

Effect of several egg substitutes on the physical and sensory characteristics of an egg-free cupcake

Fani Sofía Guardado-Sánchez¹; María Lourdes Pineda-Castro²; Elba María Cubero-Castillo³; Jacqueline Aiello-Ramírez⁴

¹National Autonomous University of Honduras, Honduras, fani.guardado@unah.edu.hn

^{2,3,4}University of Costa Rica, Costa Rica, maria.pinedacastro@ucr.ac.cr, elba.cubero@ucr.ac.cr, jaiello246@gmail.com

Abstract— Eggs perform multiple functions in bakery products; however, they are also among the most common allergens, making the study of egg substitutes in such products necessary. The objective of this research was to evaluate the effect of several egg substitutes on the physical and sensory characteristics of an egg-free cupcake. The study was conducted at the Department of Food Technology of the University of Costa Rica. Six egg substitutes were evaluated: whey protein concentrate (WPC), soy protein concentrate (CPS), a mixture of rice-casava flours and xanthan gum (HA), chia mucilage (MC), flaxseed mucilage (ML) and a commercial substitute (SC), in addition to a control formulation containing egg (H). Batter density, viscosity and color were evaluated in the cupcake batters, while water activity (a_w), moisture content, specific volume, color and texture profile analysis (TPA) were measured in the baked cupcakes. A sensory evaluation of overall acceptability was also carried out with 112 consumers. Sensory results indicated preference and liking for H, SC, MC and HA. It was determined that HA resembled H in most of the physicochemical and sensory parameters; therefore, using a mixture of rice-casava flours and xanthan gum as an egg substitute is promising.

Keywords—Food allergy, proteins, mucilage, starch, overall liking.

Efecto de diferentes sustitutos de huevo sobre las características físicas y sensoriales de un quequito libre de huevo

Fani Sofía Guardado-Sánchez¹; María Lourdes Pineda-Castro²; Elba María Cubero-Castillo³; Jacqueline Aiello-Ramírez⁴

¹Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras, fani.guardado@unah.edu.hn

^{2,3,4}Universidad de Costa Rica, Costa Rica, maria.pinedacastro@ucr.ac.cr, elba.cubero@ucr.ac.cr, jaiello246@gmail.com

Resumen— El huevo cumple múltiples funciones en los productos de panadería; sin embargo, también es uno de los alérgenos más comunes, por lo que es necesaria la investigación de sustitutos de huevo en este tipo de productos. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de diferentes sustitutos de huevo sobre las características físicas y sensoriales de un quequito libre de huevo. El estudio se llevó a cabo en la Escuela de Tecnología de Alimentos de la Universidad de Costa Rica. Se evaluaron seis sustitutos de huevo: concentrado de proteína de suero lácteo (WPC), concentrado de proteína de soya (CPS), mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán (HA), mucílago de chía (MC), mucílago de linaza (ML) y un sustituto comercial (SC), además de una formulación control con huevo (H). En las masas de los queques se midió la densidad relativa, viscosidad y color, mientras que en los quequitos se midió la actividad de agua (a_w), contenido de humedad, volumen específico, color y el análisis de perfil de textura (TPA). Además, se realizó una prueba sensorial de agrado general con 112 consumidores. Los resultados de la prueba sensorial indicaron preferencia y agrado hacia H, SC, MC y HA. Se determinó que HA se asemejó a H en más parámetros fisicoquímicos y sensoriales que los demás sustitutos; por lo tanto, su uso como sustituto de huevo es promotor.

Palabras clave— Alergia alimentaria, proteínas, mucílago, almidón, agrado general.

I. INTRODUCCIÓN

El huevo de gallina es considerado como un ingrediente multifuncional tanto a nivel culinario como en la industria alimentaria, ya que es capaz de realizar varias funciones tecnológicas simultáneas en alimentos formulados. Algunas de sus propiedades son la capacidad espumante, efecto como emulsificante, gelificante, espesante, colorante y aromatizante. Dichas características lo convierten en un ingrediente ampliamente utilizado en la industria de alimentos [1].

Es importante destacar el uso de los huevos en la industria del pan, ya que estos actúan como agentes aglutinantes y de fermentación y, específicamente, las yemas aportan riqueza sensorial y humedad a los productos horneados [2]. Referencia [3] describe que los huevos también son capaces de dar estructura, emulsionar grasas y líquidos, y aportar materia grasa, humedad, sabor, color y valor nutricional a los productos.

Dentro de la gama de productos de panadería, los queques (pasteles tipo bizcocho) ocupan un lugar importante [4], ya que presentan un mercado en constante crecimiento [5]. La harina, los huevos y la grasa son los ingredientes mayoritarios

en la elaboración de queques, siendo el huevo, un ingrediente vital por sus propiedades nutricionales y multifuncionales. Por su parte, la yema proporciona emulsificación, color y sabor, mientras que la clara brinda coagulación y formación de espuma [6].

En contraste con sus propiedades tecnológicas, se debe tomar en cuenta que la hipersensibilidad al huevo es una de las alergias más comunes, principalmente en niños, con una prevalencia del 2% [7] [8]. Algunas instituciones, como Food Allergy Canada [9] y Food Allergy Research & Education [10], describen que el huevo es uno de los alérgenos prioritarios y más comunes, afectando entre el 1,6 y 3,2% de la población a nivel mundial [11], y se estima que hasta un 60% de la población sufre de alergias alimentarias no detectadas [12], lo que provoca una disminución en la calidad de vida, tanto en niños como en adultos [13]. Esto conlleva a que las alergias alimentarias sean consideradas una preocupación importante de salud pública en muchos países desarrollados [14].

La alergia al huevo presenta mecanismos y manifestaciones similares a los de otras alergias alimentarias, provocando reacciones que pueden desencadenar erupciones cutáneas, urticaria, eccema, y otros síntomas que pueden afectar el tracto gastrointestinal, sistema respiratorio y el sistema cardiovascular [14] [15].

Considerando que el huevo es un ingrediente tan importante en la industria del pan, y dado su potencial alérgico, se considera necesaria la investigación en el desarrollo de productos con sustitutos de huevo. De hecho, en los últimos años se ha observado una tendencia del mercado hacia los productos “free from” (“libre de”) [16] y, en el caso de los sustitutos de huevo, se estima que el mercado global de estos alcanzó los 1,5 mil millones de dólares en el año 2021, con un crecimiento estimado del 8,3% al 2031 [17].

En este sentido, se han hecho diversas investigaciones para la sustitución total o parcial del huevo con diversos ingredientes en productos de panadería, entre los que destacan algunos hidrocoloides, solos o en combinación con emulsificantes [18] [19], banano, chía y leche de soya en polvo [20] y concentrado o aislado de proteína de suero lácteo solo o en combinación con emulsificantes [21] [22] [23], entre otros.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de seis sustitutos de huevo sobre las características físicas y

sensoriales de un quequito (pastel individual sin cobertura, conocido en inglés como “cupcake”) libre de huevo.

II. METODOLOGÍA

La investigación fue de tipo cuantitativo experimental, en la cual se evaluó: (1) el efecto de seis sustitutos de huevo en las características físicas de las masas de los quequitos (previo al horneado) y (2) el efecto en las características físicas y sensoriales de los quequitos horneados. Los sustitutos de huevo evaluados fueron: concentrado de proteína de suero lácteo (WPC), concentrado de proteína de soya (CPS), mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán (HA), mucílago de chía (MC), mucílago de linaza (ML) y un sustituto comercial (SC), cuyos ingredientes en la etiqueta eran almidón de papa, harina de tapioca, carbonato de calcio, ácido cítrico y metilcelulosa.

En ambos casos se utilizó un diseño de bloques completos al azar con un arreglo unifactorial de siete tratamientos (seis formulaciones con sustitutos de huevo y una formulación control con huevo (H)). Se hicieron tres repeticiones del experimento.

Las variables que se midieron en las masas fueron: color, densidad relativa y viscosidad. Mientras que en los quequitos se midió la actividad de agua (a_w), humedad, color, análisis de perfil de textura (TPA, por sus siglas en inglés), volumen específico y agrado general.

El proceso se realizó en la Planta Piloto del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología (CITA) y los análisis se realizaron en los laboratorios de Análisis Sensorial y de Química de la Escuela de Tecnología de Alimentos de la Universidad de Costa Rica, sede Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, San José.

A. Preparación de los quequitos

Para la preparación del quequito control se tomó como base la formulación utilizada por la referencia [24], con algunos ajustes. Los ingredientes que se utilizaron fueron: harina de trigo (25,2%), huevos (24,2%), margarina (21,6%), azúcar (18,4%), jugo de naranja (9,7%), polvo de hornear (0,7%) y esencia de vainilla (0,3%), los cuales se adquirieron en la localidad. El proceso general de elaboración se describe en la Fig. 1.

B. Preparación de los sustitutos de huevo

Los sustitutos de huevo utilizados se muestran en la Fig. 2 y se prepararon de la siguiente manera. En primer lugar, el sustituto comercial, se preparó siguiendo las instrucciones del empaque, de modo que se sustituyó un huevo (peso promedio 50 g) por 6 g de sustituto y 30 mL de agua.

El concentrado de proteína de suero lácteo se preparó de acuerdo con lo sugerido por la referencia [22], con algunas modificaciones. El WPC se hidrató con agua a temperatura ambiente (20°C aproximadamente), con agitación constante hasta obtener una concentración del 13% (p/p). De esta dispersión se pesó la cantidad equivalente a la masa en gramos

de huevo indicada en la formulación. De esta misma manera se trató el CPS.

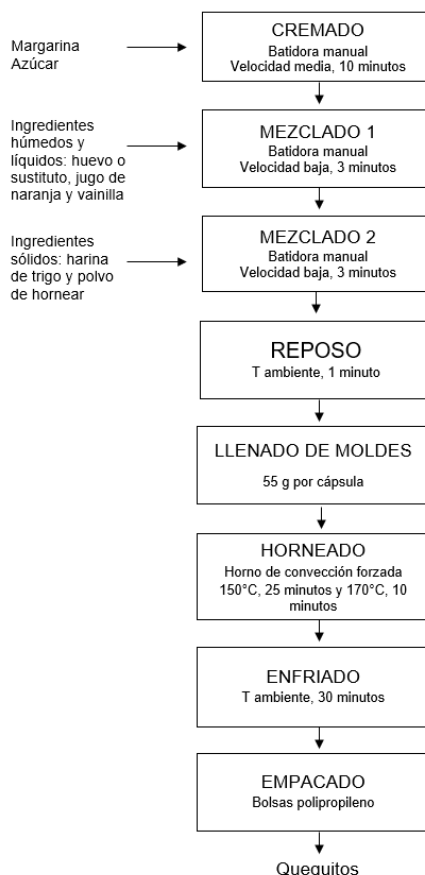


Fig. 1 Diagrama de bloques para la elaboración de los quequitos.

Con respecto a los mucílago y la mezcla de harinas, su preparación se definió mediante pruebas preliminares. Para la extracción del mucílago de linaza se lavaron las semillas y se preparó una mezcla de semillas y agua (al 2% p/v), se llevó a ebullición a 95,5°C aproximadamente, con agitación constante. Al finalizar, se retiró del fuego y se dejó enfriar durante una hora, y posteriormente, se dejó en reposo durante 15 horas en refrigeración (6°C). Finalmente, la solución se filtró a través de un colador para retener las semillas. Una vez extraído el mucílago, se pesó la cantidad equivalente a la masa en gramos de huevo indicada en la formulación. El mucílago de chía se extrajo siguiendo este mismo procedimiento con una concentración de 5% p/v.

Finalmente, la mezcla de harinas de arroz-yuca con goma xantán se preparó de la siguiente manera: se mezclaron las harinas en una proporción 50:50 con goma xantán al 0,1%; a esta mezcla se le adicionó agua potable hasta una concentración de sólidos de 12% y se mezcló hasta obtener una masa homogénea que posteriormente se agregó a la formulación en sustitución de la masa de huevo.

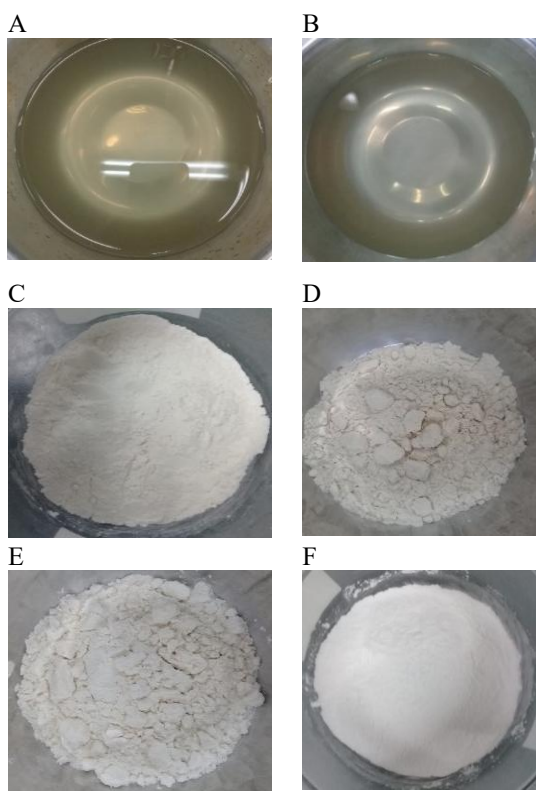


Fig. 2 Sustitutos de huevo evaluados. (A) Mucilago de chí, (B) Mucilago de linaza, y, previo a la adición del agua: (C) Mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán, (D) Concentrado de proteína de soya, (E) Concentrado de proteína de suero lácteo y (F) Sustituto comercial.

C. Análisis físicos

En las masas de los quequitos se midió la densidad relativa, viscosidad y color. La densidad se midió siguiendo el método reportado por la referencia [25], donde se dividió el peso de la masa que cabe en un volumen conocido entre la masa del agua destilada que ocupa ese mismo volumen. Todos los análisis físicos se realizaron por triplicado a 23°C, a excepción del contenido de humedad.

La viscosidad de las masas se determinó siguiendo el método sugerido por la referencia [25], con algunas modificaciones. Se midió utilizando un viscosímetro rotacional Brookfield (Modelo 98936-10, Cole Parmer, Vernon Hills, IL, USA). Se depositaron 400 mL de la muestra en un vaso de precipitados de 600 mL y la medición se realizó utilizando el husillo N°7 a 20 RPM; la lectura se realizó a los 30 segundos, según recomienda el manual del equipo [26].

La medición instrumental de color de las masas y los quequitos se realizó utilizando el colorímetro Hunter Lab Color Flex EZ, previamente calibrado, utilizando la escala CIELch. Para realizar la medición se colocó la muestra en un porta-muestras (placa de Petri de 5 cm) y se tomaron tres mediciones por muestra, girando la placa a un ángulo de 90°. Se trabajó con una fuente de luz D65, con un ángulo del observador de 10° y un ángulo de incidencia de 45°/0°.

Adicional al color, en los quequitos también se midió la actividad de agua (a_w), el porcentaje de humedad, el volumen específico y el análisis de perfil de textura (TPA). El a_w se determinó utilizando un medidor de actividad de agua (Aqualab), siguiendo el método descrito por referencia [27]. Las muestras pulverizadas se colocaron en el porta muestras del equipo, previamente calibrado según las indicaciones del fabricante, y se procedió con la lectura del a_w .

El contenido de humedad de los quequitos se determinó siguiendo el método sugerido por la referencia [28], basado en el método 27.005 del AOAC (1990), pesando dos gramos de la muestra y manteniéndola a una temperatura entre 98 y 100 °C hasta llegar a peso constante. La diferencia de peso antes y después del tratamiento es el contenido de agua de los quequitos.

El volumen específico (mL/g) (V.E.) de los quequitos se calculó por el método de desplazamiento de semillas descrito por la referencia [27], el cual consiste en colocar semillas de mijo en un recipiente cilíndrico graduado y marcar la altura alcanzada. Después se retiran las semillas y se introduce el quequito, se vierten las semillas y se nivela con una espátula. Se mide la distancia de desplazamiento (en mL) de las semillas a partir de una marca inicial, la cual corresponde al volumen del quequito, según se describe en (1).

$$V.E. = ((\text{volumen quequito} + \text{semillas}) - \text{volumen semillas}) / \text{masa quequito} \quad (1)$$

Para el TPA (dureza, elasticidad, cohesividad, masticabilidad y adhesividad) de los quequitos, se utilizó un texturómetro TA.XTPlus de Stable Microsystems, utilizando los parámetros reportados por referencia [29], con una celda de carga de 50 kg. La compresión se realizó en dos ciclos, empleando como dispositivo el cilindro de aluminio P/25 de 2,5 cm de diámetro, a una velocidad de compresión de 2 mm/s, una distancia de compresión de 10 mm y un tiempo de 5 s entre ciclos. Los quequitos se prepararon cortando una porción de la parte superior, con el objetivo de crear una superficie de base horizontal en la cual apoyarlos. Posteriormente, el quequito se invirtió para realizar la medición (Fig. 3).

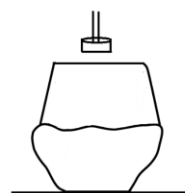


Fig. 3 Posición del quequito previo al análisis de textura.

D. Análisis sensorial

Se realizó una prueba de agrado general con 112 consumidores (panelistas no entrenados) de este tipo de productos. Durante la prueba, a cada panelista se le sirvieron las siete muestras de quequitos, que corresponden a las siete formulaciones evaluadas: formulación H (con huevo) y seis

formulaciones con sustitutos de huevo (WPC, CPS, HA, MC, ML y SC).

El tamaño de cada muestra evaluada fue de $\frac{1}{4}$ de quequito (Fig. 4). En todos los casos, las muestras se sirvieron codificadas, aleatorizadas y balanceadas; además se utilizó luz blanca y se hizo uso de un extractor de aire ambiental.



Fig. 4 Ejemplo del orden de presentación de las muestras de quequitos evaluadas.

E. Análisis estadístico

Para las variables físicas de las masas y los quequitos se hizo un análisis de varianza (ANOVA) y se aplicó una prueba de comparación de medias de Tukey en los casos en que se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos. Se utilizó el software estadístico JMP 7 (SAS Institute Inc).

Para el tratamiento de los datos obtenidos en la evaluación sensorial se utilizó el software estadístico XLSTAT (Addinsoft). Se hizo un análisis de conglomerados (clusters) de consumidores utilizando el método de Ward y un ANOVA para cada conglomerado. Además, se aplicó una prueba de comparación de medias LSD de Fisher en los que casos en que se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

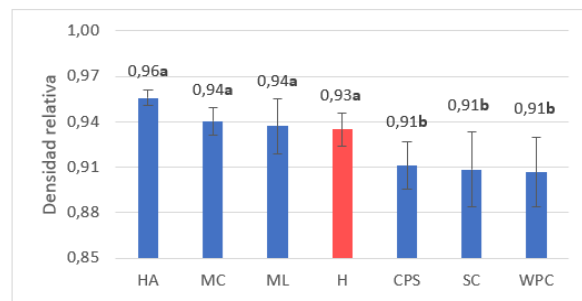
A. Caracterización física de la masa de los quequitos

Densidad relativa

Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en la densidad relativa de las masas entre las diferentes formulaciones (Fig. 5), donde HA, MC y ML simularon la densidad relativa de la formulación con huevo.

Referencias [30] y [31] describen que la densidad de las masas se relaciona con la incorporación de burbujas durante el mezclado, de manera que a menor densidad, mayor cantidad de burbujas incorporadas, lo que a su vez se relaciona con el volumen de los queques. En tal sentido, se esperaría que los quequitos elaborados con las masas que presentaron menor densidad (CPS, SC y WPC) expresen buenas características en cuanto al volumen específico de los quequitos. Otros

investigadores encontraron un efecto similar de la proteína de suero lácteo y soya en sus estudios [32] [33].

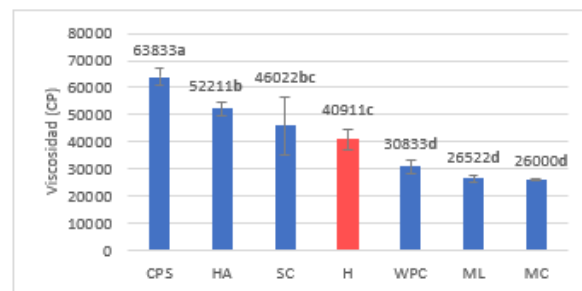


Nota: Se presentan los promedios ($n = 3$) $\pm$ I.C. al 95%; entre promedios con letra diferente existe diferencia significativa ($p \leq 0,05$).

Fig. 5 Densidad relativa de las masas de quequitos.

Viscosidad

Los resultados mostrados en la Fig. 6 indican que se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en la viscosidad de las masas entre las diferentes formulaciones, donde el sustituto comercial (SC) se asemejó en la viscosidad de la formulación con huevo (H).



Nota: Se presentan los promedios ($n = 3$) $\pm$ I.C. al 95%; entre promedios con letra diferente existe diferencia significativa ($p \leq 0,05$).

Fig. 6 Viscosidad de las masas de quequitos.

Es notorio observar que CPS y HA presentaron un alto poder viscosizante (mayores que la masa con huevo y SC), lo que podría ayudar en la incorporación de aire en la masa [30] y de esta manera favorecer el volumen del producto final. Sin embargo, la alta viscosidad también podría afectar la expansión durante el horneado, por lo que predecir un comportamiento de estos sustitutos es incierto [31].

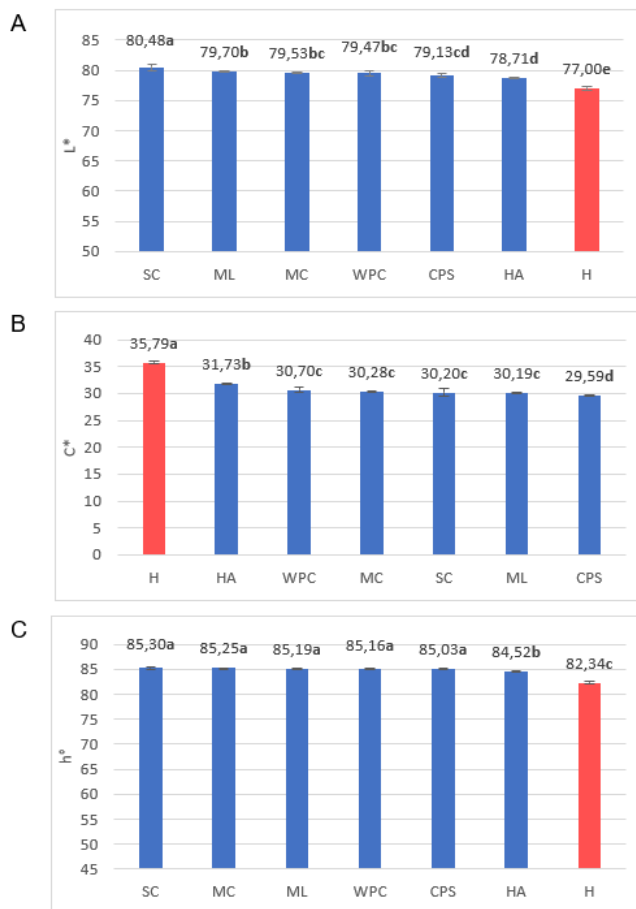
Los resultados también evidenciaron que las masas con WPC, ML y MC presentaron viscosidades mas bajas que la formulación con huevo, lo que podría interferir en la retención de burbujas de aire en el interior de la masa [34] y ejercer un efecto negativo en el volumen específico en los quequitos elaborados con dichos sustitutos.

Se destaca que, tanto en la densidad relativa como en la viscosidad, el SC demostró resultados favorables, es decir, una

baja densidad relativa y viscosidad que no difiere de la formulación con huevo ($p>0,05$).

Color

Los resultados de los parámetros de color (Luminosidad L^* , Chroma C^* y ángulo h°) de las masas se ilustran en la Fig. 7. Se encontraron diferencias significativas ($p\leq 0,05$) en los tres parámetros de color entre las diferentes formulaciones. Se debe resaltar que la masa control (H) tuvo la menor luminosidad (L^*), mayor pureza del color (c^*) y menor h° , aunque todas las masas tuvieron coloraciones amarillas (h° cercano a 90°).



Nota: Se presentan los promedios ($n=3$) $\pm$ I.C. al 95%; entre promedios con letra diferente existe diferencia significativa ($p\leq 0,05$).

Fig. 7 Parámetros de color (A) L^* , (B) C^* y (C) h° de las masas de los quequitos.

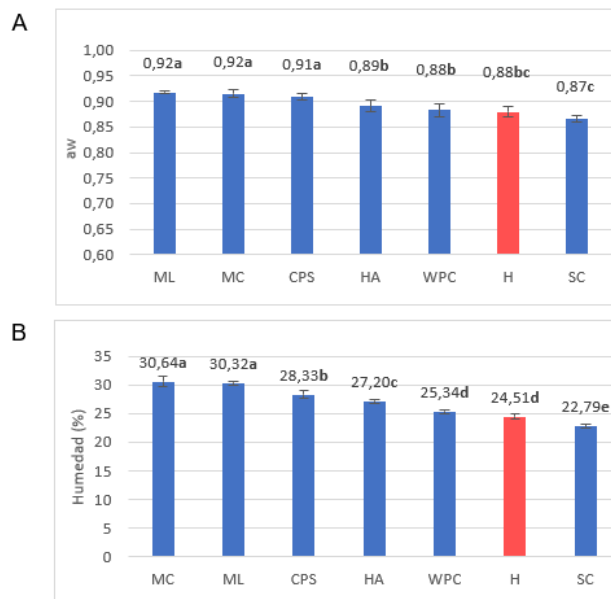
Las diferencias de color de la masa con huevo en comparación con las masas que contienen sustitutos, se relacionan con la presencia de los carotenoides luteína y zeaxantina, en la yema de huevo que, a su vez, ejercen una función colorante en la masa de los quequitos [35]. Además de que los sustitutos utilizados carecen de componentes colorantes, como se observó en la Fig. 2.

Se destaca que HA fue la formulación más cercana a H en todos los parámetros de color, por lo que se calculó la diferencia de color entre ambas formulaciones, obteniendo un $\Delta E^* = 4.59$, la cual es una diferencia que podría ser perceptible al ojo humano [36].

B. Análisis físicos de los quequitos

A_w y contenido de humedad

Se encontraron diferencias significativas ($p\leq 0,05$) en el a_w y contenido de humedad (Fig. 8) de los quequitos con las diferentes formulaciones. El a_w y contenido de humedad son parámetros que se asocian con la estabilidad microbiológica de los quequitos y, por lo tanto, con su vida útil [37]; en tal sentido, se esperaría que HA, WPC y SC tengan una vida útil similar a la formulación H.



Nota: Se presentan los promedios ($n=3$) $\pm$ I.C. al 95%; entre promedios con letra diferente existe diferencia significativa ($p\leq 0,05$).

Fig. 8 Medias de (A) a_w y (B) Contenido de humedad de los quequitos.

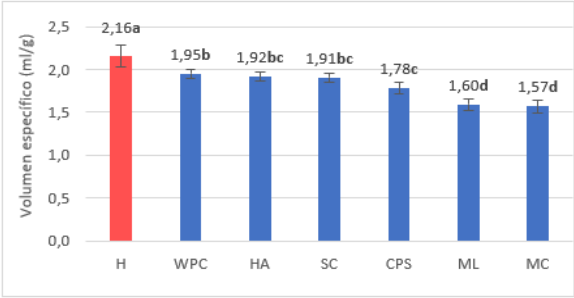
Se destaca que las diferentes formulaciones de queques presentaron un contenido de humedad entre 18 y 30%, rango considerado como normal en este tipo de productos [38].

Volumen específico

Los resultados del volumen específico de los quequitos se muestran en la Fig. 9, en donde se encontraron diferencias significativas ($p\leq 0,05$) entre las formulaciones. Los sustitutos WPC, HA y SC fueron los que produjeron los productos más similares al producto H en este parámetro. El efecto del WPC en favorecer el volumen de los queques se ha reportado por otros investigadores en estudios similares [32] [22].

El efecto positivo de HA y SC en el volumen específico de los queques probablemente se debe a la presencia de

hidrocoloides, que se describen como agentes que mejoran la calidad de los productos de panificación [39]. Especialmente, a la goma xantán (presente en HA) se le atribuye el poder de incorporar y retener las burbujas de aire presentes en la masa de los queques, lo que a su vez puede favorecer el volumen específico de estos [39] [40].



Nota: Se presentan los promedios (n=3) ± I.C. al 95%; entre promedios con letra diferente existe diferencia significativa (p≤0,05).

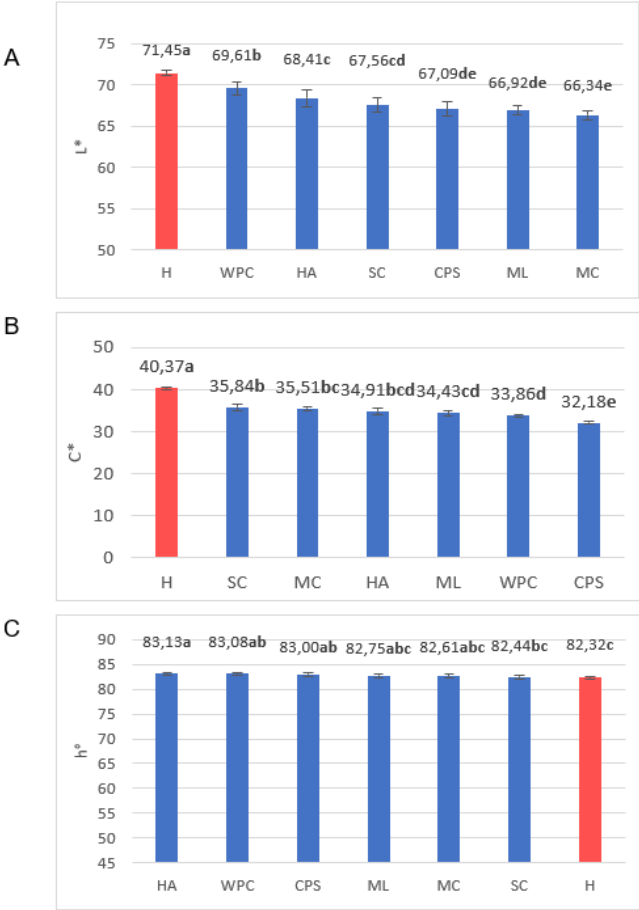
Fig. 9 Volumen específico de los quequitos.

Es importante relacionar el volumen específico del quequito con la densidad de la masa, como se mencionó anteriormente. Las masas que presentaron menor densidad (CPS, SC y WPC) no necesariamente mejoraron el volumen específico de los quequitos, ya que la masa elaborada con HA fue la que mayor densidad presentó y, sin embargo, generó un quequito con un alto volumen específico. Mientras que la viscosidad de la masa presentó una mejor relación con el volumen específico de los quequitos, ya que el sustituto WPC presentó una menor viscosidad, pero cercana a la del huevo, y se acercó mucho más al volumen específico del quequito con huevo. Las masas con los sustitutos HA y SC mostraron una viscosidad cercana pero mayor que la del huevo y los correspondientes quequitos presentaron un menor volumen específico. Por lo tanto, una viscosidad de la masa mayor a 50000 cP o menor a 30000 cP no permitió la retención del gas en la estructura del quequito, en contraste con lo reportado en la literatura [30].

Color

La Fig. 10 detalla los resultados de los parámetros de color (luminosidad L*, chroma C* y ángulo h°) de las distintas formulaciones de quequitos. En los tres casos hubo diferencias significativas (p≤0,05) entre los tratamientos.

La formulación control destacó por ser la más luminosa, con mucho mayor pureza de color y menor h°, aunque todas las formulaciones tuvieron coloraciones amarillas (h° cercano a 90°). Debido a las diferencias encontradas se calculó la diferencia de color ΔE* entre H y las formulaciones con sustitutos de huevo, para determinar si las diferencias eran perceptibles por el ojo humano.



Nota: Se presentan los promedios (n=3) ± I.C. al 95%; entre promedios con letra diferente existe diferencia significativa (p≤0,05).

Fig. 10 Parámetros de color (A) L*, (B) C* y (C) h° de los quequitos.

Los resultados de la diferencia de color ΔE* se muestran en la Tabla 1 e indican que en todos los casos la diferencia es perceptible al ojo humano (ΔE*>5) [36], siendo el sustituto comercial (SC) el que presenta la menor diferencia con respecto al control. Asimismo, se destaca que SC fue también el sustituto que más se asemejó a H en el croma y h° (Fig. 10 - B y C). Se reitera lo observado en la Fig. 2, donde la ausencia de agentes colorantes en los sustitutos de huevo influye en las diferencias de color de las masas y de los quequitos elaborados.

TABLA 1
DIFERENCIAS DE COLOR EN LA MIGA DE LOS QUEQUITOS CON SUSTITUTOS DE HUEVO EN COMPARACIÓN CON EL CONTROL (H)

Formulación	ΔE* con respecto a H
SC	5,97
HA	6,27
WPC	6,79
MC	7,06
ML	7,48
CPS	9,30

Análisis de Perfil de Textura (TPA)

Los resultados del TPA se muestran en la Fig. 11, donde hubo diferencias significativas entre las formulaciones ($p \leq 0,05$) en todos los parámetros evaluados en los quequitos.

En la dureza (Fig. 11-A) se observó que HA, CPS y SC lograron acercarse a la dureza de la formulación con huevo ($p > 0,05$), mientras que los quequitos con WPC presentaron los valores más bajos de dureza, siendo más suaves y blandos, lo que coincide con lo reportado por la referencia [41], donde se encontró un efecto similar al utilizar WPC 35 como sustituto de huevo en queques.

Con respecto a la adhesividad, no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$) entre H, WPC y CPS (Fig. 11-B). Este efecto de la proteína de suero lácteo también fue reportado en la referencia [42], donde se utilizaron diferentes concentraciones de aislado de proteína de suero lácteo para evaluar el efecto de la sustitución parcial de huevo en queques, encontrando que a mayor contenido de proteína se obtuvo una menor adhesividad.

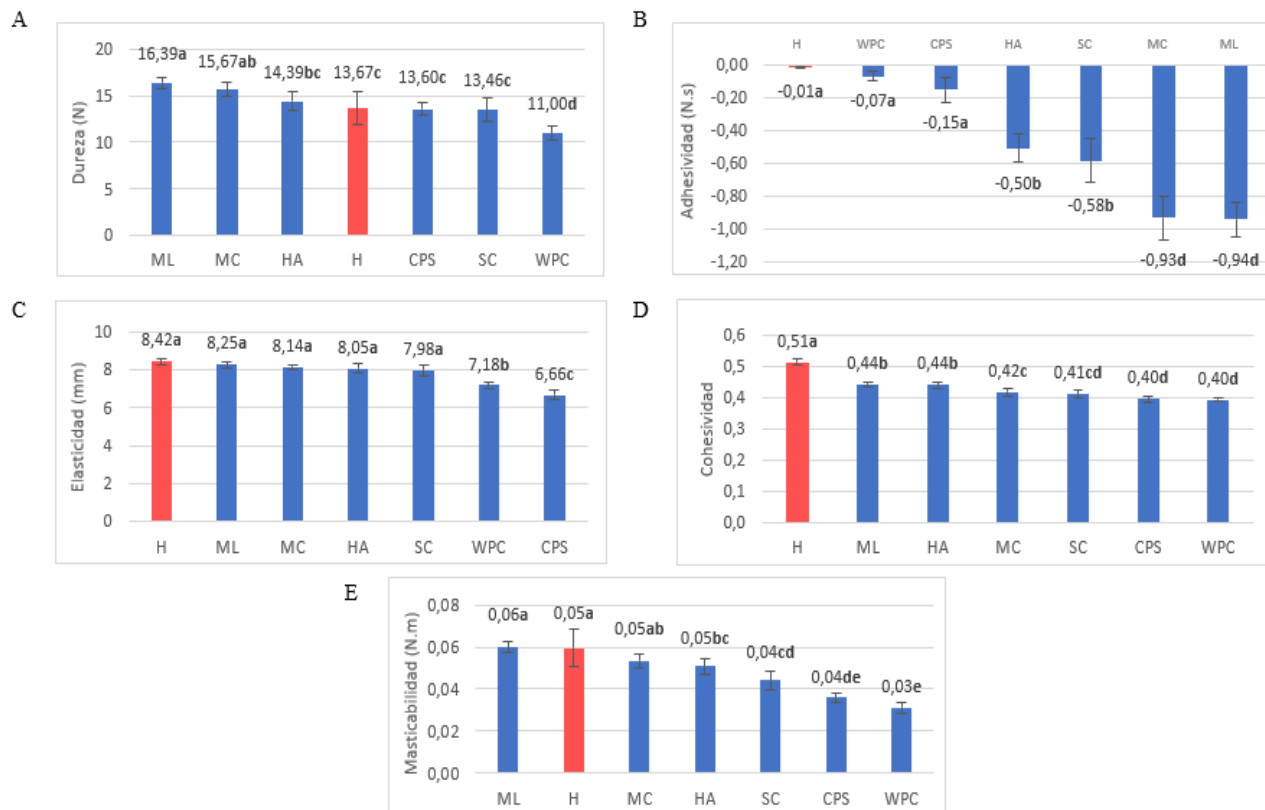
La adhesividad está relacionada con el trabajo que se necesita para separar la celda del quequito durante la prueba de TPA [43], por lo que las formulaciones con mucílagos ML y MC, que presentaron los valores más altos de adhesividad, requieren un mayor esfuerzo en este aspecto, lo que a su vez

se relaciona con la capacidad de estos hidrocoloides de impartir adhesividad [44].

Los resultados de la elasticidad (Fig. 11-C) indicaron que no hubo diferencias significativas entre ML, MC, HA y SC en comparación con el control ($p > 0,05$). Es importante destacar que este parámetro se considera un atributo de calidad relevante en los queques y similares, ya que está asociado con la frescura y estructura aireada de estos [43].

Por otro lado, la elasticidad también es un indicador de la capacidad de los quequitos para recuperar su altura entre el final de la primera compresión e inicio de la segunda [43], por lo que es evidente que los quequitos elaborados con WPC y CPS presentan una menor capacidad elástica. Este efecto del WPC y CPS sobre la elasticidad de queques se ha reportado previamente en estudios similares [45], [46], [33].

La cohesividad (Fig. 11-D) es considerada como otro atributo importante, ya que tiene relación con el grado de compresión que los quequitos soportan antes de desmigajarse [47], [43]. En este parámetro, el quequito control (H) resultó ser el más cohesivo, por ende, más resistente a desmigajarse. Esto podría estar relacionado con la función estructural de las proteínas del huevo [40], además de que las reacciones e interacciones “proteínas huevo – gluten” forman una red mixta de proteínas que también contribuye a la estructura de los queques [5].



Nota: Se presentan los promedios ($n = 3$) $\pm$ I.C. al 95%; entre promedios con letra diferente existe diferencia significativa ($p \leq 0,05$).

Fig. 11 Parámetros de textura de los quequitos. (A) Dureza, (B) Adhesividad, (C) Elasticidad, (D) Cohesividad y (E) Masticabilidad.

Se destaca que ML y HA fueron los quequitos más cercanos a H en este parámetro, en contraste con las proteínas CPS y WPC, las cuales formaron geles pocos cohesivos en comparación con H. Este efecto poco cohesivo de las proteínas del lactosuero y soya se ha reportado en otros estudios [33], [41].

Finalmente, en la masticabilidad (Fig. 11-E), las formulaciones con mucílagos (ML y MC) simulaban la masticabilidad de los quequitos con huevo (H), sin diferencias significativas entre ellos ($p>0,05$). Este parámetro se asocia con la energía que se necesita para masticar los quequitos hasta que se permita su ingesta [48], [49], por lo que estos tres quequitos requieren más esfuerzo para ser ingeridos.

En contraste, los quequitos con CPS y WPC presentaron la menor masticabilidad, lo que a su vez se podría relacionar con la baja cohesividad y dureza que presentaron. Es decir, al formar geles poco cohesivos, es más fácil romper su estructura y, por ende, se requiere menos energía para ingerirlos. Este efecto de las proteínas de soya y del suero lácteo se ha reportado previamente en otros estudios [6], [33].

Los quequitos elaborados con MC y ML fueron los de menor volumen específico, lo cual se relaciona con su mayor dureza y masticabilidad. Caso contrario se observó con HA, que fue uno de los quequitos con mayor volumen específico y mayor similitud en dureza, elasticidad, cohesividad y masticabilidad con el quequito control. Por lo tanto, es muy probable que HA pueda utilizarse como sustituto de huevo.

C. Análisis sensorial de los quequitos

A partir de los resultados de agrado general se obtuvieron tres grupos o conglomerados (Fig. 12). El grupo uno fue el más grande y estuvo formado por 49 consumidores (43,8% del total), el grupo dos estuvo constituido por 34 consumidores (30,4%), mientras que el grupo tres reunió a 29 consumidores (25,9%).

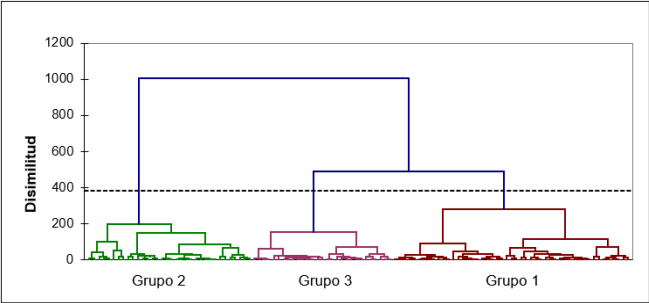


Fig. 12 Análisis de conglomerados de la prueba de agrado general de los quequitos de las diferentes formulaciones.

En la Tabla 2 se presenta el análisis de varianza de cada conglomerado y mostró que existen diferencias significativas ($p\leq0,05$) en el agrado general de las diferentes formulaciones de quequitos en los tres grupos.

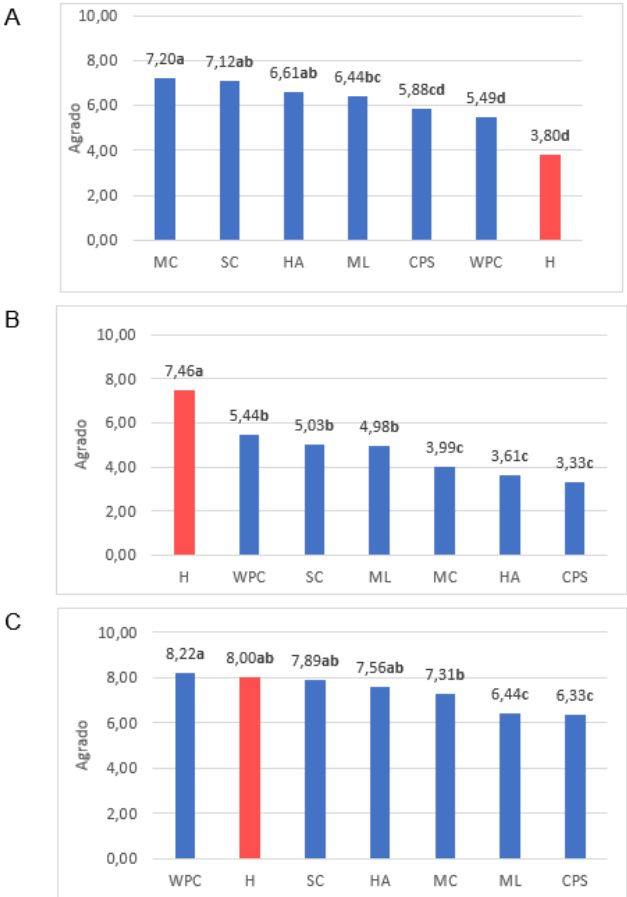
En la Fig. 13 se muestran los promedios de los tres grupos de consumidores junto con los resultados de la prueba de comparación de medias LSD de Fisher. Se identifica que el

grupo uno indicó que no les agradó el quequito con huevo (H), prefiriendo los que contienen MC, SC y HA, los cuales fueron quequitos con alto grado de adhesividad e intermedios en dureza, elasticidad y masticabilidad (Fig. 11).

TABLA 2
ANÁLISIS DE VARIANZA DEL AGRADO GENERAL DE LOS QUEQUITOS CON HUEVO Y SUSTITUTOS DE HUEVO EVALUADOS

Efecto	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3	
	g.l. ^a	p ^b	g.l. ^a	p ^b	g.l. ^a	p ^b
Juez	48	0,000	33	0,008	28	0,000
Formulación	6	<0,0001	6	<0,0001	6	<0,0001

^ag.l. = grados de libertad, ^bp= probabilidad asociada.



Nota: entre promedios con letra diferente existe diferencia significativa ($p\leq0,05$).

Fig. 13 Medias del agrado general de los quequitos en los grupos (A) uno, (B) dos y (C) tres.

Por otro lado, el grupo dos prefirió los quequitos con huevo (H) sobre los que contienen sustitutos. Los quequitos con WPC, SC y ML los catalogaron como “ni me agrada, ni

me desagrada”, mientras que los quequitos con MC, HA y CPS no les agradó.

Finalmente, los consumidores del grupo tres expresaron agrado por todos los quequitos, principalmente por aquellos que contienen WPC, H, SC y HA, es decir, aquellos que presentaron menor a_w , dureza y adhesividad que los demás (Fig. 11). Estos resultados evidencian que, de manera general, en lo que respecta a los queques con sustitutos de huevo, la mayoría de los consumidores se inclinaron hacia SC, MC y HA. La mezcla de harina de arroz, yuca y goma xantán (HA) presentó características físicas similares a la formulación con huevo y aceptación similar o mayor a este control, lo cual demuestra las ventajas del uso de materia primas de origen vegetal y poco utilizadas para dar mayor valor agregado a productos homeados.

IV. CONCLUSIONES

Los resultados físicos de las masas de los queques indicaron que HA es la formulación con mayor capacidad de simular el comportamiento de la masa que contiene huevo. De igual manera, se destaca que el SC presentó buenas características, baja densidad y alta viscosidad.

En los queques homeados, los resultados evidenciaron que solo HA, WPC y SC mantuvieron niveles de a_w comparables con el quequito control; de igual manera, WPC logró aproximarse al quequito control en contenido de humedad y volumen.

Con respecto al color, quedó en evidencia las diferencias de color de todas las formulaciones en comparación con el control, lo que indica que ningún sustituto se asemeja completamente en este parámetro y que la adición de bixina o un carotenoide puede mejorar esta característica.

En cuanto a la textura, ningún sustituto evaluado replicó completamente los atributos del control (H); sin embargo, HA, CPS y SC destacaron por simular parámetros clave como la dureza y elasticidad, mientras que los mucílagos ML y MC mostraron afinidad en la cohesividad y masticabilidad.

En lo que respecta al agrado general, y tomando en consideración los sustitutos evaluados, la preferencia general de los consumidores se inclinó hacia SC, MC y HA, los cuales poseen baja dureza, cohesividad y masticabilidad.

En general, los resultados obtenidos evidencian que ninguna formulación con los sustitutos evaluados logra replicar completamente las características físicas de los quequitos elaborados con huevo (H), ni siquiera el sustituto comercialmente disponible que se incluyó en este estudio. Sin embargo, se destaca que HA mostró el desempeño más consistente a lo largo de la investigación, ubicándose entre las preferidas de la prueba de agrado general y simulando a H en más parámetros físicos que las demás formulaciones, por lo que su uso como sustituto de huevo es prometedor.

REFERENCIAS

- [1] V. Lechevalier, T. Croguennec, M. Anton, and F. Nau, “Processed egg products,” in *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products*, no. 853, Woodhead Publishing Limited, 2011, pp. 538–581.
- [2] M. Gibson and P. Newsham, “Bread,” in *Food Science and the Culinary Arts*, 2018, pp. 121–131.
- [3] H.-M. Lai and T.-C. Lin, “Bakery Products,” in *Handbook of Food Science, Technology, and Engineering - 4 Volume Set*, Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2005.
- [4] D. B. Puranik and S. K. Gupta, “Development of Egg-Less Cake Using Whey Protein Concentrate As Egg Substitute,” *Int. J. Sci. Environment Technol.*, vol. 6, no. 4, pp. 2343–2352, 2017, Accessed: Jan. 23, 2019. [Online]. Available: www.ijset.net.
- [5] E. Wilderjans, A. Luyts, K. Brijs, and J. A. Delcour, “Ingredient functionality in batter type cake making,” *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 30, no. 1, pp. 6–15, 2013, doi: 10.1016/j.tifs.2013.01.001.
- [6] Y. Y. Shao, K. H. Lin, and Y. H. Chen, “Batter and Product Quality of Eggless Cakes Made of Different Types of Flours and Gums,” *J. Food Process. Preserv.*, vol. 39, no. 6, pp. 2959–2968, 2015, doi: 10.1111/jfpp.12547.
- [7] E. Seweryn, E. Królewicz, K. Stach, and I. Kustrzeba-wójcicka, “Nutritional and allergenic properties of hen eggs,” *Postep. Hig Med Dosw.*, no. 72, pp. 205–214, 2018, doi: 10.5604/01.3001.0011.7339.
- [8] D. M. Bianchi, D. Adriano, S. Astergiano, S. Gallina, M. Caramelli, and L. Decastelli, “Egg and Milk Proteins as Hidden Allergens in Food: 5-Year (2010 to 2014) Results of Food Allergen Monitoring in Piedmont, Italy,” *J. Food Prot.*, vol. 79, no. 9, pp. 1583–1587, 2016, doi: 10.4315/0362-028X.JFP-16-013.
- [9] Food Allergy Canada, “Food Allergens,” 2019. <https://foodallergycanada.ca/about-allergies/food-allergens/> (accessed Jan. 13, 2019).
- [10] Food Allergy Research & Education, “Common Allergens,” 2019. <https://www.foodallergy.org/common-allergens> (accessed Jan. 13, 2019).
- [11] J. A. Odumeru, “Food Safety and Food Allergens,” in *Food Biochemistry and Food Processing*, B. K. Simpson, L. M. Nollet, and F. Toldrá, Eds. Wiley Online Library, 2012, pp. 787–876.
- [12] A. Gaby, “Food Allergy and Intolerance,” in *Integrative Medicine*, 4th ed., Elsevier Inc., 2017, pp. 310–318.
- [13] R. E. Huerta, J. G. Huerta, and J. A. Ortega, “Actualidades en alergia a alimentos,” *Alergia, Asma e Im. Pediátricas*, vol. 22, no. 2, pp. 43–60, 2013.
- [14] H. Dodo and K. Konan, “Allergies: Food and Peanut Risk Reduction,” *Encycl. Biotechnol. Agric. Food*, pp. 11–17, 2011, doi: 10.1081/E-EBAF-120044365.
- [15] F. Hansstein, *Profiling the egg consumer: Attitudes, perceptions and behaviours*. Woodhead Publishing Limited, 2011.
- [16] I. Rybicka, “Comparison of elimination diets: Minerals in gluten-free, dairy-free, egg-free and low-protein breads,” *J. Food Compos. Anal.*, vol. 118, no. May, 2023, doi: 10.1016/j.jfca.2023.105204.
- [17] J. Halm, A. W. Sahin, L. Nyhan, E. Zannini, and E. K. Arendt, “Commercial Egg Replacers in Pound Cake Systems: A Comprehensive Analysis of Market Trends and Application,” *Foods*, vol. 13, no. 292, 2024, doi: 10.3390/foods13020292.
- [18] B. Sahraian et al., “Production of eggless cake,” *ResearchGate*, 2015.
- [19] A. Ashwini, R. Jyotsna, and D. Indrani, “Effect of hydrocolloids and emulsifiers on the rheological, microstructural and quality characteristics of eggless cake,” *Food Hydrocoll.*, vol. 23, no. 3, pp. 700–707, 2009, doi: 10.1016/j.foodhyd.2008.06.002.
- [20] D. Agrahar-Murugkar, A. Zaidi, N. Kotwaliwale, and C. Gupta, “Effect of Egg-Replacer and Composite Flour on Physical Properties, Color, Texture and Rheology, Nutritional and Sensory Profile of Cakes,” *J. Food Qual.*, vol. 39, no. 5, pp. 425–435, 2016, doi: 10.1111/jfq.12224.
- [21] B. Arunepanlop, C. V. Morr, D. Karleskind, and I. Laye, “Partial

- replacement of egg white proteins with whey proteins in angel food cakes,” *J. Food Sci.*, vol. 61, no. 5, pp. 1085–1093, 1996, doi: 10.1111/j.1365-2621.1996.tb10937.x.
- [22] M. Díaz-Ramírez *et al.*, “Effect of whey protein isolate addition on physical, structural and sensory properties of sponge cake,” *Food Hydrocoll.*, vol. 61, pp. 633–639, 2016, doi: 10.1016/j.foodhyd.2016.06.020.
- [23] A. Paraskevopoulou, S. Donsouzi, C. V. Nikiforidis, and V. Kiosseoglou, “Quality characteristics of egg-reduced pound cakes following WPI and emulsifier incorporation,” *Food Res. Int.*, vol. 69, no. 1, pp. 72–79, 2015, doi: 10.1016/j.foodres.2014.12.018.
- [24] M. G. Villalobos, “Elaboración de un puré de papaya híbrido Pococi para sustituir grasa en quequitos y ‘cheese cake’,” Universidad de Costa Rica, 2008.
- [25] A. Ashwini, R. Jyotsna, and D. Indrani, “Effect of hydrocolloids and emulsifiers on the rheological, microstructural and quality characteristics of eggless cake,” *Food Hydrocoll.*, vol. 23, no. 3, pp. 700–707, 2009, doi: 10.1016/j.foodhyd.2008.06.002.
- [26] Cole-Parmer, “Cole-Parmer 98936 Series Rotational Viscometers. Instructions and Operation Manual. Versión 3.1.” Cole-Parmer Instrument Company, Vernon Hills, IL., 1997.
- [27] V. Benavides, “Determinación del umbral de diferencia del sabor salado en pan blanco de molde y su efecto sobre la calidad durante el almacenamiento,” Universidad de Costa Rica, 2017.
- [28] H. C. Ugalde, “Estudio de la deshidratación del pejíbaya (*Bactris gasipaes* H.B.K.) para la elaboración de harina y su utilización en la formulación de una premezcla para queques,” Universidad de Costa Rica, 2002.
- [29] A. Jiménez, “Usos alternativos del chayote (*Sechium edule* SW.): Elaboración y aplicación de un puré de chayote como sustituto de grasa en alimentos,” Universidad de Costa Rica, 2008.
- [30] M. Gómez, B. Oliete, J. García-Álvarez, F. Ronda, and J. Salazar, “Characterization of cake batters by ultrasound measurements,” *J. Food Eng.*, vol. 89, no. 4, pp. 408–413, 2008, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.05.024.
- [31] S. G. Sumnu and S. Sahin, *Food engineering aspects of baking sweet goods*. 2008.
- [32] R. Jyotsna, R. S. Manohar, D. Indrani, and G. V. Rao, “Effect of whey protein concentrate on the rheological and baking properties of eggless cake,” *Int. J. Food Prop.*, vol. 10, no. 3, pp. 599–606, 2007, doi: 10.1080/10942910601048986.
- [33] M. Majzoobi, F. Ghiasi, M. Habibi, S. Hedayati, and A. Farahnaky, “INFLUENCE OF SOY PROTEIN ISOLATE ON THE QUALITY OF BATTER AND SPONGE CAKE,” *J. Food Process. Preserv.*, 2013, doi: 10.1111/jfpp.12076.
- [34] F. Ronda, B. Oliete, M. Gómez, P. A. Caballero, and V. Pando, “Rheological study of layer cake batters made with soybean protein isolate and different starch sources,” *J. Food Eng.*, vol. 102, no. 3, pp. 272–277, 2011, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.09.001.
- [35] D. S. Larsen, “The Structure and Properties of Eggs,” in *Encyclopedia of Food Chemistry*, vol. 3, Amsterdam, Países Bajos., 2018, pp. 27–32.
- [36] J. M. Obón, M. R. Castellar, M. Alacid, and J. A. Fernández-López, “Production of a red-purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems,” *J. Food Eng.*, vol. 90, no. 4, pp. 471–479, 2009, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.07.013.
- [37] J. P. Smith, D. P. Daifas, W. El-Khoury, J. Koukoutsis, and A. El-Khoury, “Shelf Life and Safety Concerns of Bakery Products - A Review,” *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, vol. 44, no. 1, pp. 19–55, 2004, doi: 10.1080/10408690490263774.
- [38] S. P. Cauvain, “Bread and other bakery products,” in *The Stability and Shelf Life of Food*, Elsevier Ltd, 2016, pp. 432–459.
- [39] Z. Kohajdová, J. Karovičová, and Š. Schmidt, “Significance of Emulsifiers and Hydrocolloids in Bakery Industry,” *Acta Chim. Slovaca*, vol. 2, no. 1, pp. 46–61, 2009, Accessed: Jan. 14, 2019. [Online]. Available: http://www.acs.chtf.stuba.sk/papers/acs_0035.pdf.
- [40] T. S. Palav, *Chemistry of Cake Manufacturing*, 2nd ed., vol. 3–4. Elsevier Ltd., 2015.
- [41] W. S. Ratnayake, B. Geera, and D. A. Rybak, “Effects of egg and egg replacers on yellow cake product quality,” *J. Food Process. Preserv.*, vol. 36, no. 1, pp. 21–29, 2012, doi: 10.1111/j.1745-4549.2011.00547.x.
- [42] K. Chan-Hee and A. Myung-Soo, “The Quality Characteristics of Sponge Cake with Varied Levels of Whey Protein Isolate,” *Korean J. Food Cook. Sci.*, vol. 23, no. 1, pp. 41–49, 2007.
- [43] L. Yi-Xiang, C. Min-Jie, and L. Guang-Ming, “Texture analyzers for food quality evaluation,” in *Evaluation Technologies for Food Quality*, Elsevier Inc., 2019, pp. 441–463.
- [44] D. Saha and S. Bhattacharya, “Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: A critical review,” *J. Food Sci. Technol.*, vol. 47, no. 6, pp. 587–597, 2010, doi: 10.1007/s13197-010-0162-6.
- [45] D. Kohrs, T. J. Herald, F. M. Aramouni, and M. Abughoush, “Evaluation of egg replacers in a yellow cake system,” *Ermir. J. Food Agric.*, vol. 22, no. 5, pp. 340–352, 2010.
- [46] M. Lin, S. H. Tay, H. Yang, B. Yang, and H. Li, “Replacement of eggs with soybean protein isolates and polysaccharides to prepare yellow cakes suitable for vegetarians,” *Food Chem.*, vol. 229, pp. 663–673, 2017, doi: 10.1016/j.foodchem.2017.02.132.
- [47] A. S. Szczesniak, “Texture is a sensory property,” *Food Qual. Prefer.*, vol. 13, no. 4, pp. 215–225, 2002, doi: 10.1016/S0950-3293(01)00039-8.
- [48] J. Torres, K. González, and D. Acevedo, “Análisis del Perfil de Textura en Frutas, Productos Cárnicos y Quesos,” *ReCiTeIA*, vol. 14, no. 2, pp. 63–75, 2015.
- [49] A. Chacón-Villalobos and M. L. Pineda-Castro, “Características químicas, físicas y sensoriales de un queso de cabra adaptado del tipo ‘Crottin de Chavignol’,” *Agron. Mesoam.*, vol. 20, no. 2, pp. 297–309, 2009, [Online]. Available: http://www.mag.go.cr/rev_meso/v20n2_297.pdf.