

Effect of storage on cupcakes containing rice-cassava flour and xanthan gum as egg replacer

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—Egg is a basic ingredient in cake formulations and, at the same time, one of the most important food allergens, which has led to increasing research on egg substitutes in this type of products. Within this line of research, cake staling is an important quality attribute that must be considered when egg is replaced in the formulation. The objective of this study was to evaluate the effect of 10 days of storage on the physical characteristics of cupcakes containing rice-cassava flour blend and xanthan gum as egg substitute (HA) compared with a control cupcake (H). The study was conducted at the Department of Food Technology of the University of Costa Rica. A randomized complete block design with two-factor factorial arrangement was used, where the factors were formulation and time. Water activity (a_w), moisture content and specific volume were measured. In addition, instrumental color (L^* , C^* , h°) and instrumental texture profile (hardness, springiness, cohesiveness and chewiness) were evaluated. Three experimental replications were carried out, data were analyzed by ANOVA, and each variable was plotted as a function of storage time. It was concluded that most of the results agree with those reported by other researchers, except for the stable specific volume observed in both cakes during storage and an increase of springiness of the HA cupcakes over time, which contrasts with theory.

Keywords—Food allergy, vegan egg, egg replacement, TPA.

Efecto del almacenamiento en quequitos con harina de arroz-yuca y goma xantán como sustituto 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 es un ingrediente básico en la formulación de queques y, a su vez, uno de los alérgenos alimentarios más importantes, lo que lleva a la investigación creciente de sustitutos de huevo. Además, el envejecimiento de los queques es un aspecto de calidad importante que debe considerarse cuando se sustituye el huevo en la formulación. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del almacenamiento durante 10 días sobre las características físicas de quequitos que contienen harina de arroz-yuca y goma xantán como sustituto de huevo (HA) en comparación con un queque control (H). La investigación se realizó en la Escuela de Tecnología de Alimentos de la Universidad de Costa Rica. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial de dos factores: el factor formulación y el factor tiempo. Se midió el a_w , contenido de humedad y volumen específico de los quequitos; asimismo, se realizó la medición instrumental de color (L^* , C^* , h°) y perfil de textura instrumental (dureza, elasticidad, cohesividad y masticabilidad). Se hicieron tres repeticiones del experimento, los datos se analizaron mediante ANOVA y se graficó cada variable en función del tiempo. Se concluyó que la mayoría de los resultados obtenidos coinciden con los de otros investigadores, salvo las características estables de volumen específico encontradas en ambas formulaciones durante el almacenamiento y un aumento en la elasticidad de los quequitos HA en el tiempo, en contraste con la teoría.

Palabras clave— Alergia alimentaria, huevo vegano, sustitución de huevo, TPA.

I. INTRODUCCIÓN

El queque (pastel tipo bizcocho) es un producto de panadería importante que presenta un mercado en constante crecimiento [1], se caracteriza por su sabor dulce, estructura porosa, un alto volumen y textura esponjosa [2], [3] y se clasifica como un alimento de humedad intermedia, ya que su contenido de humedad varía entre 18 a 30% [4].

La formulación básica de los queques se compone de harina, azúcar, huevos, grasa o aceite y agentes leudantes, en donde cada ingrediente cumple una función específica en estos [1]. Particularmente, los huevos actúan como agentes espumantes, gelificantes, emulsificantes, además de dar estructura y aportan grasa, humedad, sabor, color y valor nutricional a los productos horneados [5], [6], [7].

Pese a que los huevos son un ingrediente básico en la formulación de queques, durante las últimas décadas se ha observado un incremento en la alergia al huevo [8], ya que este alimento es uno de los alérgenos prioritarios y más comunes que afecta entre el 1,6 y 3,2% de la población a nivel mundial [9], mientras que, según estimaciones, hasta un 60% de la población sufre de alergias alimentarias no detectadas

[10], lo que afecta la calidad de vida tanto en niños como en adultos [11].

Esta y otras razones [8] han provocado un aumento en el desarrollo de sustitutos de huevo; de hecho, se estima que el mercado global de estos sustitutos alcanzó 1,5 mil millones de dólares para el año 2021, con un crecimiento de 8,3% proyectado para el 2031 [12]. En tal sentido, se han estudiado distintas alternativas para la sustitución del huevo en queques, entre las que destacan tres grupos principales. El primer grupo basado en concentrado o aislado de proteína (animal o vegetal), el segundo grupo basado en aditivos alimentarios (hidrocoloides y/o emulsificantes) y el tercer grupo basado en otros ingredientes como banana, chia y linaza [13]. Específicamente, los sustitutos comerciales se componen de almidones, harinas, un agente leudante y gomas [14].

El arroz (*Oryza sativa* L.) y la yuca (*Manihot esculenta* y *Manihot utilisima*) se consideran, junto al maíz y la papa, fuentes de almidón importantes, especialmente en productos libres de gluten [15]. Previamente se ha estudiado la combinación de harinas de arroz-yuca en queques libres de gluten. Referencia [16] evaluó harinas de tiquisque, ñampí, arroz, yuca y sus mezclas en la elaboración de quequitos (pasteles individuales sin cobertura) libres de gluten con cantidad de huevo estándar y reducidos en huevo. Los quequitos con mayor agrado fueron los elaborados con harina de yuca y la mezcla de arroz-yuca, presentando características similares al queque control.

Un aspecto de calidad importante que se debe considerar en los queques es el envejecimiento (staling) que ocurre durante su almacenamiento [17], lo que a su vez está relacionado con la retrogradación del almidón, la pérdida de humedad y la reducción del volumen específico [18]. En el caso específico del pan, el envejecimiento también provoca cambios en el sabor y la textura, un aumento en la dureza de la miga y corteza y pérdida de frescura [18], [19].

Por lo que se considera importante evaluar el efecto del tiempo de almacenamiento en este tipo de productos. Algunos autores han evaluado este fenómeno. Por ejemplo, referencia [20] indica que el reemplazo parcial del huevo por aislado de proteína de suero lácteo provocó un menor aumento de la dureza de los queques durante el almacenamiento, en comparación con el control, y referencia [21] reporta un aumento en la dureza y masticabilidad en queques durante el almacenamiento al sustituir el huevo por proteína de lentejas, entre otras investigaciones.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del almacenamiento sobre las características físicas de quequitos (pasteles individuales) que contienen harina de arroz-yuca y goma xantán como sustituto de huevo en comparación con una formulación control (con huevo).

II. METODOLOGÍA

La investigación fue de tipo cuantitativo experimental, en la cual se evaluó el efecto del almacenamiento durante 10 días en las características físicas de quequitos (pasteles individuales sin cobertura), elaborados con harina de arroz-yuca y goma xantán como sustituto de huevo en comparación con un quequito control (con huevo).

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con un arreglo factorial de dos factores: el factor formulación con dos niveles que corresponden a las dos formulaciones utilizadas (quequito con huevo y quequito con mezcla de harina de arroz-yuca y goma xantán como sustituto de huevo), y el factor tiempo con cuatro niveles que corresponde a los días en los que se realizaron las evaluaciones (1, 4, 7 y 10). Se hicieron tres repeticiones del experimento.

Las variables que se midieron en los quequitos fueron: actividad de agua (a_w), humedad, volumen específico, color instrumental y análisis de perfil de textura (TPA, por sus siglas en inglés) instrumental, que incluyó dureza, elasticidad, cohesividad y masticabilidad.

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

A. Preparación de los queques

El quequito control se basó en la formulación utilizada por [22], con algunos ajustes. La formulación base fue: 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%). Además se utilizó propionato de calcio (E282) como preservante al 0,3% (con base en la harina), según indicaciones de la norma de clasificación del pan del Ministerio de Economía, Industria y Comercio de Costa Rica [23]. El proceso general de elaboración de los quequitos se describe en la Fig. 1. Una vez empacados, los quequitos se almacenaron a temperatura ambiente en bolsas de polipropileno hasta su análisis.

En la formulación sin huevo, se utilizó como sustituto una mezcla de harinas de arroz-yuca con goma xantán, la cual 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 obtener una concentración de sólidos del 12% y se mezcló hasta lograr una masa homogénea que posteriormente se adicionó a la formulación en lugar del huevo.

C. Análisis físicos

La actividad de agua (a_w) se determinó utilizando un medidor de actividad de agua (Aqualab), siguiendo el método descrito por referencia [24]. Las muestras pulverizadas de quequito se colocaron en el porta muestras del equipo, previamente calibrado, según las indicaciones del fabricante, y se procedió con la lectura.

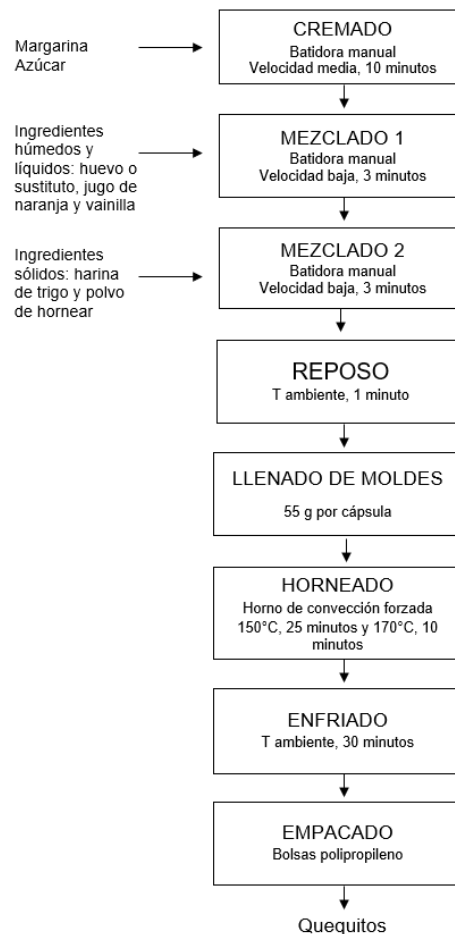


Fig. 1 Diagrama de flujo de proceso para la elaboración de los quequitos.

El contenido de humedad se determinó siguiendo el método sugerido por referencia [25], que se basó en el método 27.005 del AOAC (1990). Se pesaron dos gramos de la muestra y se mantuvieron a 98-100 °C hasta llegar a peso constante. El porcentaje de humedad es 100 multiplicado por la diferencia de peso antes y después del secado, dividida por la masa inicial.

El volumen específico (mL/g) (V.E.) se calculó por el método de desplazamiento de semillas descrito por referencia [24]. Se colocaron semillas de mijo en un recipiente cilíndrico graduado y se marcó la altura alcanzada. Posteriormente, se retiraron las semillas y se introdujo el quequito, se vertieron nuevamente las semillas y se niveló con una espátula. Finalmente, se midió la distancia de desplazamiento (en mL)

de las semillas a partir de una marca inicial, la cual corresponde al volumen descrito en (1).

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

La medición instrumental de color se realizó utilizando el colorímetro Hunter Lab Color Flex EZ, previamente calibrado, utilizando la escala CIELch. 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°, y utilizando una fuente de luz D65, con un ángulo del observador de 10° y un ángulo de incidencia 45°/0°.

El TPA (dureza, elasticidad, cohesividad y masticabilidad) de los quequitos se realizó utilizando un texturómetro TA.XTPlus de Stable Microsystems, aplicando los parámetros reportados por referencia [26]. Se utilizó el cilindro de aluminio p/25 de 2,5 cm de diámetro como dispositivo de compresión y una celda de carga de 50 kg. La compresión se realizó en dos ciclos a una velocidad de 2 mm/s, una distancia de compresión de 10 mm y un tiempo de 5 s entre ciclos. Los quequitos se ubicaron como se muestra en la Fig. 2, cortando una porción de la parte superior, con el objetivo de crear una superficie de base horizontal en la cual apoyarlos.

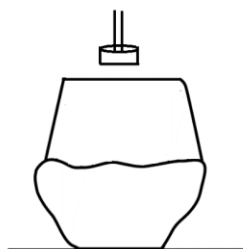


Fig. 2 Posición del quequito previo al análisis de textura.

E. Análisis estadístico

Para el análisis de los resultados de las variables físicas, se utilizó el software estadístico JMP 7 (SAS Institute Inc.). Se hizo un análisis de varianza (ANOVA), en el cual el tiempo se evaluó como variable continua. Posteriormente, se graficó cada variable en función del tiempo para cada formulación, y se calcularon las ecuaciones de las rectas y el coeficiente de determinación cuando hubo efecto significativo del tiempo.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. a_w , humedad y volumen específico

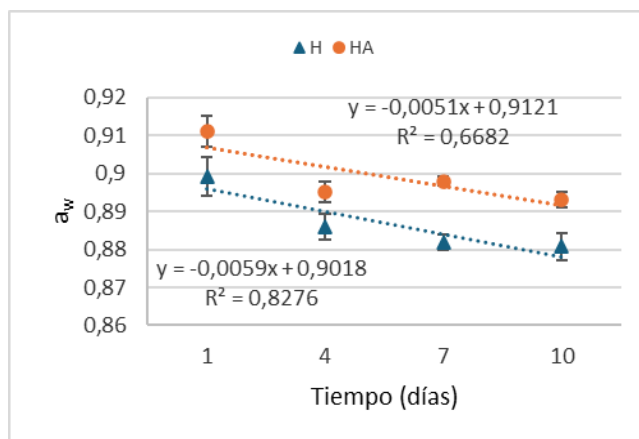
Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en el a_w , contenido de humedad y volumen específico entre la formulación con sustituto de huevo (HA) y el control (H) (Tabla 1). El tiempo de almacenamiento también tuvo un efecto significativo sobre el a_w y contenido de humedad. De igual manera, hubo diferencias significativas en los lotes de producción, algo que era de esperarse debido a otras fuentes de variación, como las materias primas o las condiciones de las operaciones del proceso.

TABLA 1
ANÁLISIS DE VARIANZA DEL a_w , HUMEDAD Y VOLUMEN ESPECÍFICO DE LOS QUEQUITOS DURANTE EL ALMACENAMIENTO

Efecto	g.l. ^a	Probabilidad asociada		
		a_w	Humedad (%)	Volumen específico
Formulación	1	<0,0001 ^b	<0,0001 ^b	<0,0001 ^b
Día	1	<0,0001 ^b	<0,0001 ^b	0,9692
Formulación*día	1	0,4385	0,1451	0,9587
Lote	2	<0,0001 ^b	<0,0001 ^b	0,0014 ^b

^ag.l. = grados de libertad. ^bEfecto significativo ($p \leq 0,05$).

Las Fig. 3 y 4 muestran el efecto del tiempo de almacenamiento sobre el a_w y contenido de humedad de los quequitos, respectivamente. Se obtuvo que ambos parámetros disminuyeron en ambas formulaciones, un hecho esperado, ya que, a medida que aumenta el a_w de un producto alimenticio, asimismo aumenta su contenido de humedad [4]. Sin embargo, es importante mencionar que el contenido de humedad de los productos durante todo el almacenamiento estuvo dentro de los rangos normales (18 – 30%) para este tipo de productos [4].



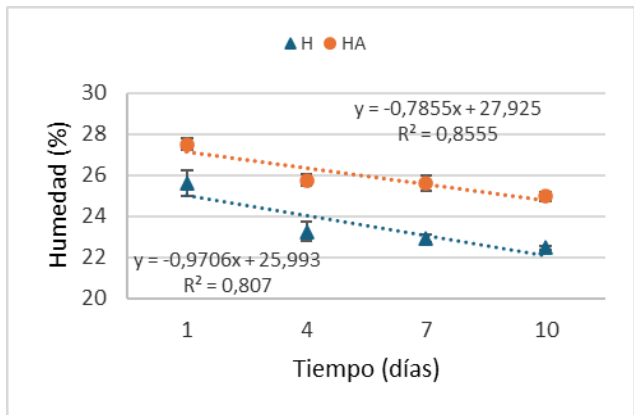
Nota: se presentan los promedios ($n = 3$) $\pm$ I.C. al 95%.

Fig. 3 Efecto del tiempo de almacenamiento sobre el a_w de los quequitos con huevo (H) y con sustituto de huevo (HA).

La disminución en el a_w y contenido de humedad de los quequitos H y HA se relaciona con la migración de agua de la miga hacia la corteza y de la corteza al exterior, lo que a su vez provoca que el producto se vuelva seco y duro [3], [18], [27]. Otros autores han reportado un comportamiento similar en el contenido de humedad de pan y queques durante el almacenamiento [28], [29].

Otro aspecto para considerar en los resultados de a_w y contenido de humedad es el coeficiente de determinación (R^2), el cual es la proporción de la variación total de la variable respuesta que se explica por el modelo de regresión, donde valores cercanos a uno implican que la mayor parte de la variabilidad en “y” se explica por el modelo [30] y valores menores a 0,7 indican que el modelo no es bueno para

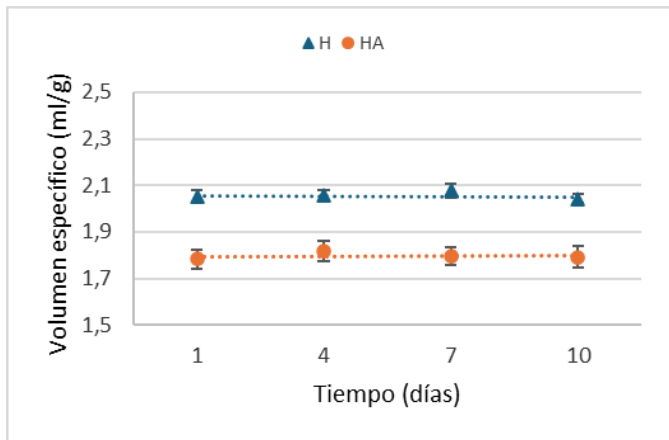
predecir el comportamiento [31]. Por lo que se obtuvo una buena correlación entre el contenido de humedad y el tiempo de almacenamiento de ambas formulaciones ($R^2 > 0,80$), mientras que en el a_w se obtuvo un buen modelo para H, pero no para HA.



Nota: se presentan los promedios (n = 3) ± I.C. al 95%.

Fig. 4 Efecto del tiempo de almacenamiento sobre el contenido de humedad de los quequitos con huevo (H) y con sustituto de huevo (HA).

Con respecto al volumen específico, el tiempo de almacenamiento no tuvo un efecto significativo sobre esta variable (Tabla 1); sin embargo, resultó evidente la diferencia de tamaño entre el quequito con sustituto de huevo y el control (Fig. 5 y 6), siendo los queques con huevo los que evidenciaron un mayor volumen específico. Esto se relaciona con la función del huevo de estabilizante de las burbujas de aire presentes en la masa al momento del horneado [1].



Nota: se presentan los promedios (n = 3) ± I.C. al 95%.

Fig. 5 Comportamiento del volumen específico de los quequitos con huevo (H) y con sustituto de huevo (HA) durante el almacenamiento.

En el caso de los quequitos con HA, se esperaba mejores resultados en volumen específico, dado que a la goma xantán se le atribuye la capacidad de incorporar y retener burbujas dentro de la masa para queques y a su vez favorecer el

volumen específico de los mismos [32], [33]. Sin embargo en la Fig. 6 se observa la estructura de la miga, donde el quequito control (H) tuvo una mejor estabilización de las burbujas presentes, mientras que HA presentó menor estabilización, lo que a su vez evidencia lo difícil que es simular esta función del huevo.

Referencia [18] describe que uno de los principales efectos del envejecimiento del pan es la reducción del volumen específico, algo que no se observó en este estudio probablemente por el corto tiempo de almacenamiento al que se sometieron los queques, dada la corta vida útil de este tipo de productos.

B. Color instrumental

En la Tabla 2 se reportan los resultados del análisis de varianza de los parámetros de color de los quequitos. Hubo diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en la luminosidad (L^*) y la saturación, expresada como croma (c^*), entre las dos formulaciones, mientras que el tiempo de almacenamiento tuvo un efecto significativo sobre el croma y el ángulo de tono h° . También hubo una interacción significativa para c^* y efecto significativo del lote sobre L^* y c^* . Este efecto del lote era de esperarse debido a otras fuentes de variación, como las diferencias en las materias primas y en la distribución de temperatura durante el horneado.

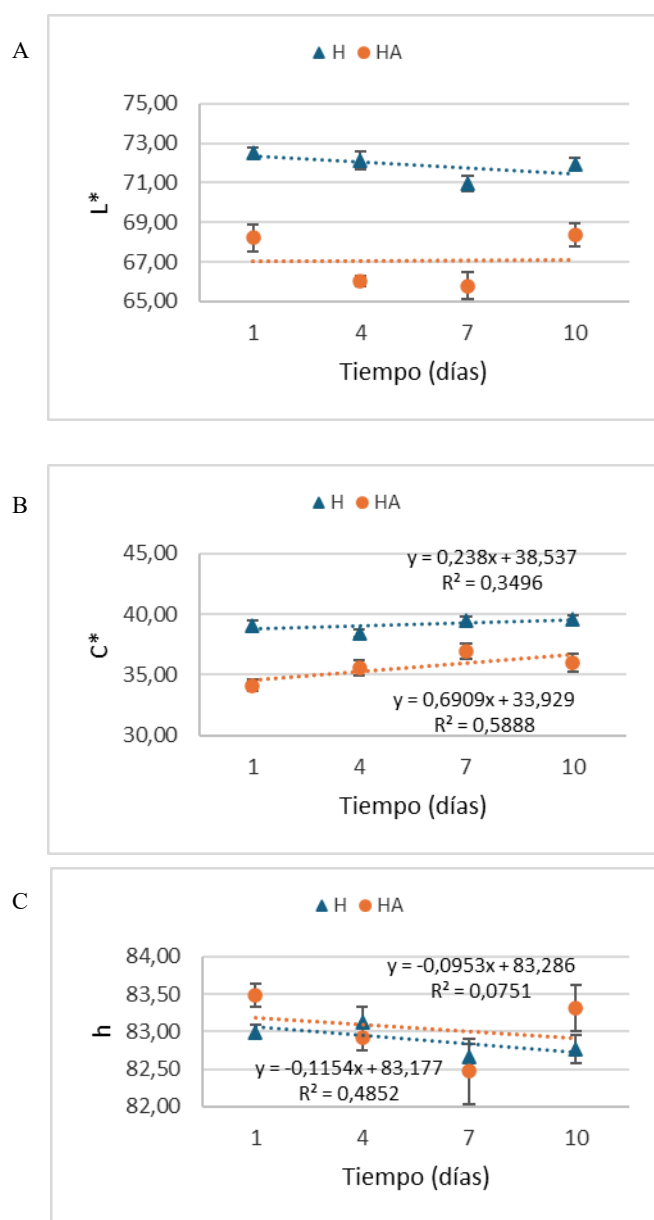
TABLA 2
ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS PARÁMETROS DE COLOR (L^* , c^* y h°) DE LOS QUEQUITOS DURANTE EL ALMACENAMIENTO

Efecto	g.l. ^a	Probabilidad asociada (p)		
		L^*	c^*	h°
Formulación	1	<0,0001 ^b	<0,0001 ^b	0,0966
Día	1	0,1174	<0,0001 ^b	0,0145 ^b
Formulación*día	1	0,0896	0,0059 ^b	0,8145
Lote	2	<0,0001 ^b	<0,0001 ^b	0,0937

^ag.l. = grados de libertad. ^bEfecto significativo ($p \leq 0,05$).

La Fig. 6 muestra el comportamiento de los tres parámetros de color de los quequitos de ambas formulaciones en el almacenamiento. La formulación con huevo (H) presentó mayores valores de luminosidad que la formulación sin huevo (HA), un fenómeno que también ha sido observado por otros investigadores; referencia [34] expone que los sustitutos de huevo probablemente son los responsables de esta disminución en la luminosidad. Por otro lado, se destaca que este parámetro permaneció estable durante el almacenamiento.

En relación con el croma, la formulación con huevo presentó mayores valores que HA, es decir, el huevo proporcionó una mayor pureza de color a los quequitos en comparación con el sustituto. Es importante mencionar que HA presentó un aumento en este parámetro durante el almacenamiento.



Nota: se presentan los promedios ($n = 3$) $\pm$ I.C. al 95%.

Fig. 6 Comportamiento de los parámetros de color de los quequitos con huevo (H) y con sustituto de huevo (HA) durante el almacenamiento. A) L^* , B) C^* y C) h° .

En el ángulo h° de los quequitos, se observó una disminución significativa ($p \leq 0,05$) durante el almacenamiento; sin embargo, en ambos casos, los valores de h° permanecieron dentro del rango del color amarillo (entre 70 y 105°) [35], un hecho que se evidencia visualmente en la Fig. 7.



Fig. 7 Apariencia de la corteza y miga de las formulaciones control (H) y con sustituto de huevo (HA).

Con respecto a los valores de R^2 , en todos los casos analizados fueron menores que 0,7, lo que indica que los modelos lineales no son buenos predictores del comportamiento de c^* y h° en el almacenamiento de los quequitos [31].

De manera complementaria, se calculó la diferencia de color ΔE^* en el tiempo de los quequitos H y HA con respecto al primer día de almacenamiento. Los resultados se presentan en la Tabla 3, y se obtuvo que en la formulación control todos los valores de ΔE^* son cercanos o inferiores a 1,5, por lo que no serían detectados por el ojo humano, mientras que para la formulación con sustituto de huevo, todos los valores de ΔE^* fueron mayores que 1,5, pero menores que 5, por lo que son cambios pequeños, pero estos podrían resultar evidentes para el ojo humano [36].

TABLA 3
DIFERENCIA DE COLOR (ΔE^*) DE LOS QUEQUITOS H Y HA DURANTE EL ALMACENAMIENTO CON RESPECTO AL DÍA 1.

Día	ΔE^*	
	H	HA
1	----	----
4	0,8071	2,6269
7	1,6319	3,7468
10	0,7615	1,8518

C. Análisis de Perfil de Textura (TPA)

Los resultados del ANOVA aplicado a los parámetros del TPA de los quequitos se presentan en la Tabla 4. Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en la dureza, cohesividad y masticabilidad entre los dos tipos de queques; asimismo, hubo un efecto significativo del tiempo de almacenamiento en estos tres parámetros. Adicionalmente, la interacción formulación*tiempo fue significativa para la elasticidad y la cohesividad, en tanto que el lote tuvo efecto en todos los parámetros evaluados.

TABLA 4
 ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA DE LOS QUEQUITOS DURANTE EL ALMACENAMIENTO

Efecto	g.l. ^a	Probabilidad asociada (p)			
		Dureza	Elasticidad	Cohesividad	Masticabilidad
Formulación	1	<0,0001 ^b	0,7367	<0,0001 ^b	<0,0001 ^b
Día	1	<0,0001 ^b	0,4638	<0,0001 ^b	<0,0001 ^b
Formulación * día	1	0,7925	0,0048 ^b	0,0007 ^b	0,4632
Lote	2	<0,0001 ^b	<0,0001 ^b	<0,0001 ^b	<0,0001 ^b

^ag.l. = grados de libertad. ^bEfecto significativo ($p \leq 0,05$).

En la Fig. 8 se observa el comportamiento de los parámetros de textura evaluados sobre los queques. Se encontró que los quequitos con huevo (H) presentaron mayor dureza que los quequitos con sustituto de huevo (HA), en contraste con lo reportado por la literatura, donde se ha

encontrado que la goma xantán (presente en HA) provoca un aumento en la dureza de los queques [37].

Con respecto al efecto de tiempo de almacenamiento, en ambas formulaciones se observó un aumento significativo en la dureza. Este comportamiento era de esperarse, pues referencia [1] describe que los productos de panadería presentan un endurecimiento gradual típico; asimismo, esta tendencia se ha reportado previamente en otros estudios con diferentes productos de panadería [17], [28].

Referencia [38] describe que el endurecimiento de la miga del pan es uno de los parámetros que se utilizan para la evaluación del envejecimiento de este y, a su vez, está relacionado con la migración de humedad de la miga a la corteza y la retrogradación del almidón. De manera que la amilosa, junto al gluten y el huevo, participan en la textura inicial de la miga, mientras que la amilopectina participa durante el almacenamiento sufriendo una transformación de estructura amorfa a cristalina de manera más lenta que la amilosa y contribuyendo al endurecimiento indeseable de la miga [27], [39].

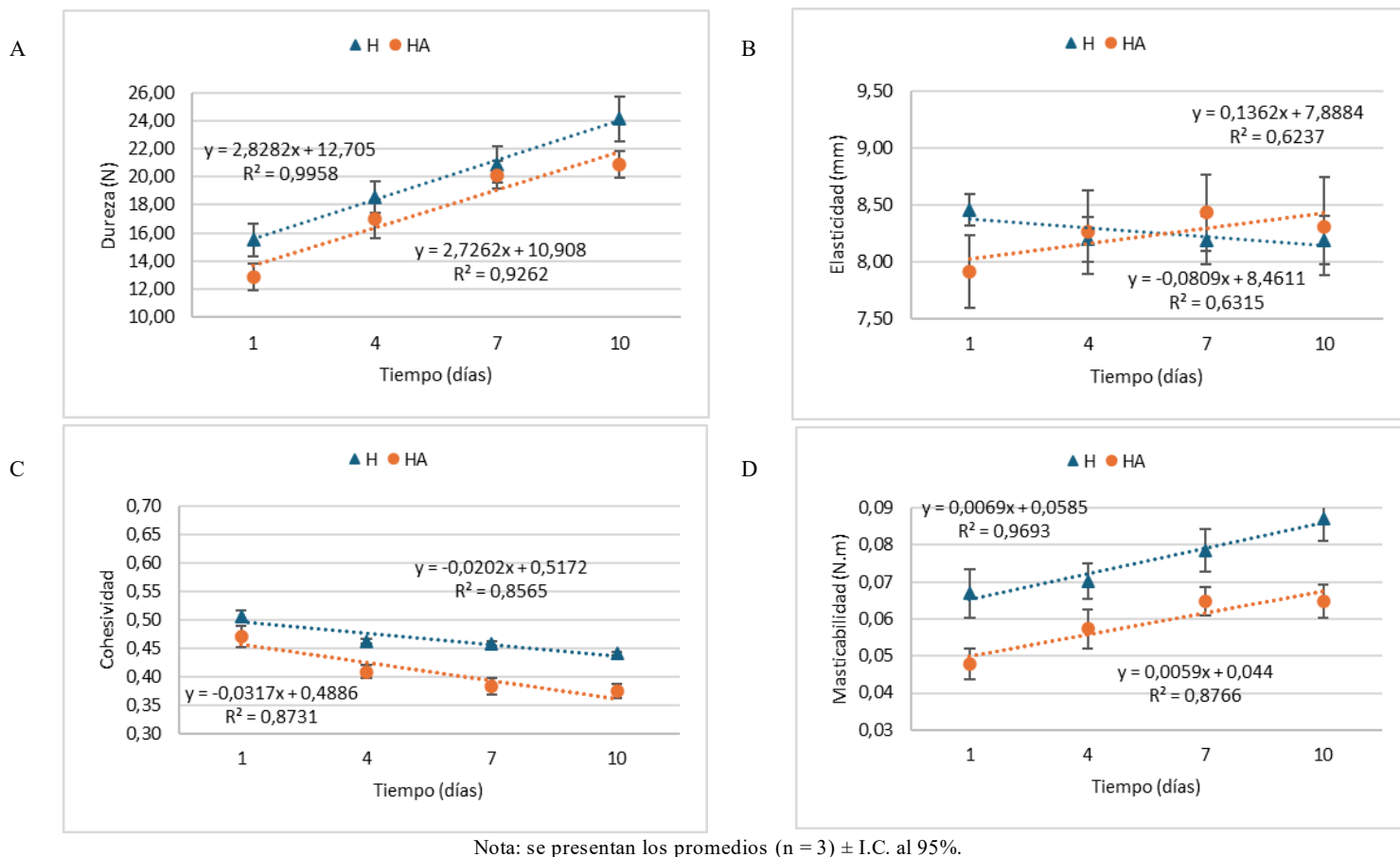


Fig. 8 Comportamiento de los parámetros de textura de los quequitos con huevo (HA) y con sustituto de huevo (H) en el tiempo de almacenamiento. (A) Dureza, (B) Elasticidad, (C) Cohesividad y (D) Masticabilidad.

En relación con la elasticidad de los quequitos, si bien no hubo diferencias significativas entre las dos formulaciones (Tabla 4), es importante mencionar el comportamiento de la interacción “Formulación*día” (Fig.8-B), donde se aprecia que la elasticidad de la formulación con huevo disminuye en el tiempo, mientras que en la formulación con sustituto de huevo aumenta.

Referencia [40] describe que es normal una disminución en la elasticidad durante el envejecimiento del pan. En ese sentido, referencia [41] estudió el almacenamiento de productos de panadería y encontró un aumento en la dureza y disminución en la elasticidad después del día seis de almacenamiento, atribuyendo este efecto a una menor flexibilidad de la red de gluten en el tiempo. El leve aumento de la elasticidad encontrado en los queques con sustituto de huevo posiblemente tenga relación con la presencia de goma xantán, que tiende a aumentar la elasticidad en queques [7].

Por otro lado, la cohesividad de los queques disminuyó significativamente en el tiempo de almacenamiento (Fig. 8 – C), un efecto reportado previamente por otros investigadores en pan y productos similares [38], [17]. Se observó que la disminución en la cohesividad fue mayor en los quequitos con sustituto de huevo, por lo que es probable que la estructura de estos se desmigaje más fácilmente a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento, ya que la cohesividad indica el grado de compresión que los queques soportan antes de desmigajarse [42], [43].

Con respecto a la masticabilidad, los quequitos con huevo presentaron valores más altos en comparación con los que contenían sustituto de huevo (Fig. 8-D); se destaca que ambas formulaciones presentaron un aumento significativo ($p \leq 0,05$) en este parámetro. Es decir, los quequitos requieren más esfuerzo para ser masticados a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento, ya que la masticabilidad se asocia precisamente con la energía requerida para masticarlos, hasta un estado que permita su ingesta [44], [45] y, a su vez, este parámetro resulta de la combinación de la dureza, cohesividad y elasticidad de los queques. Este comportamiento de la masticabilidad se ha reportado previamente en otros estudios con productos de panificación [46], [47].

Finalmente, en relación con los coeficientes de determinación (R^2) de los parámetros de textura analizados, se observa que los modelos son buenos para predecir la dureza, cohesividad y masticabilidad ($R^2 > 0,80$), mientras que para la elasticidad los valores de R^2 fueron menores que 0,7, por lo que en este parámetro los modelos obtenidos no se consideran buenos para predecir el comportamiento [31].

IV. CONCLUSIONES

El almacenamiento de los queques con huevo y con el sustituto de huevo de harina de arroz-yuca y goma xantán provocó cambios en estos, considerados normales para este tipo de productos. Por un lado, se observó una disminución significativa en el a_w y contenido de humedad en ambas

formulaciones, asociado con el envejecimiento natural del producto.

Por otro lado, hubo diferencias en el color entre las dos formulaciones (quequito con huevo más claro y con color más saturado) y ambas presentaron leve disminución de h° , siempre en la zona del amarillo, en el almacenamiento con respecto al día uno; estas diferencias son más perceptibles en la formulación con sustituto de huevo.

Los cambios en la textura durante el almacenamiento de ambos productos eran de esperarse: un notable aumento en la dureza y masticabilidad de los quequitos, más evidente en la formulación con huevo, y una disminución en la cohesividad.

Sobresale el aumento en la elasticidad de los quequitos con sustituto en comparación con la formulación con huevo y lo reportado en la teoría, lo que evidencia un efecto diferente y positivo del sustituto utilizado. Asimismo, se destaca que el volumen específico de los quequitos no se vio afectado por el almacenamiento, contradiciendo lo indicado en la teoría. Estos resultados abren un punto de partida hacia nuevas investigaciones en productos similares con el sustituto de huevo evaluado.

REFERENCIAS

- [1] 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.
- [2] M. G. O’Sullivan, “Sensory Properties of Bakery and Confectionary Products,” *A Handb. Sens. Consum. New Prod. Dev.*, pp. 305–324, 2017, doi: 10.1016/b978-0-08-100352-7.00014-2.
- [3] V. Giannou, D. Lebesi, and C. Tzia, “Packaging and Shelf-Life Prediction of Bakery Products,” *Bak. Prod. Sci. Technol. Second Ed.*, pp. 355–371, 2014, doi: 10.1002/9781118792001.ch20.
- [4] S. P. Cauvain, “Bread and other bakery products,” in *The Stability and Shelf Life of Food*, Elsevier Ltd, 2016, pp. 432–459.
- [5] M. Gibson and P. Newsham, “Bread,” in *Food Science and the Culinary Arts*, 2018, pp. 121–131.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] A. Rondoni, E. Millan, and D. Asioli, “Plant-based Eggs : Views of Industry Practitioners and Experts,” *J. Int. Food Agribus. Mark.*, vol. 34, no. 5, pp. 564–587, 2022, doi: 10.1080/08974438.2021.1915222.
- [9] 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.
- [10] A. Gaby, “Food Allergy and Intolerance,” in *Integrative Medicine*, 4th ed., Elsevier Inc., 2017, pp. 310–318.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] G. N. Yazici and M. S. Ozer, “Trends in Food Science & Technology A review of egg replacement in cake production : Effects on batter and cake properties,” *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 111, no. January, pp. 346–359, 2021, doi:

- 10.1016/j.tifs.2021.02.071.
- [14] S. Chan, "Dietetic Bakery Products," in *Bakery Products Science and Technology*, Segunda ed., Nueva Zelanda: John Wiley & Sons, Ltd., 2014.
 - [15] M. Witzak, R. Ziobro, L. Juszczak, and J. Korus, "Starch and starch derivatives in gluten-free systems - A review," *J. Cereal Sci.*, vol. 67, pp. 46–57, 2016, doi: 10.1016/j.jcs.2015.07.007.
 - [16] S. M. Quirós, "Elaboración de quequitos libres de gluten a partir de harinas de tiquisque, ñampi, arroz, yuca y sus mezclas," Universidad de Costa Rica, 2013.
 - [17] M. Gómez, E. Ruiz-París, B. Oliete, and V. Pando, "Modeling of texture evolution of cakes during storage," *J. Texture Stud.*, vol. 41, no. 1, pp. 17–33, 2010, doi: 10.1111/j.1745-4603.2009.00210.x.
 - [18] V. A. Jideani, *Bread Storage and Preservation*, no. 1. Bellville, Sudafrica: Elsevier, 2019.
 - [19] C. Fadda, A. M. Sanguinetti, A. Del Caro, C. Collar, and A. Piga, "Bread staling: Updating the view," *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 13, no. 4, pp. 473–492, 2014, doi: 10.1111/1541-4337.12064.
 - [20] 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.
 - [21] L. Jarpa-Parra, M., Wong, L., Wismer, W., Temelli, F., Han, J., Huang, W., Eckhart, E., Tian, Z., Shi, K., Sun, T. and Chen, "Quality characteristics of angel food cake and muffin using lentil protein as egg/milk replacer," *Int. J. Food Sci. Technol.*, vol. 52, no. 7, pp. 1604–1613, 2017, doi: <https://doi.org/10.1111/ijfs.13433>.
 - [22] M. G. Villalobos, "Elaboración de un puré de papaya híbrido Pococi para sustituir grasa en quequitos y 'cheese cake,'" Universidad de Costa Rica, 2008.
 - [23] MEIC, "Decreto N° 22029. PAN. Clasificación," 1993.
 - [24] 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.
 - [25] H. C. Ugalde, "Estudio de la deshidratación del pejibaye (*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.
 - [26] 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.
 - [27] N. Ooms, B. Pareyt, K. Brijs, and J. A. Delcoul, "Ingredient Functionality in Multilayered Dough-margarine Systems and the Resultant Pastry Products: A Review," *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, vol. 56, no. 13, pp. 2101–2114, 2016, doi: 10.1080/10408398.2014.928259.
 - [28] H. He and R. Hoskeney, "Changes in bread firmness and moisture during long-term storage," *Cereal Chem.*, vol. 67, no. 6, pp. 603–605, 1990.
 - [29] A. Luyts, E. Wilderjans, I. Van Haesendonck, K. Brijs, C. M. Courtin, and J. A. Delcoul, "Relative importance of moisture migration and amylopectin retrogradation for pound cake crumb firming," *Food Chem.*, vol. 141, no. 4, pp. 3960–3966, 2013, doi: 10.1016/j.foodchem.2013.06.110.
 - [30] V. Bewick, L. Cheek, and J. Ball, "Statistics review 7: Correlation and regression," *Crit. Care*, vol. 7, no. 6, pp. 451–459, 2003, doi: 10.1186/cc2401.
 - [31] D. Granato, V. Ô. M. de Araújo Calado, and B. Jarvis, "Observations on the use of statistical methods in Food Science and Technology," *Food Res. Int.*, vol. 55, pp. 137–149, 2014, doi: 10.1016/j.foodres.2013.10.024.
 - [32] 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.
 - [33] T. S. Palav, *Chemistry of Cake Manufacturing*, 2nd ed., vol. 3–4. Elsevier Ltd., 2015.
 - [34] 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.
 - [35] A. K. Roy-Choudhury, *Using instruments to quantify colour*. 2014.
 - [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] A. Muhammad Nurul Azmi, N. A. AZ, and N. Z., "A Study On Physicochemical And Sensory Characteristics Of Eggless Yellow Cake," *Indones. Food Sci. Technol. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–8, 2019, doi: 10.22437/iftst.v2i1.6077.
 - [38] C. L. Tsai *et al.*, "Changes in the texture and viscoelastic properties of bread containing rice porridge during storage," *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, vol. 76, no. 2, pp. 331–335, 2012, doi: 10.1271/bbb.110722.
 - [39] S. P. Cauvain and L. S. Young, *Baked Products: Science, Technology and Practice*. 2007.
 - [40] Z. Goranova, M. Baeva, S. Stankov, and G. Zsivanovits, "Sensory Characteristics and Textural Changes during Storage of Sponge Cake with Functional Ingredients," *J. Food Phys.*, vol. 28, pp. 70–79, 2015.
 - [41] H. Goesaert, L. Slade, H. Levine, and J. A. Delcoul, "Amylases and bread firming – an integrated view," *J. Cereal Sci.*, vol. 50, no. 3, pp. 345–352, 2009, doi: 10.1016/j.jcs.2009.04.010.
 - [42] 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.
 - [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] 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.
 - [45] 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.
 - [46] A. Angioloni and C. Collar, "Bread crumb quality assessment: A plural physical approach," *Eur. Food Res. Technol.*, vol. 229, no. 1, pp. 21–30, 2009, doi: 10.1007/s00217-009-1022-3.
 - [47] P. Crowley, T. J. Schober, C. I. Clarke, and E. K. Arendt, "The effect of storage time on textural and crumb grain characteristics of sourdough wheat bread," *Eur. Food Res. Technol.*, vol. 214, no. 6, pp. 489–496, 2002, doi: 10.1007/s00217-002-0500-7.