harina de trigo y se efectuó un estudio de almacenamiento de producto con y sin ácido fumárico.

Materiales y métodos

Materiales

En la preparación de las muestras se utilizó harina de trigo comercial (Molino 3 Castillos, Cartagena, Colombia) con un porcentaje de humedad del 13.1 %; el ácido fumárico de referencia E (encapsulado) y R (sin encapsular) fueron proporcionados por ANDERCOL S. A. (Medellín, Colombia); el propionato de calcio (Real S. A., Cartagena Colombia); el polvo de hornear (Carolesen, Colorisa S. A., La Estrella, Colombia), azúcar micro pulverizada (Santa Ana, Dulces Flower, Itagüí, Colombia) y demás ingredientes fueron obtenidos de distribuidoras locales.

Análisis farinográfico

Para evaluar el efecto del ácido fumárico sobre las propiedades reológicas de las masas de harina de trigo, se empleó un farinógrafo (Farinógrafo®-AT, Brabender® GmbH y Co. KG, Duisburg, Germany) conforme al método AACC 54-21 (AACC, 2000). Las mezclas de harina de trigo y ácido fumárico que se evaluaron en esta prueba están relacionadas con las formulaciones aplicadas a los *muffins*, y fueron: M0, compuesto por harina de trigo (99 %), polvo

de hornear (0.5 %), y propionato de calcio (0.5 %); ME0.25, conformado por harina de trigo (99 %), polvo de hornear (0.5 %), propionato de calcio (0.25 %), y ácido fumárico referencia E (0.25 %); MR0.25, el cual tiene harina de trigo (99 %), polvo de hornear (0.5 %), propionato de calcio (0.25 %), y ácido fumárico referencia R (0.25 %); ME0.125 compuesto por harina de trigo (99.5 %), polvo de hornear (0.25 %), propionato de calcio (0.125 %), y ácido fumárico referencia E (0.125 %); MR0.125, conformado por harina de trigo (99.5 %), polvo de hornear (0.25 %), propionato de calcio (0.125 %), y ácido fumárico referencia R (0.125 %). Las variables analizadas fueron la absorción de agua de la harina, el tiempo de desarrollo de las masas, la estabilidad de la masa (cuánto se puede amasar antes de perder las características adquiridas), el índice de tolerancia al mezclado (MTI) y el tiempo que requiere cada tratamiento para alcanzar la consistencia ideal.

Preparación de muestras

Para la preparación de los *muffins* se empleó una formulación base que contenía 100 % de harina de trigo, 75 % de azúcar micropulverizada, 60 % de huevos; 43.5 % de leche, 28 % de mantequilla y 28 % de margarina, 0.6 % de esencia, 0.5 % de propionato de calcio como agente conservante y 0.3 % de sal. Se prepararon 5 tratamientos, una muestra control con la formulación base anteriormente descrita, *muffins* reemplazando el 50 % de la cantidad en peso con respecto a la harina de trigo del agente conservante (propionato de calcio) por ácido fumárico referencia E y R, tratamientos FE0.25 y FR0.25, respectivamente, y muestras reduciendo en un 50 % la cantidad en peso del agente conservante, ácido fumárico y agente leudante (polvo de hornear) empleados en los tratamientos FE0.25 y FR0.25, los cuales se denominan tratamientos FE0.125 y FR0.125 para los ácidos fumáricos E y R, respectivamente. Cada tratamiento se realizó por triplicado, y el orden de preparación fue aleatorizado.

La elaboración de los *muffins* se llevó a cabo en 4 etapas, empleando una batidora (Artisan KSM150, KitchenAid, St Joseph, MI.) con un accesorio plano (batidor plano K5THCB, KitchenAid, U. S.). Durante el cremado se mezclaron la mantequilla, el azúcar y la margarina a diferentes velocidades de mezclado: 62 rpm (1 min), 83 rpm (1 min), 140 rpm (2 min), 189 rpm (3 min). Posteriormente, se adicionaron lentamente los huevos a una velocidad de 83 rpm; a medida que se adicionó cada huevo se aumentó la velocidad a 140 rpm durante 15 s para aumentar la homogeneización y la aireación del producto. Luego, se incorporaron al batido los sólidos restantes (harina de trigo, sal, agente leudante y agente conservante), a una velocidad de 62 rpm. Por último, se adicionaron

la leche y la esencia, a una velocidad de 83 rpm y se mezclaron por 15 s más a una velocidad de 140 rpm. El batido se vertió en moldes para *muffins*, en porciones de 40 g cada uno. El proceso de horneado se llevó a cabo en un horno con doble control de temperatura GFO-4B, a 205 °C (T inferior) y 215 °C (T superior) durante 19.5 min. Luego, los *muffins* fueron desmoldados, enfriados durante 30 min a temperatura ambiente (25-28 °C) y empacados en bolsas de polietileno por 24 h a 25 °C para su posterior análisis.

Propiedades de calidad del *muffin*

Para evaluar el efecto del ácido fumárico E y R sobre las propiedades de calidad de los *muffins*, primero se procedió a evaluar el pH del batido mediante un potenciómetro (pH 211, HANNA Instruments, Italia) y su gravedad específica empleando una caja de Petri (AACC, 2000; Goswami, Gupta, Mridula, Sharma, y Tyagi, 2015). Las mediciones se efectuaron por triplicado.

Asimismo, se analizó el color de la miga de los *muffins* en el espacio CIELab con Iluminante D65 10° (Manjarrés-Pinzón, Cortés-Rodríguez, y Rodríguez-Sandoval, 2013) mediante un espectro colorímetro de esfera (Modelo SP64, X-Rite Inc., MI), a partir de los valores de L* (luminosidad), a* (posición entre rojo y verde) y b* (posición entre amarillo y azul), se calcularon los valores de h* (tono), C* (saturación) y ΔE (diferencia total de color) (Goswami *et al.*, 2015). La altura media del producto se determinó mediante un pie de rey digital (500-172-30 Absolute digimatic, Mitutoyo, Aurora, IL) (Goswami *et al.*, 2015), tomando una medida desde el punto más alto del producto hasta su base. La medida se realizó por triplicado. El rendimiento se calculó por diferencia gravimétrica antes y posterior al horneado y reposo (Goswami *et al.*, 2015). Se realizaron 6 repeticiones por tratamiento. El pH del producto final se determinó con base en el método AACCI 02-52.01 (AACC, 2000). La humedad de la miga se determinó mediante diferencia gravimétrica método AACC 44-19 (AACC, 2000). La medida se realizó por triplicado. La actividad de agua se midió mediante un higrómetro de punto de rocío (AquaLab Serie 3TE, Decagon Devices, Inc., Pullman WA) (Manjarrés-Pinzón *et al.*, 2013). La medida se realizó por triplicado. El volumen específico se determinó con el método de desplazamiento de semillas de mijo (Rodríguez-Sandoval, Polanía-Gaviria, y Lorenzo, 2017). Se realizaron 6 repeticiones por muestra.

El análisis de perfil de textura (TPA) se efectuó utilizando un analizador de textura (TA-XT2i, Stable Micro Systems, Godalming, U. K.). En la preparación

de las muestras para la prueba de TPA, los *muffins* se cortaron horizontalmente a 25 mm desde la base, descartando su parte superior (Goswami *et al.*, 2015). Se realizó una prueba de doble compresión con una sonda cilíndrica plana de 75 mm de diámetro (SMSP / 75) a una deformación del 50 % (12.5 mm), con velocidades de 1 mm / s (pre test), 1 mm / s (test) y 10 mm / s (pos-test) y un tiempo de espera de 5 s entre compresiones. Se midieron la dureza (N), la elasticidad, la cohesividad, la masticabilidad (N) y la resiliencia. Se realizaron 7 repeticiones por muestra. La firmeza se determinó con base en el método AACC 79-09 (AACC, 2000), preparando muestras de 25 mm de altura desde la base, utilizando el mismo analizador de textura mencionado anteriormente y una sonda de 12.5 mm de diámetro (SMSP / 12.5). Se comprimió hasta un 40 % de su altura original (10 mm), con velocidades de 1 mm / s (pre test), 1.7 mm / s (test) y 10 mm / s (pos-test).

Pruebas de almacenamiento

Para las pruebas de almacenamiento se evaluaron dos tratamientos. El primero fue el tratamiento control (sin ácido fumárico) y el segundo correspondió a las muestras que tuvieron los mejores resultados, según las mediciones de calidad y propiedades texturales evaluadas previamente. Se empleó la misma preparación para elaborar los *muffins* y se almacenaron en bolsas de polietileno a temperatura ambiente durante 8 días. Las variables analizadas fueron el pH, la humedad y la firmeza, conforme a los métodos expuestos anteriormente en los siguientes días de almacenamiento: 1, 2, 3, 4, 7 y 8.

Para evaluar el efecto del acidulante en el almacenamiento y sabor de las muestras, en el día 4 se aplicó una prueba de aceptación con escala hedónica de 9 puntos (Watts, Ylimaki, Jeffery y Elías, 1992), calificando, además, 5 características del producto (color, textura, sabor, apariencia y aroma) bajo la misma escala con un panel de 80 personas, 44 hombre y 36 mujeres con un rango de edad entre 18 y 56 años. Cada muestra de 20 g se codificó con números aleatorios de 3 dígitos. Las muestras de cada tratamiento se presentaron en orden aleatorio a los panelistas y se les pidió que calificaran su percepción general y su apreciación respecto a color, textura, sabor, apariencia y aroma de cada muestra de acuerdo con una escala de 1 a 9, siendo 1 “Me disgusta muchísimo” y 9 “Me gusta muchísimo”.

Análisis estadístico

En este estudio se empleó un análisis de varianza de una sola vía (formulación). El análisis estadístico

fue realizado en el programa Minitab (Minitab Inc. EE. UU.) y las medias fueron comparadas con el test de Tukey, con un nivel de significancia de 0.05. Los datos se expresaron como la media \pm la desviación estándar.

Resultados

Propiedades reológicas de la masa

En la tabla 1 se presentan los resultados del tiempo de desarrollo, absorción de agua, estabilidad, tiempo de arribo y MTI de las mezclas de harina de trigo, polvo de hornear, propionato de calcio y ácido fumárico. Se encontró un mayor requerimiento de agua en las mezclas con ácido fumárico, en contraste con la mezcla sin ácido fumárico (M0). Se puede observar que los tratamientos que tuvieron menor contenido de bicarbonato de sodio, propionato de calcio y ácido fumárico (ME0.125 y MR0.125) requirieron mayor cantidad de agua para alcanzar la consistencia deseada de la masa.

Los tratamientos ME0.125 y MR0.125 presentaron los menores valores de tiempo de arribo, posiblemente a causa de la menor cantidad de agente leudante y ácido fumárico usada en su formulación. El tiempo de desarrollo y la estabilidad de la masa presentan una clara reducción frente a la adición de fumárico, al igual que un incremento en el índice de tolerancia al mezclado (MTI), lo que sugiere una menor fuerza estructural de la red de gluten. Estas diferencias son aún mayores en aquellas mezclas con fumárico referencia R, posiblemente debido a una mayor disponibilidad del ácido en la mezcla por la ausencia del encapsulamiento.

Propiedades del batido

Los valores de la gravedad específica y el pH del batido de los diferentes tratamientos se presentan en la tabla 2. La gravedad específica nos sirve como una medida indirecta de la cantidad de aire en el batido, donde menores valores indican una

Tabla 1. Características farinográficas de las mezclas de harina de trigo con ácido fumárico

	M0	ME0.25	MR0.25	ME0.125	MR0.125
Absorción de agua (%)	61.7	62	62.3	62.7	62.8
Tiempo de arribo (min)	1.8	1.8	2.0	1.6	1.5
Tiempo de desarrollo (min)	10.2	9.2	7.7	8.5	6.8
Estabilidad (min)	14.3	10.7	9.1	11.8	10.8
Índice de tolerancia (MTI)	34	61	64	40	37

Fuente: elaborado por los autores

mayor cantidad de aire incorporado en el proceso (Baixauli, Sanz, Salvador, y Fiszman, 2008), lo que lleva a un mayor volumen y suavidad en el producto final (Goswami *et al.*, 2015). Se obtuvieron valores de gravedad específica entre 0.8 y 0.85 (tabla 2), sin una diferencia estadísticamente significativa entre los resultados de los diferentes tratamientos, lo que indica que la adición de fumárico no tiene un efecto significativo en la incorporación de aire al batido. El ácido fumárico sin encapsular a concentraciones mayores a 0.25 % (FR0.25) con respecto a la harina de trigo tuvo los menores valores de pH. Por otro lado, los tratamientos con fumárico encapsulado no muestran un pH significativamente diferente a las muestras control.

Propiedades de calidad de *muffin*

En la tabla 2 también se presentan las propiedades de volumen específico, altura, actividad de agua, pérdida de peso y pH del *muffin*, y el contenido de humedad de la miga. El contenido de humedad de la miga (19.2-20.9 %), la actividad de agua (0.82-0.84), la altura (37.7 -39.6 mm) y la pérdida de peso (19.2-20.7 g / 100 g) del producto no muestran variaciones significativas entre tratamientos, resultados consistentes a lo reportado para panes planos (Abu-Ghoush *et al.*, 2008). Se encontró incremento significativo en el volumen específico del tratamiento FE0.25, mientras los tratamientos FR0.25, FE0.125 y FR0.125 mantienen valores similares al control.

Tabla 2. Propiedades del batido y de calidad de muffins para cada formulación

Tratamiento	Batido		Muffins					
	pH	Gravedad específica	Volumen específico (mL / g)	Pérdida de peso (g /100 g)	Humedad (%)	Actividad de agua	Altura (mm)	pH
Control	6.57±0.05 ^b	0.85±0.01 ^a	1.61±0.05 ^{ab}	19.79±0.21 ^a	20.57±0.76 ^a	0.83±0.00 ^a	37.76±0.64 ^a	6.69±0.00 ^c
FE0.25	6.55±0.06 ^b	0.85±0.02 ^a	1.81±0.11 ^c	20.49±1.03 ^a	20.88±0.59 ^a	0.83±0.00 ^a	39.42±0.38 ^a	6.29±0.05 ^a
FR0.25	5.97±0.04 ^a	0.80±0.02 ^a	1.69±0.01 ^{bc}	20.76±0.24 ^a	19.24±0.74 ^a	0.82± 0.00 ^a	38.99±0.89 ^a	6.32±0.07 ^a
FE0.125	6.44±0.04 ^b	0.82±0.04 ^a	1.50±0.08 ^a	19.24±0.84 ^a	20.31±0.19 ^a	0.83± 0.01 ^a	39.59±0.88 ^a	6.44±0.04 ^b
FR0.125	6.28±0.20 ^b	0.85±0.06 ^a	1.67±0.05 ^{abc}	20.07±0.43 ^a	20.99±1.04 ^a	0.84±0.01 ^a	39.49±1.07 ^a	6.45±0.02 ^b

*Valores en la misma columna seguidos de una letra diferente difieren significativamente (P<0,05)

Fuente: elaborado por los autores

Con respecto a las propiedades texturales, la cohesividad, la masticabilidad y la resiliencia no muestran cambios significativos entre tratamientos (tabla 3). La elasticidad del tratamiento FE0.125 presenta un incremento significativo respecto a la muestra control, mientras que con los demás tratamientos no hubo diferencias significativas. La elasticidad se encuentra relacionada con la cantidad de burbujas de aire en el producto, considerándose un factor positivo en la calidad de *muffins* (Sanz,

Salvador, Baixauli y Fiszman, 2009), aunque la forma y homogeneidad de estas pueden afectar también esta propiedad (Chung, Lee, Han y Lim, 2010). Wronkowska, Zielińska, Szawara-Nowak, Troszyńska, y Soral-Śmietana (2010) encontraron un incremento en la elasticidad aparente en pruebas sensoriales realizadas a panes con reemplazo de harina de alforfón, que cuyas características se encuentra su capacidad reductora debido a su contenido de compuestos fenólicos.

Tabla 3. Propiedades texturales de *muffins* para cada formulación

Tratamiento	Dureza (N)	Elasticidad	Cohesividad	Masticabilidad (N)	Resiliencia	Firmeza (N)
Control	34.81±1.54 ^b	0.64±0.03 ^a	0.31±0.02 ^a	6.95±0.60 ^a	0.13±0.00 ^a	3.81±0.18 ^b
FE0.25	28.06±1.38 ^a	0.68±0.02 ^{ab}	0.31±0.01 ^a	5.98±0.16 ^a	0.13±0.01 ^a	3.12±0.12 ^a
FR0.25	30.46±2.73 ^{ab}	0.69±0.03 ^{ab}	0.31±0.01 ^a	6.57±0.49 ^a	0.14±0.00 ^a	3.33±0.18 ^a
FE0.125	27.97±2.19 ^a	0.72±0.02 ^b	0.32±0.01 ^a	6.41±0.53 ^a	0.14±0.00 ^a	3.32±0.15 ^a
FR0.125	29.43±0.33 ^a	0.66±0.03 ^{ab}	0.32±0.02 ^a	6.24±0.13 ^a	0.14±0.00 ^a	3.32±0.06 ^a

*Valores en la misma columna seguidos de una letra diferente difieren significativamente (P<0,05)

Fuente: elaborado por los autores

Se encontró un aumento significativo en la suavidad del producto en los tratamientos con ácido fumárico, especialmente en aquellos con el aditivo encapsulado (tabla 3). La muestra FE0.25 presenta mayor

porosidad que la muestra control (figura 1), lo que corrobora los resultados de textura y volumen de los *muffins* adicionados con ácido fumárico encapsulado.

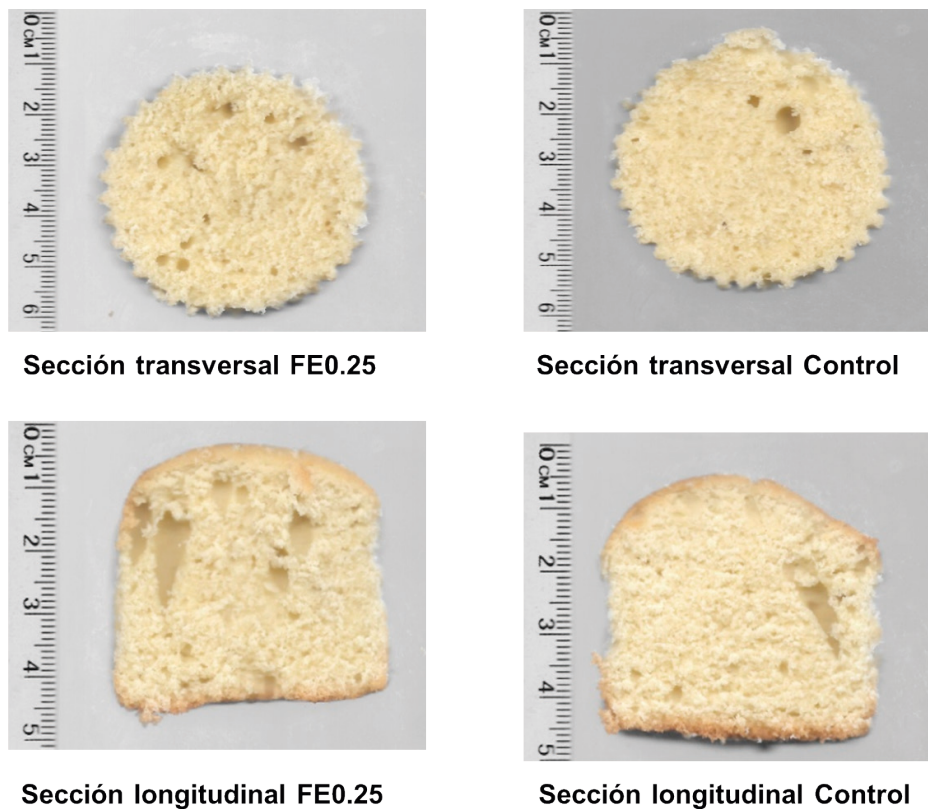


Figura 1. Cortes transversales y longitudinales de *muffins* sin adición de ácido fumárico (control) y con adición de ácido fumárico al 0.25 % en su formulación (FE0.25)

Fuente: elaborado por los autores

En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos para los parámetros de color de la miga de *muffin*. No se obtuvieron cambios significativos en h^* y C^* entre los tratamientos, y los valores para la diferencia total de color fueron menores a 3 en todos los *muffin* con ácido fumárico teniendo como referencia la muestra control. Por consiguiente, se concluye que no existe una diferencia observable

en la coloración de la miga de ninguno de los tratamientos con fumárico en comparación con el tratamiento control. Acosta, Cavender, y Kerr (2011) realizaron pruebas en *muffins* cambiando la harina de trigo convencional por harina de trigo ceroso, y obtuvieron variaciones perceptibles en la coloración, las cuales se atribuyen a incrementos en las reacciones de Maillard.

Tabla 4. Características de color de *muffins* para cada formulación

Tratamiento	L*	a*	b*	h* (Tono)	C* (Saturación)	DE
Control	82.58±1.76 ^a	2.72±0.03 ^a	27.60±0.69 ^a	84.37±0.14 ^a	27.74±0.68 ^a	
FE0.25	84.35±0.75 ^a	2.94±0.22 ^a	30.02±2.40 ^a	84.40±0.04 ^a	30.16±2.41 ^a	2.99
FR0.25	83.25±1.33 ^a	3.14±0.29 ^a	30.33±0.27 ^a	84.09±0.52 ^a	30.49±0.28 ^a	2.84
FE0.125	83.18±0.56 ^a	2.83±0.26 ^a	30.16±0.66 ^a	84.644±0.44 ^a	30.294±0.67 ^a	2.63
FR0.125	83.87±0.46 ^a	2.88±0.05 ^a	29.54±1.45 ^a	84.43±0.19 ^a	29.68±1.45 ^a	2.33

*Valores en la misma columna seguidos de una letra diferente difieren significativamente ($P < 0.05$)

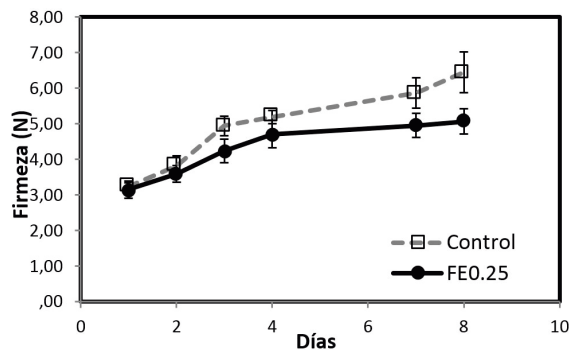
Fuente: Elaborado por los autores

Propiedades físicas y sensoriales de muffins durante el almacenamiento

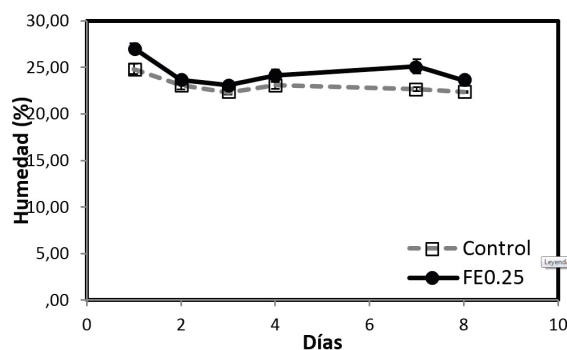
Para las pruebas de almacenamiento, se seleccionó el tratamiento FE0.25 dado que este presentó el mayor volumen específico y los menores valores de firmeza respecto al control. Se obtuvo un pH inicial de 6.84 y 6.26 para los tratamientos control y FE0.25, respectivamente, sin presentar cambios significativos durante el almacenamiento (resultados no mostrados). Por otro lado, se observó en ambos tratamientos una leve reducción en el contenido de humedad de la miga respecto al primer día, manteniendo valores relativamente constantes en los días posteriores. Las muestras control tuvieron valores entre 21.6 y 23.1 % (bh), mientras que las muestras FE0.25 presentaron resultados entre 23.6 y 25.1 % (bh) (figura 2A). Este comportamiento fue similar al obtenido en *muffins* con harina de trigo ceroso (Acosta *et al.*, 2011).

Pese a que el tratamiento FE0.25 (3.15 N) obtuvo una menor firmeza que el tratamiento control (3.23 N) en el día 1 de almacenamiento (figura 2B), coherente con lo encontrado en las pruebas anteriores, la diferencia fue menor a la obtenida en la tabla 3. Una posible causa de este resultado es una mayor incorporación de aire durante el batido porque en los ensayos de almacenamiento se utilizó una batidora con mayor capacidad (12 L) (B12RL, JAVAR, Bogotá D. C., Colombia) (Martínez-Cervera, Salvador, Muguerza, Moulay y Fiszman, 2011). Ambos tratamientos tuvieron un incremento gradual de la firmeza durante el período de almacenamiento (figura 2B); sin embargo, la muestra control presentó un mayor endurecimiento (6.45 N) comparado con el *muffin* FE0.25 (5.07 N) al final del tiempo evaluado, posiblemente a causa de las diferencias en la porosidad (figura 1) y la red de gluten.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba de aceptación en el día 4 de almacenamiento, ambos tratamientos mostraron una buena aceptabilidad con valores promedio de todos los atributos entre 7 y 7.7 (correspondientes al rango entre 7: me gusta moderadamente y 8: me gusta mucho) de acuerdo con la escala aplicada (figura 3). No se encontraron diferencias significativas entre la aceptabilidad de las muestras en ninguno de las características analizadas ($P > 0.05$), y la preferencia general del producto fue muy similar entre ambas muestras, con unos valores promedio de 7.41 y 7.42 para los *muffins* FE0.25 y control, respectivamente. Esto permite concluir que un *muffin* con 0.25 g de ácido fumárico encapsulado por 100 g de harina de trigo tiene una buena aceptación sensorial.



A



B

Figura 2. Comportamiento de la firmeza (A) y humedad (B) de la miga de *muffins* sin (control) y con adición de ácido fumárico encapsulado al 0.25 % (FE0.25) durante 8 días de almacenamiento

Fuente: elaborado por los autores

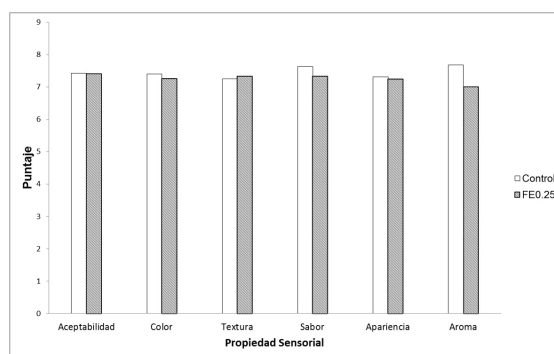


Figura 3. Características sensoriales de *muffin* sin (control) y con adición de ácido fumárico encapsulado al 0.25 % (FE0.25) al cuarto día de almacenamiento

Fuente: elaborado por los autores

Discusión

Los resultados de las propiedades farinográficas concuerdan con lo reportado para ácidos fenólicos y otros compuestos con doble enlace activo (Han y Koh, 2011). Miller, Hosene, Graf y Soper (1997) encontraron que el polvo seco de ajo, aditivo que contiene compuestos carbonilos α,β -insaturados, incrementó notable el rompimiento de la masa durante el mezclado, aparentemente por los dobles enlaces activos presentes en estos.

Las muestras con mayor contenido de ácido fumárico encapsulado presentan la acción leudante principalmente en el horneado, mientras que las muestras con ácido sin encapsular pueden actuar desde el proceso de mezclado, generando una mayor pérdida de gas y un producto con menor volumen. Cepeda *et al.* (2000) sodium aluminum sulfate [SAS], monocalcium phosphate [MCP] and sodium acid pyrophosphate [SAPP-28] mencionan que en masas leudadas con polvo de hornear a temperaturas de mezclado entre 25 y 40 °C y acidulantes hidrosolubles pueden causar un leudado prematuro de la masa.

Se obtuvo una reducción significativa en el pH del producto final al aumentar la concentración o la cantidad de aditivo ácido utilizado en la formulación. El pH del producto tiene un notable impacto en la acción de diversos conservantes usados en panificación (Guynot, Ramos, Sanchis, y Marín, 2005) *Aspergillus spp.*, and *Penicillium corylophilum*. Por ejemplo, la acción del agente conservante en conjunto con el ácido fumárico aumenta la vida útil en las tortillas (Abu-Ghoush *et al.*, 2008). Los agentes conservantes se encuentran en su forma no disociada a pH ácido, y en estas condiciones penetran con mayor facilidad la membrana de los microorganismos facilitando la inhibición de su crecimiento (Gould, 1996). El producto con mayor contenido de ácido fumárico encapsulado (FE0.25) presentó una mayor disminución en el pH (6.29) respecto al obtenido en el batido (6.55), lo que ratifica el buen funcionamiento del encapsulamiento y el sistema de liberación. En productos de panificación, suelen usarse cápsulas creadas a partir de sustancias hidrofóbicas con alto punto de fusión para evitar que la humedad afecte el material encapsulado antes del horneado, y así liberar este aditivo al aplicar altas temperaturas de acuerdo con su función (Lakkis, 2016). En este estudio, se demostró que el encapsulamiento evita efectivamente la disolución del aditivo durante el mezclado, mientras que a la temperatura de horneado se libera en forma adecuada el ácido.

El efecto del ácido fumárico sobre la red de gluten observado en las pruebas farinográficas podría estar relacionado con el incremento en la suavidad del producto. Se ha encontrado que durante el

mezclado, el ácido fumárico interactúa con los radicales libres formados por el rompimiento de enlaces de sulfuro durante el mezclado evitando su posterior unión; esto conduce a un debilitamiento de la red de gluten, reduciendo así la dureza del producto final (Schroeder y Hosene, 1978; Sidhu *et al.*, 1980). Bhaduri (2013) obtuvo una reducción del 38 % en la dureza de *muffins* al reemplazar la harina de trigo por harina de arroz en la formulación, obteniendo así una mayor aceptabilidad del producto, mientras que su reemplazo por harina de quinua tuvo un efecto opuesto tanto en la dureza como en la aceptabilidad de los *muffins*. Existe una relación directa entre el volumen específico y la suavidad del producto. Un incremento en la porosidad del *muffin* suele estar relacionado con una mayor suavidad de este (Baixauli *et al.*, 2008). Ozola, Straumite, y Galoburda (2012) reportaron que *muffins* preparados con leche presentan poros de mayor tamaño que aquellos preparados con agua o los preparados con una mezcla de ambos líquidos, y muestran, a su vez, un mayor volumen y suavidad.

El envejecimiento es un proceso que involucra pérdida y migración de humedad, endurecimiento y cambios en propiedades texturales y sabor del producto. En productos de repostería el envejecimiento es una de las principales causas de una menor vida de anaquel (Chinachoti, 2003). La firmeza presentó un mayor cambio en los *muffins* control a partir del día 4 de almacenamiento. Baixauli *et al.* (2008) reportaron, tras 16 días de almacenamiento, que *muffins* con un reemplazo del 20 % de harina de trigo por almidón resistente duplicaban sus valores de dureza. Bartolozzo, Borneo, y Aguirre (2016) investigaron la aplicación de un revestimiento para *muffin* basado en triticale, y consiguieron efectivamente reducir el endurecimiento del producto durante un período de almacenamiento de 10 días, siendo su efecto más pronunciado durante los primeros 3 días de almacenamiento.

En los resultados del análisis sensorial en el día 4 de almacenamiento se reportó que un *muffin* con 0.25 g de ácido fumárico encapsulado por 100 g de harina de trigo tuvo una buena aceptación sensorial. Challacombe, Abdel-Aal, Seetharaman, y Duizer (2012) encontraron que la cantidad de ácidos fenólicos, presente en la harina, tiene efectos significativos en algunas notas de sabor y aroma de panes y galletas. Aliani, Ryland, y Pierce (2011) analizaron el efecto de la adición de semillas de linaza con fines nutricionales en el sabor y aroma de *muffins*, y obtuvieron un incremento en la intensidad del sabor y el aroma, siendo este efecto mayor o menor de acuerdo con el saborizante utilizado en la formulación. Acosta *et al.* (2011) encontraron una reducción general en la aceptabilidad de las propiedades sensoriales de *muffins* con reemplazo

de harina de trigo ceroso, atribuyendo como posible causa la reducción en la dulzura e intensidad del sabor propia de la adición de ingredientes con fibra en las formulaciones.

Conclusiones

Al utilizar ácido fumárico se evidencia una reducción en el tiempo de desarrollo y estabilidad de la masa, y un incremento en el MTI, lo que indica una menor fuerza estructural de la red de gluten. Los *muffins* formulados con ácido fumárico encapsulado con un nivel de adición de 0.25 g / 100 g de harina de trigo exhibieron el mayor volumen específico (1.81 mL / g), y los menores valores de firmeza (3.1 N). Además, estas muestras mantuvieron su suavidad durante 8 días de almacenamiento, lo que puede traducirse en una mayor vida útil del producto. Las muestras FE0.25, al día 4 de almacenamiento, presentaron buena aceptación sensorial, similar a la obtenida para la muestra control. Desde otro punto de vista, esto podría permitir la reducción de la cantidad de leudante químico utilizado en la formulación sin ocasionar efectos negativos en la textura, el volumen o las propiedades sensoriales del producto. También se destaca la reducción del pH en el *muffin* con ácido fumárico encapsulado, cuyos efectos microbiológicos se recomienda analizar.

Agradecimientos

Este trabajo fue desarrollado gracias a la cooperación entre la empresa Anhídridos y Derivados de Colombia –Andercol– S. A., y el Laboratorio de Control de Calidad de Alimentos–Área de Farinología de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

Referencias bibliográficas

- AACC. (2000). *Approved methods of analysis*. (American Association of Cereal Chemists (AACC), Ed.) *American Association of Cereal Chemists (AACC)* (10th ed.). St Paul, MN: American Association of Cereal Chemists (AACC). Retrieved from <http://methods.aaccnet.org/default.aspx>
- Abu-Ghoush, M.; Herald, T.; Dowell, F.; Xie, F.; Aramouni, F. y Madl, R. (2008). Effect of preservatives addition on the shelf-life extensions and quality of flat bread as determined by near-infrared spectroscopy and texture analysis. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(2), 357–364. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01594.x>
- Acosta, K.; Cavender, G. y Kerr, W. (2011). Sensory and physical properties of muffins made with waxy whole wheat flour. *Journal of Food Quality*, 34(5), 343–351. <http://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2011.00401.x>
- Aliani, M.; Ryland, D. y Pierce, G. (2011). Effect of flax addition on the flavor profile of muffins and snack bars. *Food Research International*, 44(8), 2489–2496. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.01.044>
- Baixaui, R.; Sanz, T.; Salvador, A. y Fiszman, S. (2008). Muffins with resistant starch: Baking performance in relation to the rheological properties of the batter. *Journal of Cereal Science*, 47(3), 502–509. <http://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.06.015>
- Bartolozzo, J.; Borneo, R. y Aguirre, A. (2016). Effect of triticale-based edible coating on muffin quality maintenance during storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10(1), 88–95. <http://doi.org/10.1007/s11694-015-9280-1>
- Bhaduri, S. (2013). A comprehensive study on physical properties of two gluten-free flour fortified muffins. *Journal of Food Processing y Technology*, 4(8), 4–7. <http://doi.org/10.4172/2157-7110.1000251>
- Cepeda, M.; Waniska, R.; Rooney, L. y Bejosano, F. (2000). Effects of leavening acids and dough temperature in wheat flour tortillas. *Cereal Chemistry*, 77(4), 489–494. <http://doi.org/10.1094/CCHEM.2000.77.4.489>
- Challacombe, C.; Abdel-Aal, E.; Seetharaman, K. y Duizer, L. (2012). Influence of phenolic acid content on sensory perception of bread and crackers made from red or white wheat. *Journal of Cereal Science*, 56(2), 181–188. <http://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.03.006>
- Chinachoti, P. (2003). Preventing bread staling. In S. Cauvain (Ed.), *Bread Making: Improving Quality* (2nd ed, pp. 562–574). Boca Raton, FL: CRC Press. <http://doi.org/10.1016/B978-1-85573-553-8.50031-9>
- Chung, H., Lee, S.; Han, J. y Lim, S. (2010). Physical properties of dry-heated octenyl succinylated

- waxy corn starches and its application in fat-reduced muffin. *Journal of Cereal Science*, 52(3), 496–501. <http://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.08.008>
- Goswami, D.; Gupta, R.; Mridula, D.; Sharma, M. y Tyagi, S. (2015). Barnyard millet based muffins: Physical, textural and sensory properties. *LWT - Food Science and Technology*, 64(1), 374–380. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.060>
- Gould, G.(1996). Methods for preservation and extension of shelf life. *International Journal of Food Microbiology*, 33(1), 51–64. [http://doi.org/10.1016/0168-1605\(96\)01133-6](http://doi.org/10.1016/0168-1605(96)01133-6)
- Guynot, M.; Ramos, A.; Sanchís, V. y Marín, S. (2005). Study of benzoate, propionate, and sorbate salts as mould spoilage inhibitors on intermediate moisture bakery products of low pH (4.5-5.5). *International Journal of Food Microbiology*, 101(1–2), 161–168. <http://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.11.003>
- Han, H. y Koh, B. (2011). Effect of phenolic acids on the rheological properties and proteins of hard wheat flour dough and bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(13), 2495–2499. <http://doi.org/10.1002/jsfa.4499>
- Koh, B. y Ng, P. (2008). Effects of phenolic acids and transglutaminase on soft wheat flour dough and baked products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 1832–1836. <http://doi.org/10.1002/jsfa>
- Lakkis, J. (2016). *Encapsulation and controlled release technologies in food systems*. (J. M. Lakkis, Ed.) (2nd ed). The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, UK: John Wiley y Sons, Ltd.,
- Manjarrés-Pinzón, K., Cortés-Rodríguez, M., y Rodríguez-Sandoval, E. (2013). Effect of drying conditions on the physical properties of impregnated. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 30(3), 667–676.
- Martínez-Cervera, S.; Salvador, A.; Muguerza, B.; Moulay, L. y Fiszman, S. M. (2011). Cocoa fibre and its application as a fat replacer in chocolate muffins. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 729–736. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.06.035>
- Miller, R.; Hosene, R.; Graf, E. y Soper, J. (1997). Garlic effects on dough properties. *Journal of Food Science*, 62(6), 1198–1201. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb12243.x>
- Ozola, L.; Straumite, E. y Galoburda, R. (2012). Effect of liquid type on the quality of gluten-free muffins. *Chemine Technologija*, 3(61), 27–31. <http://doi.org/dx.doi.org/10.5755/j01.ct.61.3.2716>
- Rodríguez-Sandoval, E., Polanía-Gaviria, L. Y. y Lorenzo, G. (2017). Effect of dried cassava bagasse on the baking properties of composite wheat bread. *Journal of Texture Studies*, 48(1), 76–84. <http://doi.org/10.1111/jtxs.12212>
- Sanz, T.; Salvador, A.; Baixauli, R. y Fiszman, S. (2009). Evaluation of four types of resistant starch in muffins. II. Effects in texture, colour and consumer response. *European Food Research and Technology*, 229(2), 197–204. <http://doi.org/10.1007/s00217-009-1040-1>
- Schroeder, L. y Hosene, R. (1978). Mixograph studies. II. Effect of activated double-bond compounds on dough-mixing properties. *Cereal Chemistry*.
- Sidhu, J.; Nordin, P.; Hosene, R. (1980). Mixograph studies. III. Reaction of fumaric acid with gluten proteins during dough mixing. *Cereal Chemistry*.
- Watts, B.; Ylimaki, G.; Jeffery, L. y Elías, L. (1992). *Métodos sensoriales básicos para la evaluación de alimentos*. (B. M. Watts, G. L. Ylimaki, L. E. Jeffery, y L. G. Elías, Eds.) (1st ed). Ottawa, Ontario, Canada: International Development Research Centre.
- Wronkowska, M.; Zielińska, D.; Szawara-Nowak, D.; Troszyńska, A. y Soral-Śmietana, M. (2010). Antioxidative and reducing capacity, macroelements content and sensorial properties of buckwheat-enhanced gluten-free bread. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(10), 1993–2000. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02375.x>
- Yang, S.; Zhang, K.; Zhang, B. y Huang, H. (2011). *Fumaric Acid. Comprehensive Biotechnology* (Second Edi, Vol. 1). Elsevier B.V. <http://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00456-6>