



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Uso de diferentes agentes impulsores en la elaboración de bizcochos con fibra de frutos rojos. Estudios estructurales y sensoriales.

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO EN CIENCIA E
INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS

ALUMNO/A: **Paula Vilar Melego**
TUTORA ACADEMICA: **Isabel Hernando Hernando**
DIRECTORA EXPERIMENTAL: **Elena Diez Sanchez**
Curso Académico: 2017/2018

VALENCIA, JULIO 2018

USO DE DIFERENTES AGENTES IMPULSORES EN LA ELABORACIÓN DE BIZCOCHOS CON FIBRA DE FRUTOS ROJOS. ESTUDIOS ESTRUCTURALES Y SENSORIALES.

Vilar, P. Diez, E.¹, Hernando, I.¹

RESUMEN

En el presente trabajo se ha estudiado el efecto del uso de distintos tipos de impulsores químicos en la elaboración de bizcochos ricos en fibra de frutos rojos para mejorar sus propiedades físicas y sensoriales. Para ello se evaluó el comportamiento de tres agentes impulsores ácidos (ácido cítrico, pirofosfato ácido de sodio 10 y glucono-delta-lactona) en combinación con la base bicarbonato sódico (encapsulado y sin encapsular), de forma que se estudiaron seis formulaciones. Se realizó una simulación de microhorneado para observar la expansión de las burbujas en la masa; en los bizcochos, se estudió la macroestructura de la miga y las propiedades de textura y color. Por último, se caracterizaron los bizcochos mediante la prueba sensorial *Flash Profile* y se estudió su aceptabilidad. Los resultados mostraron que los bizcochos elaborados con pirofosfato ácido de sodio 10 (con y sin encapsulación del bicarbonato) y el elaborado con glucono-delta-lactona sin encapsulación del bicarbonato incorporaron mayor cantidad de aire durante el microhorneado, lo que generó una miga con mayor porcentaje de alveolos y una menor dureza. Estos bizcochos fueron caracterizados sensorialmente como quebradizos, esponjosos, dulces y amarronados. Todas las formulaciones estudiadas fueron aceptadas por un panel de catadores no entrenados.

PALABRAS CLAVE: Bollería, bagazo, impulsores químicos, bicarbonato encapsulado, propiedades físicas, flash profile.

RESUM:

En el present treball s'ha estudiat l'efecte de l'ús de distints tipus d'impulsors químics en l'elaboració de bescuits rics en fibra de fruits rojos per a millorar les seues propietats físiques i sensorials. Per a això es va avaluar el comportament de tres agents impulsors àcids (àcid cítric, pirofosfat àcid de sodi 10 i glucono-delta-lactona) en combinació amb la base bicarbonat sòdic (encapsulat i sense encapsular), de manera que es van estudiar sis

¹Grupo de Química y Microestructura de Alimentos. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n 46022 Valencia (España).

formulacions. Es va realitzar una simulació de microenfornat per a observar l'expansió de les bombolles a la massa; es va estudiar la macroestructura de la molla i les propietats de textura i color. Finalment, es van caracteritzar els bescuits per mitjà de la prova sensorial Flash Profile i es va estudiar la seua acceptabilitat. Els resultats van mostrar que els bescuits elaborats amb pirofosfat àcid de sodi 10 (amb i sense encapsulació del bicarbonat) i l'elaborat amb glucono-delta-lactona sense encapsulació del bicarbonat van incorporar major quantitat d'aire durant el microenfornat, la qual cosa va generar una molla amb major percentatge d'alvèols i una menor duresa. Estos bescuits van ser caracteritzats sensorialment com trencadissos, esponjosos, dolços i marronosos. Totes les formulacions estudiades van ser acceptades per un panell de tastadors no entrenats.

PARAULES CLAU: Brioix, bagàs, impulsors químics, bicarbonat encapsulat, propietats físiques, flash profile.

ABSTRACT:

The present project has studied the effect of the use of different types of leavening agents in the elaboration of sponge cakes rich in red fruit in order to improve their physical and sensory properties was studied in this work. For this purpose, the behavior of three acid agents (citric acid, sodium acid pyrophosphate 10 and glucono-delta-lactone) in combination with a sodium bicarbonate base (encapsulated and non-encapsulated) was evaluated; so, six formulations were studied. A microbaking simulation was performed to observe the expansion of the bubbles in the batter; in the cakes, the crumb structure, texture and color properties were studied. Finally, the cakes were characterized using the Flash Profile sensory test and their acceptability was studied. The results showed that the cakes prepared with sodium acid pyrophosphate 10 (with and without bicarbonate encapsulation) and the one made with glucono-delta-lactone and non encapsulated bicarbonate incorporated more air during the microbaking, which generated higher percentage of cells in the crumb and lower hardness. These cakes were sensorially characterized as brittle, spongy, sweet and brownish. All the formulations studied were accepted by an untrained sensory panel.

KEY WORDS: Bakery products, pomace, leavening agents, encapsulated bicarbonate, physical properties, flash profile.

INTRODUCCIÓN

La industria de procesamiento de frutas y hortalizas es una de las que mayor cantidad de residuos genera en el territorio europeo (FAO, 2011). Tradicionalmente se le otorgado diversos usos a estos residuos, como su utilización para alimentación animal, producción de biogás o compostaje (Walsh et al., 1993). Sin embargo, estos subproductos se pueden valorizar aún más, ya que algunos contienen componentes beneficios para la salud como antioxidantes, flavonoides o fibra entre otras sustancias (Arvanitoyannis, 2008, Rohm et al., 2015).

Uno de los problemas actuales de la población europea es el insuficiente consumo de fibra dietética. La EFSA recomienda una ingesta diaria de 25-30g. Esta fibra posee diversos beneficios, ya que promueve la regularidad intestinal, ayuda a mantener el peso corporal y regula el nivel de glucosa en sangre, entre otros efectos beneficiosos (EFSA, 2010). Concretamente en España se produce una ingesta media diaria de fibra de 19g/día (Del Pozo et al., 2012), cantidad que no llega a los niveles de ingesta diaria recomendada.

Para abordar estos problemas una de las soluciones planteadas ha sido la elaboración de productos alimentarios ricos en fibra procedente de los residuos de la industria de procesamiento de frutas y hortalizas. En el proyecto europeo BERRYPOM se intenta utilizar el bagazo rico en fibra procedente de las industrias que procesan bayas para su incorporación a productos horneados (Rohm et al., 2015).

No obstante, se sabe que la introducción de los residuos ricos en fibra en productos horneados produce modificaciones de las características fisicoquímicas afectando negativamente a las características del producto final (Quiles et al., 2016). Según Foschia et al (2013) la adición de fibra aumenta la capacidad de retención de agua, disminuye la altura del producto, aumenta la dureza, modifica el color de la superficie e influye en el sabor.

Para atenuar estos cambios, una de las soluciones podría ser sustituir el tipo de agentes impulsores que se añaden a los bizcochos. Estos producen CO₂, que influye en la expansión de la masa durante su mezclado, lo que tiene un efecto beneficioso en las características finales del producto, principalmente en el color, la textura y el volumen (Book y Brill, 2015).

Tradicionalmente se ha usado el bicarbonato sódico en combinación con el ácido cítrico o el acético para la formación del CO₂ en la masa. Sin embargo, hoy en día existen diversos ácidos que controlan y predicen la liberación del CO₂ generado (Stauffer, 1990). Este hecho se debe a que cada ácido posee un valor neutralizante con la base y una velocidad de liberación del CO₂ que lo caracterizan, lo que afecta a las características del producto final (Lai y Lin, 2006).

Además, se ha observado que se puede mejorar la textura del producto horneado utilizando bicarbonato encapsulado, ya que también regula la liberación de CO₂. El bicarbonato normal reacciona inmediatamente con el ácido liberando el gas desde el momento en que entran en contacto durante el mezclado de los ingredientes (DeZarn, 1995). Al incorporar la capa de revestimiento, la reacción ácido-base, y por tanto la generación de gas, no se produce hasta que esta capa es fundida a causa de la temperatura de horneado (Meiners, 2012).

En este contexto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la modificación del impulsor ácido y el efecto del uso del bicarbonato encapsulado para mejorar las propiedades físicas, estructurales y sensoriales de bizcochos ricos en fibra de grosella. Se realizó una simulación de microhorneado para observar la expansión de las burbujas de gas. Se estudió la estructura alveolar de la miga, las propiedades de textura y de color. Por último, los bizcochos fueron caracterizados sensorialmente mediante la prueba Flash Profile y se estudió la aceptabilidad de las formulaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materias primas

Para la elaboración de los bizcochos se utilizaron los siguientes ingredientes: harina de trigo (Harinas Segura S.L., Torrente, Valencia, España, composición proporcionada por el proveedor: 13,50-15,50% humedad, 9-11% proteína), azúcar blanco (AB Azucarera Ibérica S.L.U., Madrid, España), aceite refinado de girasol (Aceites del Sur-Coosur, S.A., Vilches, Jaén, España), clara y yema de huevos pasteurizadas (Ovocity, Llombay, Valencia, España), sal (Salinas del Odiel, S.L., Huelva, España), fibra procedente de la extracción de zumo de bayas del grosellero negro (*Ribes nigrum L.*) cedida por la Universidad Técnica de Dresde (Alemania), bicarbonato sódico E-500ii (Sodas y Gaseosas A. Martínez, S.L, Cheste, Valencia, España), bicarbonato microencapsulado con grasa vegetal de girasol (Grupo Indukern, S.L, Barcelona, España, punto de fusión del recubrimiento proporcionado por el proveedor: 69- 73°C), ácido cítrico E-300 (Sodas y Gaseosas A. Martínez, S.L, Cheste, Valencia, España), pirofosfato ácido de sodio 10 E450 (i) (Chemische Fabrik Budenheim KG, Budenheim, Alemania), glucono-delta-lactona E-575 (Emilio Peña, S. A., Torrente, Valencia, España) y agua (Calidad Pascual S.A.U., Aranda del Duero, Burgos, España).

Elaboración de las masas y los bizcochos

Se elaboraron seis formulaciones, que se presentan en la Tabla 1. Estas se diferenciaron en los impulsores químicos utilizados, usándose bicarbonato sin encapsular (B) o encapsulado (BE) en combinación con ácido cítrico (AC), pirofosfato ácido de sodio 10 (SAPP10) y glucono-delta-lactona (GDL). Las cantidades de ácido se seleccionaron según las sugerencias de Brose et al (1996).

TABLA 1. Composición de las formulaciones estudiadas.

Ingredientes	AC-B	AC-BE	SAPP10-B	SAPP10-BE	GLD-B	GLD-BE
Harina	100	100	100	100	100	100
Azúcar	100	100	100	100	100	100
Clara	54	54	54	54	54	54
Yema	27	27	27	27	27	27
Leche desnatada	50	50	50	50	50	50
Aceite	46	46	46	46	46	46
Sal	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Fibra	20	20	20	20	20	20
Agua	5	5	5	5	5	5
Bicarbonato	4	0	4	0	4	0
Bicarbonato encapsulado	0	4	0	4	0	4
Ácido cítrico	3	3	0	0	0	0
Ácido pirofosfato sódico 10	0	0	5,6	5,6	0	0
Glucono-delta-lactona	0	0	0	0	9	9

*Formulas en % respecto a la harina

Las preparaciones se elaboraron siguiendo el procedimiento “mezclado todo en uno” de Rodríguez-García et al (2014), con algunas modificaciones. En primer lugar, se introdujeron todos los ingredientes líquidos de la receta menos el aceite (yema, clara, leche y agua) en la amasadora Kenwood Major Classic (Havant, Inglaterra, UK). Seguidamente, se adicionaron los ingredientes sólidos (harina, azúcar, fibra, sal, bicarbonato o bicarbonato encapsulado y ácido cítrico o pirofosfato ácido de sodio 10 o glucono-delta-lactona) en el mismo recipiente. Por último, se añadió el aceite de girasol. El mezclado de todos los ingredientes se realizó durante 30 segundos a velocidad 1 (202 rpm), seguido de 1 minuto a velocidad 2 (260 rpm) y de 3 minutos a velocidad 3 (320 rpm).

Posteriormente, se vertieron las masas en moldes de Pyrex® de 20 cm de diámetro y se introdujeron en un horno convencional (Electrolux, modelo

EOC3430DOX, Estocolmo, Suecia) a 180°C durante 43 minutos. Todas las masas y bizcochos se prepararon por triplicado y los análisis se realizaron durante las 24 horas posteriores a su elaboración.

Microscopía Óptica y Análisis de Imagen de las Masas

Se realizó una simulación del microhorneado de cada uno de los bizcochos con un microscopio óptico (Nikon ECLIPSE 80i, Nikon Co., Ltd., Tokyo, Japan) acoplado a una placa de control de temperatura (Analysa-LTS350, Linkam, Surrey, UK). Para ello, se colocó una gota de la masa en un portamuestras sobre la placa de control de temperatura. Durante el calentamiento, la rampa de temperatura fue controlada por un sistema de refrigeración, con un flujo de nitrógeno líquido (Linkam, Surrey, UK). El perfil de temperatura utilizado fue de 1,5°C/min desde la temperatura ambiente (25°C) hasta 105°C. El aumento utilizado para la observación de las muestras fue de 4X (objetivo x4/0.13 ∞ - WD 17.1, Nikon). Las imágenes se capturaron con una cámara (ExWaveHAD, model no.DXC-190) acoplada al microscopio. Durante la simulación del microhorneado, se grabó un video con las imágenes capturadas cada 10s en un formato de 640x540 pixeles utilizando el software del microscopio (Linksys 32, Linkam). Las imágenes fueron analizadas utilizando el software ImageJ (National Institute of Health, Bethesda, Mariland, USA).

Estructura macroscópica de la miga

Para poder observar la estructura macroscópica, los bizcochos se cortaron transversalmente en secciones de aproximadamente 1,5 cm de grosor por la zona central y por los laterales. Estas se escanearon con un escáner HP Scanjet G2710 (HewlettPackard, Palo Alto, CA, U.S.A) con una resolución de 300 dpi. La imagen recortada (10 x 4 cm) se separó en canales, se contrastó, y por último se binarizó con ayuda del programa ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA). Se calcularon los parámetros: número de alveolos, tamaño medio (mm²), circularidad y área total de alveolos en la miga (%) a partir de tres imágenes de cada uno de los bizcochos elaborados.

Textura

Las propiedades texturales se evaluaron mediante un analizador de textura TA-TXTplus (Stable Microsystem, Ltd., Godalming, England, UK) utilizando el programa Texture Exponent Lite 32 (versión 6.1.4.0, Stable Microsystems). Se realizó un análisis de perfil de textura (TPA), para ello se eliminó la corteza y se cortaron cubos de un tamaño de 1,5 cm³ de la parte interior del bizcocho. Para llevar a cabo el análisis se tomaron 8 cubos de cada bizcocho. La velocidad del test fue de 1 mm/s, con una compresión del 40% de la altura

original del cubo y el tiempo de reposo entre los dos ciclos de compresión fue de 5s. La compresión se realizó con una sonda cilíndrica de compresión (P/35) de 35 mm de diámetro. Tras los dos ciclos de compresión se determinaron los siguientes parámetros: dureza, adhesividad, cohesividad, masticabilidad y resiliencia.

Medida del color

El color de las diferentes muestras se midió instrumentalmente tanto en la corteza como en la miga. Para este análisis se hizo uso del equipo Chroma meter CR-400 (Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japón). Los parámetros obtenidos fueron L^* , a^* , b^* (sistema CIELAB), con los que se calculó la diferencia de color perceptible (ΔE^*) tanto de la miga como de la corteza tomando como referencia la formulación AC-B (ecuación 1). Se realizaron tres mediciones de cada uno de los bizcochos elaborados.

$$\Delta E^* = \frac{[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]}{2} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dependiendo del ΔE^* obtenido las diferencias de color pueden ser o no apreciadas por el ojo humano (Bodart et al., 2008):

- $\Delta E^* < 1$; las diferencias de color no son apreciadas por el ojo humano
- $1 < \Delta E^* < 3$; las diferencias de color no son distinguidas por el ojo humano.
- $\Delta E^* > 3$; las diferencias de color se observan por el ojo humano.

Además, se representó el color de la corteza y la miga, utilizando los parámetros L^* , a^* y b^* mediante el programa Nix Color Sensor (versión 2.5.15, Nix Sensor Ltd. Hamilton, Ontario, Canada).

Análisis sensorial

Se realizó una caracterización de los bizcochos mediante la prueba de *Flash Profile*. Este método combina la libre elección de los términos que caracterizan cada una de las muestras y la puntuación de estos por parte del catador (Dairou y Sieffermann, 2002). La prueba fue realizada por 21 participantes no entrenados, y tuvo lugar en dos sesiones. En la primera sesión, las 6 muestras se presentaron en tríos y los participantes tuvieron que crear una lista de atributos que mejor describieran las similitudes y diferencias entre los bizcochos. Se les indicó que se centraran en la apariencia, sabor y textura y que evitaran términos hedónicos (Tárrega, y Tarancón, 2014). Una vez caracterizados, en la segunda sesión, cada catador realizó una ordenación de los bizcochos según los atributos que describió en la primera.

Por otro lado, para conocer la aceptabilidad de los bizcochos se realizó una prueba de preferencia-aceptación en la que fueron valorados, mediante una escala hedónica, los atributos: apariencia, sabor, textura y aceptabilidad global. La escala utilizada fue de 9 puntos (9= me gusta mucho, 5= ni me gusta ni me disgusta y 1= me disgusta mucho). El número de participantes fue de 89 catadores no entrenados con edades comprendidas entre 17 y 45 años. Las muestras se presentaron de forma aleatoria, codificadas por números al azar y servidas a temperatura ambiente.

El Flash Profile y la prueba de preferencia-aceptación se realizaron en la sala de catas de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería agronómica y del medio Natural (ETSIAMN) y fueron realizadas tanto por alumnos y profesores de la Universidad Politécnica de Valencia como por personal ajeno a la universidad.

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados obtenidos se llevó a cabo mediante el análisis de la varianza (ANOVA) multifactorial para los factores tipo de ácido y tipo de base. Las mínimas diferencias significativas de Fisher (LSD) se calcularon con un nivel de significación del 95% ($p < 0.05$). Para la prueba Flash Profile se realizó un análisis factorial múltiple (AFM) con los datos obtenidos de la segunda sesión para generar el mapa factorial utilizado para evaluar el posicionamiento sensorial general de las muestras de acuerdo con la percepción de los participantes (Tárrega et al., 2017). Todos los análisis se realizaron mediante el programa estadístico XLSTAT (versión 2018.1, Addinsoft, Barcelona, España).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Microscopía Óptica y Análisis de Imagen de las Masas

Para observar la evolución de las burbujas durante el microhorneado se tomaron imágenes a diferentes temperaturas que se muestran en la figura 1A. Además, estas imágenes fueron analizadas para cuantificar la distribución de los tamaños de las burbujas para cada tipo de formulación (figura 1B).

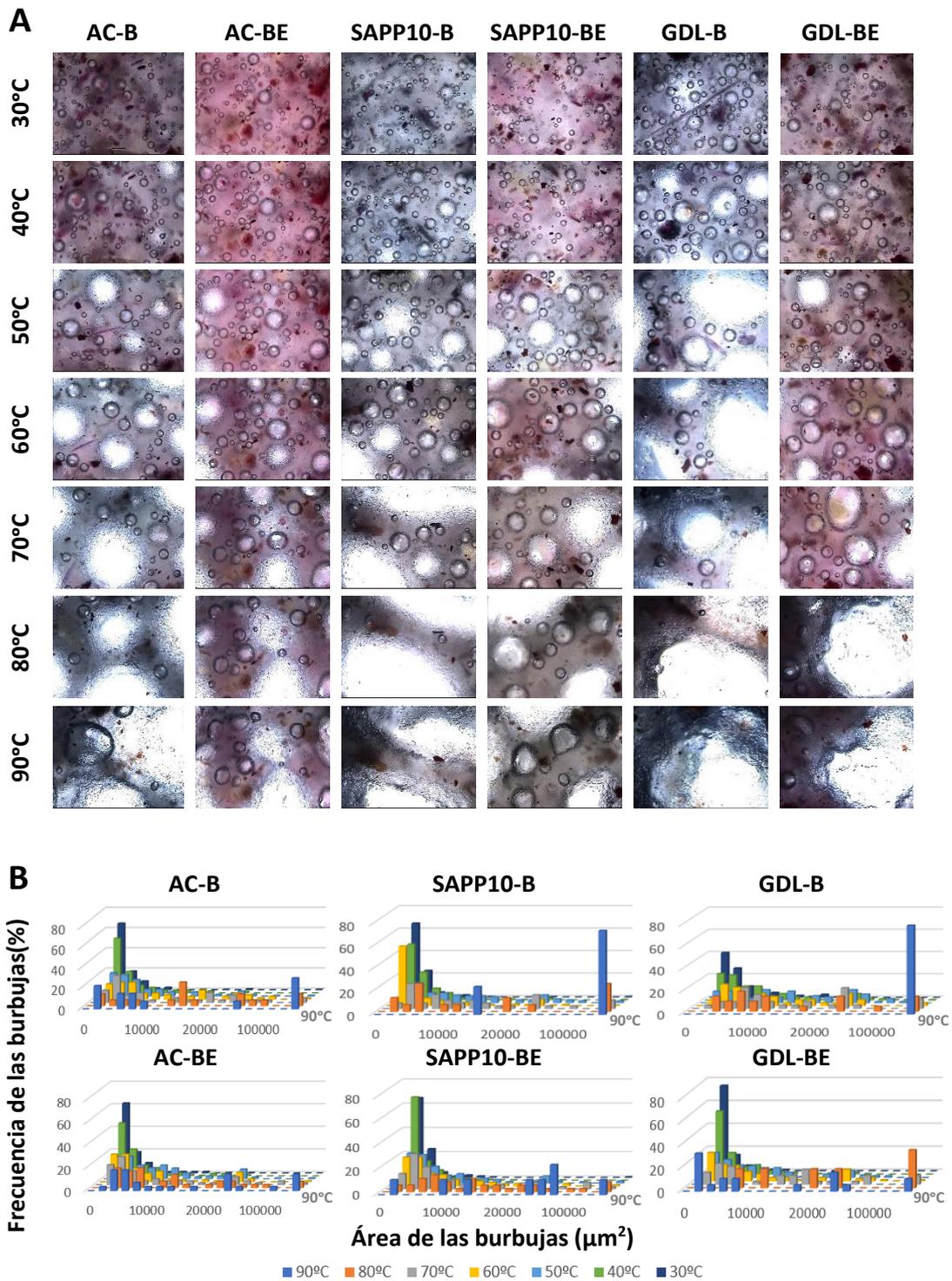


FIGURA 1: A: Imágenes del microscopio (4x) que muestran la expansión de las burbujas a diferentes temperaturas del microhorneado. **B:** Histogramas de la distribución del tamaño de las burbujas a distintas temperaturas durante el microhorneado. AC-B: ácido cítrico y bicarbonato, AC-BE: ácido cítrico y bicarbonato encapsulado, SAPP10-B pirofosfato de sodio 10 y bicarbonato, SAPP10-BE: pirofosfato de sodio 10 y bicarbonato encapsulado, GDL-B: glucono-delta-lactona y bicarbonato, GDL-BE: glucono-delta-lactona y bicarbonato encapsulado.

El AC es un tipo de ácido que reacciona rápidamente con el bicarbonato, lo que ocasiona que la formación de CO₂ comience durante la etapa de amasado (Brose et al., 1996). Este comportamiento se vio reflejado en el histograma de AC-B. Al haberse producido liberación de CO₂ durante el amasado, la expansión de las burbujas no fue muy grande durante el horneado, ya que se generó menor cantidad de CO₂ en esta etapa. Como consecuencia se produjo un reparto homogéneo en el tamaño de las burbujas durante el calentamiento hasta alcanzar los 90°C.

Por su parte, el SAPP10 es un tipo de ácido de reacción lenta, ya que tarda tiempo en solubilizarse debido a su composición (Stauffer, 1991), lo que causa que una gran parte del CO₂ se forme durante la etapa de horneado y se forme menor cantidad durante el amasado (Lampila, 2013). Este hecho se aprecia en el histograma SAPP10-B, puesto que presentó burbujas iniciales de pequeño tamaño que crecieron a medida que se solubilizó el ácido (con la consecuente formación de CO₂ y expansión de las burbujas), generando una totalidad de burbujas grandes a los 90°C.

La glucono-delta-lactona se caracteriza porque debe reaccionar con el agua para convertirse en ácido glucónico, que es el que interactuará con el bicarbonato al aplicar calor (Labaw, 1982). A partir de este momento (4-6 minutos) se produce una constante liberación de CO₂ (Penfield y Campbell, 1990). En el histograma de GDL-B se observa que sus burbujas adquirieron mayor tamaño (incorporaron más CO₂) que en el resto de las formulaciones desde temperaturas muy bajas. Este hecho podría deberse a que es durante el amasado cuando se forma el ácido glucónico, por lo que al inicio del microhorneado ya se está produciendo la constante generación de CO₂. Como resultado se observa que se alcanzó una totalidad de burbujas de gran tamaño a los 90°C.

La encapsulación del bicarbonato evita las reacciones prematuras, retrasando la reacción entre los impulsores químicos hasta que no se elimina la capa de encapsulación durante el horneado (Gibbs et al., 1999). Todas las formulaciones BE presentaron pequeños tamaños de burbuja a baja temperatura, comenzando a generar las burbujas de mayor tamaño a partir de la temperatura de los 70-80°C debido a la temperatura de fusión de su revestimiento (69-73°C). A partir de esta temperatura las formulaciones BE siguieron un comportamiento similar a la de su mismo ácido con B, aunque este efecto retardado del BE en la formación de CO₂ generó menor incorporación de aire, y por tanto, menor tamaño de las mismas al alcanzar los 90°C.

Estructura macroscópica de la miga

La figura 2 presenta las imágenes de las diferentes formulaciones de los bizcochos, escaneadas, contrastadas y binarizadas.

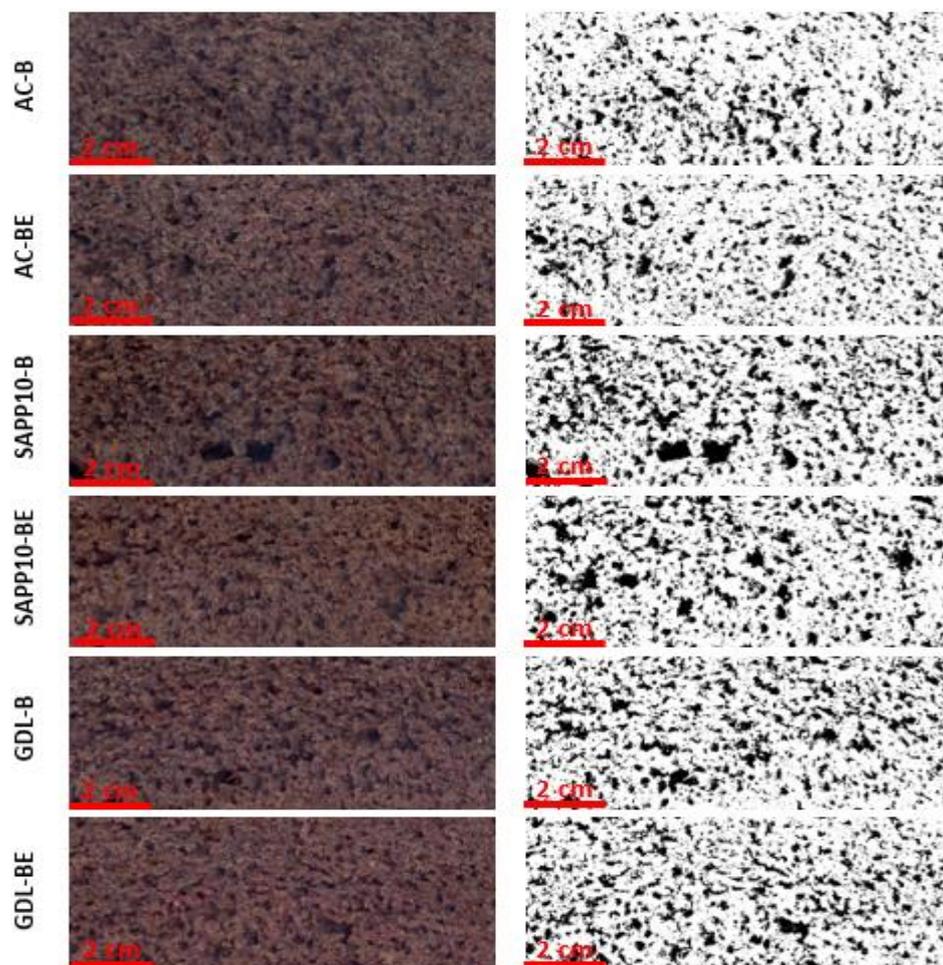


FIGURA 2. Imágenes escaneadas de los bizcochos (campo de 4X10 cm) y sus imágenes binarizadas correspondientes (118 pixeles/cm). AC-B: ácido cítrico y bicarbonato, AC-BE: ácido cítrico y bicarbonato encapsulado, SAPP10-B pirofosfato de sodio 10 y bicarbonato, SAPP10-BE: pirofosfato de sodio 10 y bicarbonato encapsulado, GDL-B: glucono-delta-lactona y bicarbonato, GDL-BE: glucono-delta-lactona y bicarbonato encapsulado.

Las imágenes fueron analizadas para cuantificar los resultados de la macroestructura de la miga (tabla 2). La interacción entre el ácido y la base tan solo fue significativa para el parámetro de número de alveolos.

Los resultados muestran que los bizcochos SAPP10-BE obtuvieron un número de alveolos significativamente menor ($p < 0.05$), que las formulaciones AC-BE y GDL-BE. Además, se observa que SAPP10-B y SAPP10-BE tuvieron valores significativamente mayores ($p < 0.05$) para el tamaño y área total de alveolos que AC-B, AC-BE y GDL-BE. La circularidad de los alveolos no presentó diferencias significativas entre las formulaciones ($p > 0.05$).

TABLA 2. Valores medios de los parámetros de análisis de la miga

	Número alveolos	Tamaño medio (mm²)	Circularidad alveolo	Área total alveolos(%)
AC-B	811,56 ^{ab} (17,62)	0,87 ^{ab} (0,11)	0,44 ^a (0,02)	17,61 ^{ab} (1,96)
AC-BE	861,77 ^b (55,8)	0,76 ^a (0,11)	0,44 ^a (0,02)	16,35 ^a (1,74)
SAPP10-B	817,75 ^{ab} (78,94)	1,11 ^c (0,17)	0,45 ^a (0,01)	22,63 ^c (2,01)
SAPP10-BE	756,42 ^a (57,30)	1,16 ^c (0,23)	0,46 ^a (0,02)	21,82 ^c (3,30)
GDL-B	801,10 ^{ab} (64,15)	0,99 ^{bc} (0,26)	0,45 ^a (0,02)	19,73 ^{bc} (4,91)
GDL-BE	853,85 ^b (96,10)	0,84 ^{ab} (0,15)	0,46 ^a (0,04)	18,08 ^{ab} (2,74)
Pr>F	0,021	0,282	0,730	0,919
Interacción	Si	No	No	No

*Los valores entre paréntesis son las desviaciones medias estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las medias de un mismo parámetro. AC-B: ácido cítrico y bicarbonato, AC-BE: ácido cítrico y bicarbonato encapsulado, SAPP10-B pirofosfato de sodio 10 y bicarbonato, SAPP10-BE: pirofosfato de sodio 10 y bicarbonato encapsulado, GDL-B: glucono-delta-lactona y bicarbonato, GDL-BE: glucono-delta-lactona y bicarbonato encapsulado.

Las diferentes estructuras macroscópicas adquiridas en la miga se explican por la desigual expansión de las burbujas durante el microhorneado que tuvieron las formulaciones, ya que éste es uno de los factores que proporciona las características finales del producto (Molins, 1991). Por ello, en general, las formulaciones que alcanzaron un menor tamaño de burbuja a altas temperaturas y tuvieron una expansión más controlada (AC-B, AC-BE y GDL-BE) presentaron mayor número de alveolos, aunque de menor tamaño, obteniendo un menor porcentaje de área total, lo que implica menor cantidad de aire incorporado en la miga. Por su parte, los impulsores químicos SAPP10-B, SAPP10-BE y GDL-B, que presentaron mayores tamaños de burbuja a 90°C (Fig. 2), dieron lugar a bizcochos con mayor cantidad de aire incorporado en la miga, ya que presentaron un área total de alveolos significativamente mayor ($p < 0.05$) que las otras tres formulaciones.

Todo ello concuerda con las aportaciones de Brose et al. (1996), quien describió la estructura de alveolos del ácido cítrico como más densa que la del pirofosfato ácido de sodio, situando a la glucono-delta-lactona como intermedia entre ambos.

Textura de los bizcochos

Los parámetros obtenidos a partir del análisis del perfil de textura (TPA) para las distintas formulaciones estudiadas, se presentan a continuación en la tabla 3. Se observa que tan sólo los parámetros de dureza y la masticabilidad presentan una interacción significativa entre el tipo de ácido y el de base.

TABLA 3. Valores medios de las propiedades texturales de los bizcochos.

	Dureza (N)	Elasticidad	Cohesividad	Masticabilidad (N)	Resiliencia
AC-B	2,61 ^d (0,37)	0,85 ^c (0,01)	0,52 ^b (0,05)	1,16 ^c (0,19)	0,22 ^{bc} (0,03)
AC-BE	2,37 ^{cd} (0,44)	0,83 ^b (0,02)	0,47 ^a (0,07)	0,94 ^b (0,27)	0,20 ^a (0,04)
SAPP10-B	1,13 ^a (0,39)	0,85 ^c (0,02)	0,59 ^c (0,04)	0,58 ^a (0,22)	0,25 ^d (0,02)
SAPP10-BE	1,33 ^a (0,50)	0,82 ^a (0,03)	0,52 ^b (0,04)	0,56 ^a (0,22)	0,21 ^{ab} (0,02)
GDL-B	1,84 ^b (0,21)	0,86 ^c (0,01)	0,53 ^b (0,05)	0,84 ^b (0,14)	0,24 ^{cd} (0,03)
GDL-BE	2,11 ^{bc} (0,73)	0,83 ^{ab} (0,03)	0,50 ^{ab} (0,05)	0,89 ^b (0,34)	0,22 ^{ab} (0,03)
Pr>F	0,229	0,655	0,147	0,035	0,150
Interacción	Si	No	No	Si	No

*Los valores entre paréntesis corresponden a la desviación media estándar. ^{a,b,c,d} las medias con letras diferentes en la misma columna corresponden a las medias que difieren significativamente ($p < 0,05$). AC-B: ácido cítrico y bicarbonato, AC-BE: ácido cítrico y bicarbonato encapsulado, SAPP10-B pirofosfato de sodio 10 y bicarbonato, SAPP10-BE: pirofosfato de sodio 10 y bicarbonato encapsulado, GDL-B: glucono-delta-lactona y bicarbonato, GDL-BE: glucono-delta-lactona y bicarbonato encapsulado.

La dureza es un parámetro de textura que hace referencia a la fuerza necesaria para deformar el alimento. Se observa que las formulaciones de AC-B, AC-BE y GDL-BE obtuvieron valores significativamente mayores ($p < 0,05$) que SAPP10-B y SAPP10-BE, que fueron los más blandos, comportamiento descrito para el SAPP por Conn (1981). La reducción de los valores de dureza podría deberse al mayor porcentaje de alveolos que presentaron estas formulaciones.

La elasticidad revela la habilidad de la muestra para recuperar su altura durante el tiempo que transcurre desde el final de la primera compresión y el comienzo de la segunda, asociándose este parámetro a la frescura y calidad de un producto aireado (Sanz et al., 2009). Los valores de elasticidad obtenidos muestran que todas las formulaciones que incluyen BE obtuvieron valores significativamente inferiores ($p < 0,05$) al resto. La reducción de este parámetro está asociada con una reducción del porcentaje total de aire, generando una estructura final más densa (Rodríguez, 2014). Pese a ello, como se ha visto en el apartado anterior, esta menor elasticidad no se vio reflejada de forma importante en la estructura macroscópica de la miga de los bizcochos.

En cuanto a la cohesividad, grado de deformación de un producto antes de romperse, se observa que la formulación SAPP10-B obtuvo el valor significativamente más alto ($p < 0,05$), siendo AC-B la que presentó el valor menor ($p < 0,05$)

La masticabilidad es un parámetro secundario muy relacionado con la dureza. Se observa que siguió una tendencia similar a la misma, ya que SAPP10-B y SAPP10-BE también consiguieron valores más bajos ($p < 0,05$) que el resto de las formulaciones y fue AC-B la que presentó el valor más alto

($p < 0.05$) por lo que necesita mayor número de masticaciones para dejar el alimento en las condiciones necesarias para su deglución.

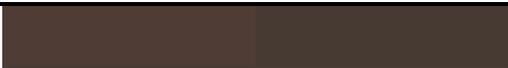
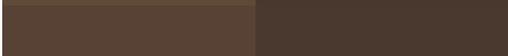
Los resultados de resiliencia, la cual expresa la capacidad de un material para recuperar su forma original, muestran que las formulaciones que incluyeron el bicarbonato encapsulado obtuvieron valores significativamente inferiores ($p < 0.05$), obteniendo SAPP10-B el valor más alto.

Medidas de color

Para examinar el color de los bizcochos se midieron los parámetros L^* , a^* , b^* de la corteza y la miga. Desde el punto de vista del consumidor estos parámetros no resultan de importancia por ello se calculan las diferencias globales de color apreciables por el ojo humano (ΔE^*) (Chiralt et al., 2007). Como referencia para calcular la ΔE^* se utilizó el bizcocho AC-B, ya que esta es la formulación utilizada habitualmente. Los resultados del cálculo de ΔE^* de muestran en la Tabla 4, donde además se encuentran representados los colores de cada uno de los bizcochos.

Todas las formulaciones excepto AC-BE presentaron diferencias apreciables en el color de la corteza ($\Delta E^* > 3$), las cuales fueron mayores para SAPP10-B y GDL-B que para el resto de los bizcochos. La miga presentó diferencias para los bizcochos SAPP10-B, SAPP10-BE y GDL-BE ($\Delta E^* > 3$). Como se puede observar, las diferencias de la miga fueron inferiores que las de la corteza, lo que resulta lógico ya que en esta última se producen en mayor grado las reacciones de Maillard y de caramelización típicas de los productos horneados.

TABLA 4. Valores del parámetro de color ΔE^* , y representación del color.

		ΔE^*	
	Corteza	Miga	
AC-B			
AC-BE	2,07	0,968	
SAPP10-B	8,79	3,40	
SAPP10-BE	4,17	3,32	
GDL-B	6,96	2,30	
GDL-BE	3,65	3,20	

Los valores de $\Delta E^ > 3$ muestran diferencias de color con el bizcocho. A la izquierda se encuentran los colores obtenidos mediante los parámetros L^* , a^* y b^* de cada tipo de bizcocho. AC-B: ácido cítrico y bicarbonato, AC-BE: ácido cítrico y bicarbonato encapsulado, SAPP10-B pirofosfato de sodio 10 y bicarbonato, SAPP10-BE: pirofosfato de sodio 10 y bicarbonato

encapsulado, GDL-B: glucono-delta-lactona y bicarbonato, GDL-BE: glucono-delta-lactona y bicarbonato encapsulado.

Análisis sensorial

FLASH PROFILE

Como ya se ha comentado, la prueba de *Flash Profile* se realizó en dos sesiones. En la primera sesión se le pidió a cada participante que creara una lista de atributos que describiesen las similitudes y diferencias de los bizcochos presentados.

Todos los términos generados por los participantes de la prueba se muestran en la Tabla 5. Se generaron un total de 48 términos (18 de textura, 11 de apariencia, 18 de sabor y 1 de olor). Se observa que los participantes dieron gran importancia a los atributos de textura, ya que obtuvo un total de 75 menciones, seguido del sabor (45), apariencia (35) y olor (2).

TABLA 5. Listado de términos generados en la primera sesión.

Textura	Apariencia	Sabor	Olor
Consistente (3)	Oscura (9)	Dulce (11)	Intenso (2)
Esponjosa (13)	Blanquecina	Ácido (8)	
Gomosa (3)	Azulada	Frutos rojos (4)	
Seca (7)	Verdosa	Edulcorado	
Granulosa (4)	Rojiza (5)	Aceitoso (3)	
Compacta (7)	Amarronada (6)	Salado (2)	
Pegajosa (2)	Grisácea (5)	No identificado (2)	
Masticable	Chocolate (2)	Afrutado (2)	
Apelmazada	Tamaño alveolos (3)	Menta	
Jugosa (4)	Rosada	Intenso (2)	
Arenosa (5)	Color intenso	Bizcocho	
Dura (5)		Neutro	
Frágil (2)		Extraño	
Blanda (4)		Rancio	
Quebradiza (7)		Amargo (2)	
Áspera (2)		Picante	
Elástica		Zanahoria	
Pastosa		Sabroso	
TOTAL: 75	TOTAL: 35	TOTAL: 45	TOTAL: 2

*Entre paréntesis aparece la frecuencia de mención de los términos nombrados en más de una ocasión.

En la segunda sesión de la prueba, cada catador realizó un ordenamiento de todos los bizcochos para los atributos que había generado en la sesión anterior. Con los datos obtenidos de cada participante se generó un mapa sensorial (figura 3) de las distintas formulaciones mediante un análisis factorial múltiple (AFM). Debido al gran número de términos generados, tan solo se

representan los términos más representativos (con carga factorial >0,60 y <-0,60, Rakotosamimanana, 2015) que se muestran junto a los ejes de la gráfica. El gráfico obtenido explica el 76,29 de la variabilidad de los datos experimentales mediante dos dimensiones.

La primera dimensión explica el 48,58 % de la variabilidad. En ella se describen los bizcochos AC-B y AC-BE como grisáceos, compactos, consistentes, duros y ácidos entre otros atributos. A su vez, los bizcochos GDL-B y SAPP-10-BE fueron percibidos principalmente como oscuros, quebradizos, esponjosos y dulces. En la segunda dimensión, dónde se explica el 28,11% de la variabilidad, se describe GDL-BE como duro, y SAPP10-B como esponjoso, frágil y quebradizo.

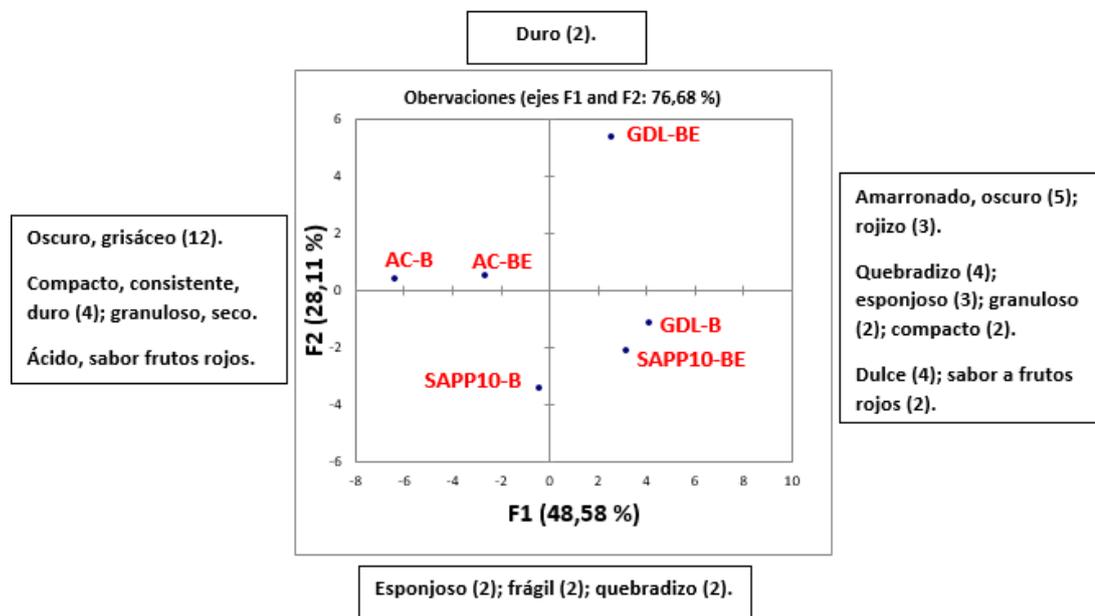


FIGURA 3. Gráfico de dos dimensiones del análisis factorial múltiple, que muestra las diferencias de atributos sensoriales entre las muestras utilizando los resultados del “Flash Profile”. Los atributos (con carga factorial >0,65 y <-0,65) se encuentran en los cuadros de texto para cada dimensión; la cantidad de veces que apareció el atributo se muestra entre paréntesis. AC-B: ácido cítrico y bicarbonato, AC-BE: ácido cítrico y bicarbonato encapsulado, SAPP10-B pirofosfato de sodio 10 y bicarbonato, SAPP10-BE: pirofosfato de sodio 10 y bicarbonato encapsulado, GDL-B: glucono-delta-lactona y bicarbonato, GDL-BE: glucono-delta-lactona y bicarbonato encapsulado.

Como se aprecia, los atributos de textura fueron los más generados por los catadores y los que mejor diferencian las muestras dentro del mapa. En base a estos atributos se pueden diferenciar los bizcochos en dos grupos: SAPP10-B, SAPP10-BE y GDL-B (percibidos como esponjosos y quebradizos) y AC-B, AC-BE y GDL-BE (percibidos como duros y compactos). Estos resultados están relacionados con los obtenidos mediante el análisis de textura (TPA), donde el primer grupo citado obtuvo valores inferiores que el segundo grupo en cuanto al parámetro de dureza. Este primer grupo también tenía alveolos

más grandes en la miga que estarían relacionados con la menor dureza y mayor fragilidad percibida, mientras que el segundo grupo presentó celdas más pequeñas lo que podría explicar que fueran percibidos como más compactos. Asimismo, se confirma que las diferencias de color observadas instrumentalmente en los bizcochos, fueron apreciadas por los consumidores.

PRUEBA DE PREFERENCIA-ACEPTACIÓN

Se realizó una prueba de preferencia-aceptación para conocer la valoración de los atributos textura, sabor y aceptación global de las distintas formulaciones de bizcochos. Los resultados se muestran en la figura 4

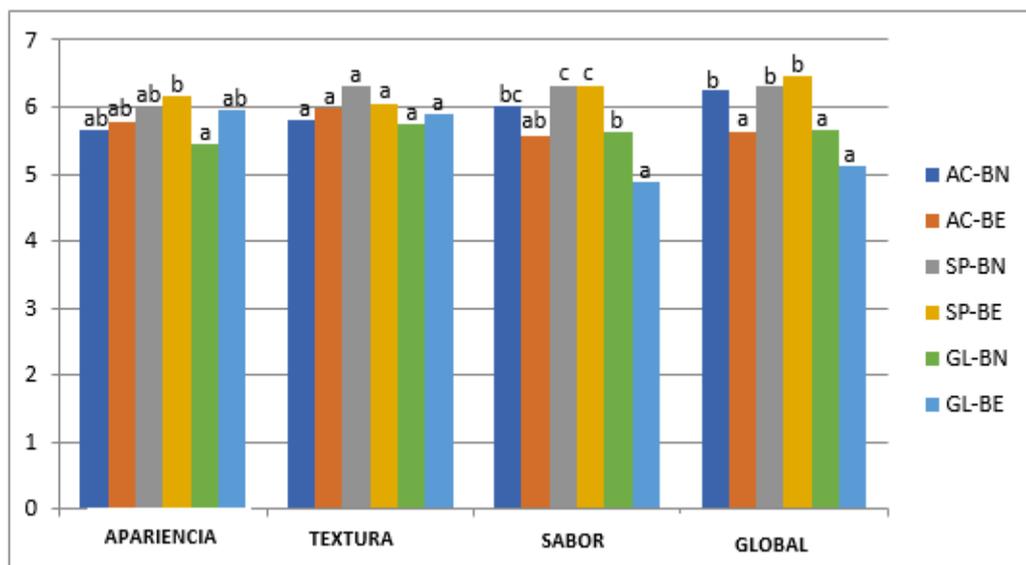


Figura 4. Valores medios de la aceptabilidad de los bizcochos. Las diferencias entre letras indican diferencias significativas para el mismo atributo ($p < 0.05$). AC-B: ácido cítrico y bicarbonato, AC-BE: ácido cítrico y bicarbonato encapsulado, SAPP10-B pirofosfato de sodio 10 y bicarbonato, SAPP10-BE: pirofosfato de sodio 10 y bicarbonato encapsulado, GDL-B: glucono-delta-lactona y bicarbonato, GDL-BE: glucono-delta-lactona y bicarbonato encapsulado.

El análisis estadístico mostró que la apariencia de los bizcochos solo presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las formulaciones SP-BE y GL-BN, siendo el primero valorado como el que tuvo mejor aspecto. En cuanto al atributo textura, los catadores no apreciaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre ninguna de las muestras presentadas. Los dos tipos de bizcochos elaborados con SAPP10 fueron los mejor valorados ($p < 0.05$) en cuanto al sabor; la formulación con GL-BE obtuvo la peor puntuación. Por último, se observa que los bizcochos AC-BN, SP-BN y SP-BE tuvieron una valoración global significativamente ($p < 0.05$) mejor que el resto de las formulaciones.

CONCLUSIÓN

Los resultados mostraron que tanto el tipo ácido utilizado como el tipo de bicarbonato produjeron modificaciones en las características de los bizcochos, y que éstas fueron apreciadas por los catadores. Entre las seis formulaciones estudiadas se aprecian dos tendencias diferentes de comportamiento. Por una parte, los bizcochos SAPP10-B, SAPP10-BE y GDL-B incorporaron gran cantidad de aire durante el horneado, lo que formó burbujas de gran tamaño en la masa. Esto ocasionó la presencia de alveolos de gran tamaño y mayor porcentaje de aire en la miga de los bizcochos, provocando valores bajos de dureza. Estos bizcochos fueron descritos como quebradizos, esponjosos, dulces y amarronados. Por otra parte, las formulaciones AC-B, AC-BE y GDL-BE formaron burbujas de tamaño más pequeño y presentaron mayor cantidad de alveolos, pero de menor tamaño, incorporaron menor aire en la miga y presentaron valores elevados de dureza. Estos bizcochos fueron descritos como compactos, duros, ácidos y grisáceos. Las formulaciones que presentaron mayor aceptabilidad global fueron AC-B, SAPP10-B y SAPP10-BE. Según estos resultados se podría sugerir el uso de SAAP10 con bicarbonato tanto encapsulado como no, para mejorar las características de los bizcochos elaborados con fibra.

REFERENCIAS

- Arvanitoyannis, S. (2008). Potential and representatives for application of environmental management system (EMS) to food industries. En: Arvanitoyannis, S. (eds), *Waste Management for the Food Industries*. Academic Press, Amsterdam, 3–38 pp.
- Bodart, M., de Penaranda, R., Deneyer, A., y Flamant, G. (2008). Photometry and colorimetry characterisation of materials in daylighting evaluation tools. *Building and Environment*, 43(12), 2046–2058 pp.
- Book, S., y Brill, R. (2015). Effects of chemical leavening on yellow cake properties. *Cereal Foods World*, 60(2), 71-75 pp.
- Brose, E., Becker, G., Bouchain, W. (1996). *Chemical Leavening Agents*. Chemische Fabrik Budenheim Rudolf A. Oetker. Budenheim, 81 pp.
- Chiralt Boix, A., Martínez Navarrete, N., González Martínez, C., Talens Oliag, P., y Moraga Ballesteros, G. (2007). *Propiedades Físicas De Los Alimentos*. Universitat Politècnica de València, 203 pp.
- Conn, J. F. (1981) Chemical leavening systems in flour products. *Cereal foods world*, 26(3),119-123 pp.
- Dairou, V., y Sieffermann, J. M. (2002). A comparison of 14 jams characterized by conventional profile and a quick original method, the flash profile. *Journal of food science*, 67(2), 826-834 pp.

- Del Pozo, S., García, V., Cuadrado, C., Ruiz, E., Valero, T., Ávila, J. M., y Varela-Moreiras, G. (2012). *Valoración nutricional de la dieta española de acuerdo al Panel de Consumo Alimentario*. Fundación Española de la Nutrición (FEN). Madrid, 142 pp.
- DeZarn, T. G. (1995). Food ingredients encapsulation: An overview. En S. J. Risch y G. A. Reineccius (eds), *Encapsulation and controlled release of food ingredients*. ACS symposium series. Washington, 74-86 pp.
- EFSA (2010). Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to dietary fibre (ID 744, 745, 746, 748, 749, 753, 803, 810, 855, 1415, 1416, 4308, 4330) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006 *EFSA Journal*, 8(10), 23 pp.
- FAO (2011) *Global food losses and food waste. Extent causes and prevention*. Roma, 37 pp.
- Foschia, M., Peressini, D., Sensidoni, A., y Brennan, C.S. (2013) The effects of dietary fibre addition on the quality of common cereal products. *Journal of Cereal Science*. 58(2), 216–227 pp.
- Gibbs, F., Kermasha, S., Alli, I., Mulligan, C. (1999). Encapsulation in the food industry: a review. *International journal of food sciences and nutrition*, 50(3), 213-224 pp.
- Labaw, G. D. (1982). Chemical leavening agents and their use in bakery products. *Bakers Digest*, (56), 16-21 pp.
- Lai, H., y Lin, T. (2006). Bakery products: science and technology. En Corke, H., Leyn, I., Nip, W-K., y Swanson, R. (eds), *Bakery products: Science and technology*. Blackwell Publishing. Iowa, 3-65 pp.
- Lampila, L. E. (2013). Applications and functions of food-grade phosphates. *Annals of the New York academy of sciences*, 1301(1), 37-44 pp.
- Meiners, J. (2012). Fluid bed microencapsulation and other coating methods for food ingredient and nutraceutical bioactive compounds. En: Garti, N., y McClements (eds) *Encapsulation Technologies and Delivery Systems for Food Ingredients and Nutraceuticals*. Woodhead Publishing. Cambridge, 151-174 pp.
- Molins, R. (1991). Phosphates in food. CRC Press. Boca Raton, 253 pp.
- Penfield, M. P., & Campbell, A. M. (1990). *Experimental food science*. Academic press. San Diego, 451 pp.
- Quiles, A., Campbell, G. M.: Struck, S., Rohm, H., y Hernando, I. (2016). Fiber from fruit pomace: A review of applications in cereal-based products. *Food Reviews International*, 34(2), 162-181 pp.
- Rakotosamimanana, V. R., Arvisenet, G., & Valentin, D. (2015). Role of languages in consumers' food description: Contrasting Malagasy and French descriptors of Moringa oleifera leaf powder. *Journal of Sensory Studies*, 30(3), 181–194 pp.
- Rodríguez-García, J., Sahi, S. S., y Hernando, I. (2014). Optimizing mixing during the sponge cake manufacturing process. *Cereal Foods World*, 59(6), 287-292 pp.
- Rohm, H., Brennan, C., Turner, C., Günther, E., Campbell, G. Hernando, I., y Kontogiorgos, V. (2015). Adding value to fruit processing waste: innovative ways to incorporate fibers from berry pomace in baked and extruded cereal-based foods-a SUSFOOD project. *Foods*, 4(4), 690-697 pp.

- Sanz, T.; Salvador, A.; Baixauli, R.; Fiszman, S.M. 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.
- Stauffer, C. (1990). *Functional additives for bakery foods*. Ed. Van Nostrand Reinhold. New York, 285 pp.
- Tarrega, A., Rizo, A., y Fiszman, S. (2017). Sensory space of battered surimi rings: Key features determined by Flash Profiling. *Journal of Sensory Studies*, 32(4).
- Tarrega, A., y Tarancon, P. (2014). Free-choice profile combined with repertory grid method. En P. Varela y G. Ares (eds), *Novel techniques in sensory characterization and consumer profiling*. CRC Pres. Boca Raton, 157–174 pp.
- Walsh, J.L., Ross, C.C. y Valentine, G.E. (1993). Food processing waste. *Water Environ Res* 65(4), 402–407 pp.