

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

EFFECTO DE DIFERENTES SUSTITUTOS DE HUEVO, LA APLICACIÓN DE AIREACIÓN, LA ADICIÓN DE LECITINA Y EL ALMACENAMIENTO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SENSORIALES DE UN QUEQUE LIBRE DE HUEVO

Tesis sometida a consideración de la Comisión del Programa de Posgrado en Ciencia de Alimentos para optar al grado y título de Maestría Académica en Ciencia de Alimentos

FANI SOFÍA GUARDADO SÁNCHEZ

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2019

## **DEDICATORIA**

A mis padres, hermanos y a mi sobrino Max.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo no hubiera sido posible sin la guía de Dios y la perseverancia que me ha permitido adquirir con el paso del tiempo.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) por haberme permitido ser parte del programa de becas “Relevo Docente”, gracias totales por la confianza. De igual manera a mis dos avales, con quienes estaré eternamente agradecida.

A mi Directora de Tesis, Dra. María Lourdes. Infinitas gracias por todo. Por la orientación que me brindó desde el inicio del Posgrado, por dirigir este trabajo, por siempre tener un espacio para aclarar mis dudas y muchas gracias por su paciencia. A mis asesoras, M.Sc. Jacqueline Aiello y Ph.D. Elba Cubero. Muchas gracias por ser parte de este trabajo. Gracias por su orientación y por siempre tener la disposición de aclarar mis dudas. Y a las 3, muchas gracias por permitirme trabajar en este proyecto y por todo el conocimiento que compartieron conmigo, tanto en los cursos como en este TFG. Gracias por ser profesionales con calidad humana y el carisma que las caracteriza.

Finalmente agradezco a todas aquellas personas que de alguna manera colaboraron con el desarrollo de este proyecto. Giova y Luis del Laboratorio de Química de TA, Alonso y Camacho de la Planta Piloto del CITA; a los 4, muchas gracias por siempre tener la disposición de colaborar con los tesarios y de aclarar las constantes dudas de una manera muy profesional, amable y respetuosa.

A Jannette Wu, muchas gracias por su amistad y por su valiosa colaboración durante la parte experimental de este trabajo, en el que en muchas ocasiones necesité el apoyo de una amiga.

A todos ustedes, muchas gracias.

“Esta Tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Posgrado en Ciencia de Alimentos de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Académica en Ciencia de Alimentos.”

---

M.Sc. Pedro Vargas Aguilar  
**Representante del Decano del  
Sistema de Estudios de Posgrado**

---

Dra. María Lourdes Pineda Castro, M.Sc.  
**Directora de tesis**

---

M.Sc. Jacqueline Aiello Ramírez  
**Asesora**

---

Ph.D. Elba Cubero Castillo  
**Asesora**

---

M.Sc. Ana Isabel Incer González  
**Representante Programa de  
Posgrado en Ciencia de Alimentos**

---

Fani Sofía Guardado Sánchez  
**Candidata**

# CONTENIDO

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
RESUMEN.....	ix
LISTA DE CUADROS .....	x
LISTA DE FIGURAS .....	xi
LISTA DE APÉNDICES .....	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS .....	xiv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS .....	8
2.1. Objetivo general .....	8
2.2. Objetivos específicos.....	8
3. MARCO TEÓRICO .....	9
3.1. Alergias alimentarias .....	9
3.2. Generalidades del huevo.....	11
3.2.1. El huevo como alérgeno .....	13
3.2.2. Funcionalidad tecnológica del huevo en panadería .....	15
3.3. Sustitutos del huevo .....	17
3.3.1. Mucílago de Linaza (ML) .....	19
3.3.2. Mucílago de chía (MC) .....	21
3.3.3. Concentrado de proteína de suero lácteo (WPC) .....	22
3.3.4. Concentrado de proteína de soya (CPS) .....	26
3.3.5. Mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán (HA).....	29
3.4. Queques.....	32
3.4.1. El aireado .....	34
3.4.2. La lecitina .....	34
3.5. Parámetros de calidad en productos de panadería.....	35
3.5.1. Viscosidad .....	35
3.5.2. Densidad relativa .....	36
3.5.3. Prueba amilográfica.....	36
3.5.4. Humedad y $a_w$ .....	37
3.5.5. Medición de volumen en productos de panificación .....	37
3.5.6. Medición instrumental de color .....	38

3.5.7.	Medición instrumental de textura .....	39
3.5.8.	Análisis sensorial .....	40
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
4.1.	Localización.....	43
4.2.	Materiales.....	43
4.2.1.	Elaboración de los quequitos .....	43
4.3.	Pruebas preliminares.....	46
4.3.1.	Formulación del quequito control .....	46
4.3.2.	Sustitutos de huevo .....	46
4.4.	Preparación de los sustitutos de huevo .....	47
4.4.1.	Preparación del sustituto de huevo comercial “NO EGG” .....	47
4.4.2.	Preparación de la dispersión de concentrado de proteína de suero lácteo .	47
4.4.3.	Preparación de la dispersión de concentrado de proteína de soya .....	48
4.4.4.	Extracción del mucílago de linaza.....	48
4.4.5.	Extracción del mucílago de chía .....	48
4.4.6.	Preparación de la mezcla de harina de arroz-yuca y goma xantán .....	49
4.5.	Caracterización física de la masa de los quequitos.....	49
4.5.1.	Descripción.....	49
4.5.2.	Diseño estadístico .....	50
4.5.3.	Análisis estadístico .....	50
4.6.	Evaluación del efecto de diferentes sustitutos de huevo sobre las características físicas y sensoriales de un quequito.....	50
4.6.1.	Descripción.....	50
4.6.2.	Diseño estadístico .....	50
4.6.3.	Análisis estadístico .....	51
4.7.	Efecto del aireado adicional y la incorporación de lecitina sobre las propiedades físicas de un quequito libre de huevo .....	51
4.7.1.	Descripción.....	51
4.7.2.	Diseño estadístico .....	51
4.7.3.	Análisis estadístico .....	52
4.8.	Estudio de Almacenamiento .....	52
4.8.1.	Descripción.....	52
4.8.2.	Diseño estadístico .....	52
4.8.3.	Análisis estadístico .....	53

4.9.	Métodos de análisis .....	53
4.9.1.	Análisis en la masa de los quequitos.....	53
4.9.1.1.	Densidad relativa .....	53
4.9.1.2.	Viscosidad.....	53
4.9.1.3.	Color .....	53
4.9.1.4.	Perfil amilográfico.....	54
4.9.2.	Análisis en los quequitos.....	54
4.9.2.1.	Actividad de agua ( $a_w$ ).....	54
4.9.2.2.	Porcentaje de humedad .....	54
4.9.2.3.	Volumen específico.....	55
4.9.2.4.	Medición instrumental de la textura .....	55
4.9.2.5.	Medición instrumental de color.....	57
4.9.2.6.	Prueba de agrado general.....	58
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	59
5.1.	Pruebas preliminares.....	59
5.2.	Caracterización física de la masa de los quequitos.....	59
5.2.1.	Densidad relativa y viscosidad.....	59
5.2.2.	Color.....	63
5.3.	Efecto de diferentes sustitutos de huevo sobre las características físicas y sensoriales de un quequito libre de huevo .....	67
5.3.1.	$A_w$ , humedad y volumen específico.....	67
5.3.2.	Color.....	71
5.3.3.	Análisis del perfil de Textura.....	75
5.3.4.	Agrado general de los quequitos .....	79
5.4.	Efecto del aireado adicional y la incorporación de lecitina de soya sobre las propiedades físicas de un quequito libre de huevo.....	85
5.4.1.	Color y volumen específico.....	85
5.4.2.	Análisis del perfil de Textura.....	89
5.5.	Estudio de almacenamiento.....	93
5.5.1.	$A_w$ , humedad y volumen específico.....	93
5.5.2.	Color.....	96
5.5.3.	Análisis del perfil de Textura.....	98
6.	CONCLUSIONES .....	104
7.	RECOMENDACIONES.....	107

8. BIBLIOGRAFÍA.....	108
9. APÉNDICES.....	124



## RESUMEN

Esta investigación se compone de cuatro estudios. Se evaluó el efecto de diferentes sustitutos de huevo sobre la densidad relativa, viscosidad y color de las masas destinadas a la elaboración de quequitos libres de huevo. Se evaluaron 6 sustitutos, 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 chíá (MC), mucílago de linaza (ML) y sustituto comercial NO EGG (SC), además de una formulación control (H) con huevo. Se encontró que HA, MC y ML no fueron diferentes ( $p > 0,05$ ) de H en la densidad relativa, SC simuló la viscosidad de H ( $p > 0,05$ ) y entre HA y H se encontró una diferencia de color  $\Delta E^* = 4,59$ .

En el segundo estudio se evaluó el efecto de estos mismos sustitutos sobre las propiedades fisicoquímicas, reológicas y sensoriales de quequitos libres de huevo. Se evaluó el efecto sobre el  $a_w$ , contenido de humedad, volumen específico, color y el análisis de perfil de textura (TPA). Se observó que HA, WPC y SC presentaron  $a_w$  sin diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) con respecto a H, WPC logró simular el contenido de humedad de H, H presentó el volumen específico mayor, y MC y ML fueron los quequitos de menor crecimiento. Se encontraron diferencias de color evidentes ( $\Delta E^* > 5$ ) en todos los casos con respecto a H. En el TPA, HA, CPS y SC no fueron diferentes de H ( $p > 0,05$ ) en la dureza; WPC y SC en la adhesividad; ML, MC, HA y SC en la elasticidad, y ML y MC en la masticabilidad. El agrado general se inclinó hacia H, SC, MC y HA, y se escogió HA como mejor sustituto debido a que se asemejó a H en más parámetros físico químicos que los demás sustitutos.

En el tercer estudio se evaluó el efecto de la adición de lecitina de soya (L), aplicación de aireado adicional durante 3 minutos (A) y la combinación de ambos (LA) sobre el volumen específico, color y TPA de los quequitos HA. Se obtuvo  $\Delta E^* \leq 1,5$  para L y LA, y  $\Delta E^* = 1,96$  para A, con respecto al control. La adición de L y LA disminuyeron significativamente ( $p \leq 0,05$ ) el volumen específico de los quequitos. En el TPA, L y LA provocaron un aumento significativo ( $p \leq 0,05$ ) en la dureza y masticabilidad, A aumentó significativamente ( $p \leq 0,05$ ) la cohesividad, mientras que LA aumento significativamente ( $p \leq 0,05$ ) la adhesividad y disminuyó la cohesividad.

Finalmente, se hizo un estudio de almacenamiento durante 10 días, en el que se observaron los cambios en el  $a_w$ , contenido de humedad, volumen específico, color y TPA de los quequitos H y HA. Se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre las dos formulaciones en todos los casos, excepto ángulo  $h^\circ$  y elasticidad. HA presentó mayor  $a_w$  y contenido de humedad, y menor volumen específico,  $L^*$ ,  $C^*$ , dureza, cohesividad y masticabilidad que H. El tiempo de almacenamiento provocó una disminución significativa ( $p \leq 0,05$ ) en el  $a_w$ , contenido de humedad y color ( $C^*$  y  $h^\circ$ ) de los quequitos, la dureza y masticabilidad aumentaron, y hubo una interacción formulación\*día en elasticidad y cohesividad, de manera que la elasticidad aumentó en HA y disminuyó en H, y la cohesividad disminuyó más en HA que en H. El volumen no se vio afectado por el almacenamiento.

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Composición aproximada del huevo y sus componentes.....	12
<b>Cuadro 2.</b> Composición proteica de la clara de huevo. ....	12
<b>Cuadro 3.</b> Composición proteica y lipídica de la yema de huevo.....	12
<b>Cuadro 4.</b> Principales alérgenos presentes en el huevo de gallina.....	14
<b>Cuadro 5</b> Composición de varios subproductos de lactosuero concentrado.....	24
<b>Cuadro 6.</b> Composición aproximada de los productos de proteína de soya (% en base seca). .....	28
<b>Cuadro 7.</b> Formulación del quequito control.....	46
<b>Cuadro 8.</b> Formulación de la mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán.....	49
<b>Cuadro 9.</b> Parámetros del análisis de perfil de textura. ....	57
<b>Cuadro 10.</b> Análisis de varianza de la densidad relativa y la viscosidad de las masas....	59
<b>Cuadro 11.</b> Análisis de varianza del color de las masas.....	63
<b>Cuadro 12.</b> Análisis de varianza del $a_w$ , humedad y volumen específico de los quequitos.67	67
<b>Cuadro 13.</b> Análisis de varianza de los parámetros de color ( $L^*$ , $C^*$ y $h^\circ$ ) de los quequitos.71	71
<b>Cuadro 14.</b> Diferencias de color en la miga de los quequitos con sustitutos de huevo en comparación con el control (H). ....	74
<b>Cuadro 15.</b> Análisis de varianza de los parámetros del perfil de textura de los quequitos.75	75
<b>Cuadro 16.</b> Análisis de varianza del agrado general de los quequitos con huevo y sustitutos de huevo evaluados.....	82
<b>Cuadro 17.</b> Análisis de varianza de los parámetros de color ( $L^*$ , $C^*$ y $h$ ) de los quequitos.85	85
<b>Cuadro 18.</b> Diferencias de color entre el control y los quequitos con/sin aireado adicional y/o lecitina. ....	87
<b>Cuadro 19.</b> Análisis de varianza de los parámetros del perfil de textura de los quequitos de la formulación HA con/sin aireado adicional y/o adición de lecitina de soya. ....	89
<b>Cuadro 20.</b> Análisis de varianza del $a_w$ , humedad y volumen específico de los quequitos durante el almacenamiento.....	93
<b>Cuadro 21.</b> Promedios del $a_w$ , humedad y volumen específico de los quequitos durante el almacenamiento. ....	94
<b>Cuadro 22.</b> Análisis de varianza de los parámetros de color ( $L^*$ , $C^*$ y $h^\circ$ ) de los quequitos durante el almacenamiento.....	96
<b>Cuadro 23.</b> Diferencia de color ( $\Delta E^*$ ) de los quequitos H y HA durante el almacenamiento con respecto al día 1. ....	98
<b>Cuadro 24.</b> Análisis de varianza del análisis de perfil de textura de los quequitos. ....	99
<b>Cuadro 25.</b> Formulaciones evaluadas para la definición del quequito control. ....	124
<b>Cuadro 26.</b> Resultados de la primera prueba de sustitución de huevo.....	125
<b>Cuadro 27.</b> Resultados de la segunda prueba de sustitución de huevo. ....	126
<b>Cuadro 28.</b> Resultados de la tercera prueba de sustitución de huevo.....	128
<b>Cuadro 29.</b> Resultados de la cuarta prueba de sustitución de huevo. ....	129
<b>Cuadro 30.</b> Resultados de la quinta prueba de sustitución de huevo. ....	130
<b>Cuadro 31.</b> Resultados de la sexta prueba de sustitución de huevo. ....	131
<b>Cuadro 32.</b> Condiciones de las formulaciones para el análisis amilográfico.....	132
<b>Cuadro 33.</b> Información nutricional de la harina de arroz. ....	135
<b>Cuadro 34.</b> Información nutricional de la harina de yuca.....	135

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Etapas en la elaboración de queques. (A) Cremado, (B) Mezclado y (C) Inicio del calentamiento de la masa. Fuente: Wilderjans <i>et al.</i> (2013). .....	33
<b>Figura 2.</b> Diagrama de proceso general para la elaboración de quequitos. ....	44
<b>Figura 3.</b> Posición del quequito previo al análisis de textura. ....	56
<b>Figura 4.</b> Ejemplo de orden de presentación de las muestras de quequitos evaluadas... ..	58
<b>Figura 5.</b> Densidad relativa de las masas de los quequitos. Formulación con huevo (H), Mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán (HA), Sustituto comercial “NO EGG” (SC), Concentrado de proteína de suero lácteo (WPC), Concentrado de proteína de soya (CPS), Mucílago de linaza (ML) y Mucílago de chíá (MC). ....	60
<b>Figura 6.</b> Viscosidad de las masas. Formulación con huevo (H), Mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán (HA), Sustituto comercial “NO EGG” (SC), Concentrado de proteína de suero lácteo (WPC), Concentrado de proteína de soya (CPS), Mucílago de linaza (ML) y Mucílago de chíá (MC). ....	62
<b>Figura 7.</b> Medias de los parámetros de color (A) L*, (B) C* y (C) h° de las masas. Formulación con huevo (H), Mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán (HA), Sustituto comercial “NO EGG” (SC), Concentrado de proteína de suero lácteo (WPC), Concentrado de proteína de soya (CPS), Mucílago de linaza (ML) y Mucílago de chíá (MC). ....	64
<b>Figura 8.</b> Sustitutos de huevo evaluados. (A) MC, (B) ML y previo a la adición del agua: (C) HA, (D) CPS, (E) WPC y (F) SC. ....	66
<b>Figura 9.</b> Medias del (A) $a_w$ , (B) porcentaje de humedad y (C) volumen específico de los quequitos. Formulación con huevo (H), Mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán (HA), Sustituto comercial “NO EGG” (SC), Concentrado de proteína de suero lácteo (WPC), Concentrado de proteína de soya (CPS), Mucílago de linaza (ML) y Mucílago de chíá (MC). ....	68
<b>Figura 10.</b> Medias de los parámetros de color (A) L*, (B) C* y (C) h° de los quequitos. Formulación con huevo (H), Mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán (HA), Sustituto comercial “NO EGG” (SC), Concentrado de proteína de suero lácteo (WPC), Concentrado de proteína de soya (CPS), Mucílago de linaza (ML) y Mucílago de chíá (MC). ....	72
<b>Figura 11.</b> Medias de los parámetros de textura de los quequitos. (A) Dureza, (B) Adhesividad, (C) Elasticidad, (D) Cohesividad y (E) Masticabilidad. Formulación con huevo (H), Mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán (HA), Sustituto comercial “NO EGG” (SC), Concentrado de proteína de suero lácteo (WPC), Concentrado de proteína de soya (CPS), Mucílago de linaza (ML) y Mucílago de chíá (MC). ....	76
<b>Figura 12.</b> Frecuencias porcentuales de los resultados de la encuesta. ....	81
<b>Figura 13.</b> Análisis de conglomerados de la prueba de agrado general de los quequitos de las diferentes formulaciones. ....	82
<b>Figura 14.</b> Medias del agrado de los quequitos en los grupos (A) 1, (B) 2 y (C) 3. Formulación con huevo (H), Mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán (HA), Sustituto comercial “NO EGG” (SC), Concentrado de proteína de suero lácteo (WPC), Concentrado de proteína de soya (CPS), Mucílago de linaza (ML) y Mucílago de chíá (MC). ....	84

<b>Figura 15.</b> Medias de los parámetros de color ( $L^*$ , $C^*$ y $h^\circ$ ) de HA, sin aireado adicional y sin lecitina (C), con lecitina y aireado adicional (LA), solo con lecitina (L) y solo aireado adicional (A).....	87
<b>Figura 16.</b> Medias del volumen específico de los quequitos HA, sin aireado adicional y sin lecitina (C), con lecitina y aireado adicional (LA), solo con lecitina (L) y solo aireado adicional (A).....	88
<b>Figura 17.</b> Medias de los parámetros de textura de los quequitos de la formulación HA, sin aireado adicional y sin lecitina (C), con lecitina y aireado adicional (LA), solo con lecitina (L) y solo aireado adicional (A). Parámetros: (A) Dureza, (B) Adhesividad, (C) Cohesividad y (D) Masticabilidad.....	91
<b>Figura 18.</b> Efecto del tiempo de almacenamiento sobre el (A) $a_w$ y (B) porcentaje de humedad de los quequitos con huevo (H) y con mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán (HA). .....	94
<b>Figura 19.</b> Efecto del tiempo de almacenamiento sobre los parámetros de color (A) $C^*$ y (B) $h^\circ$ de los quequitos H y HA. ....	97
<b>Figura 20.</b> Comportamiento de los parámetros de textura de los quequitos HA y H en el tiempo de almacenamiento. (A) Dureza, (B) Elasticidad, (C) Cohesividad y (D) Masticabilidad. .....	100
<b>Figura 21..</b> Formulación 1, 2 y 3 respectivamente. ....	124
<b>Figura 22.</b> Perfil visco-amilográfico de las formulaciones. Harina de trigo (TH), Formulación con huevo (H), Mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán (HA), Sustituto comercial “NO EGG” (SC), Concentrado de proteína de suero lácteo (WPC), Concentrado de proteína de soya (CPS), Mucílago de linaza (ML) y Mucílago de chía (MC). ....	134

## LISTA DE APÉNDICES

<b>APÉNDICE A.</b> Pruebas preliminares .....	124
<b>APÉNDICE B.</b> Análisis amilográfico. ....	132
<b>APÉNDICE C.</b> Información nutricional de las harinas de arroz y yuca. ....	135
<b>APÉNDICE D.</b> Encuesta aplicada a los consumidores. ....	136

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

CITA: Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos

CPS: Concentrado de Proteína de Soya

IC: Intervalo de Confianza

H: Huevo

HA: Mezcla de Harinas de Arroz-Yuca y Goma Xantán

MC: Mucílago de Chía

ML: Mucílago de Linaza

SC: Sustituto de Huevo Comercial

TPA: Texture Profile Analysis

WPC: Concentrado de Proteína de Suero Lácteo

WPI: Aislado de proteína de suero lácteo.



**Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.**

Yo, Fani Sofia Guardado Sánchez, con cédula de identidad E851146, en mi condición de autor del TFG titulado Efecto de diferentes sustitutos de huevo, la aplicación de aireación, la adición de lecitina y el almacenamiento sobre las características físicas y sensoriales de un queque libre de huevo.

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI  NO \*

\*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: \_\_\_\_\_ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

**INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE:**

Nombre Completo: Fani Sofia Guardado Sánchez

Número de Carné: B79411

Número de cédula: E851146

Correo Electrónico: faniguardado@yahoo.com

Fecha: 3 de febrero de 2020

Número de teléfono: 00 504 98307189

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): \_\_\_\_\_

Dra. María Lourdes Pineda Castro, M.Sc.

**FIRMA ESTUDIANTE**

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

## 1. INTRODUCCIÓN

El huevo de gallina se considera un ingrediente multifuncional a nivel culinario y en la industria de alimentos, ya que puede realizar varias funciones tecnológicas simultáneas en alimentos formulados. Algunas de sus propiedades son la capacidad de formar espumas, efecto como emulsionante, gelificante, espesante, colorante y aromatizante, características que lo convierten en un ingrediente universal para la industria alimentaria (Lechevalier, Croguennec, Anton y Nau, 2011). Gibson y Newsham (2018) mencionan que en la industria del pan los huevos actúan como agentes aglutinantes y de fermentación y, específicamente, las yemas aportan riqueza y humedad a los productos horneados. Además, otros autores como Lai y Lin (2005) le atribuyen otras funciones como dar estructura, emulsionar grasas y líquidos, aportar materia grasa, brindar humedad, sabor, color y proporcionar valor nutricional a los productos.

Desafortunadamente, la hipersensibilidad a los huevos de gallina es una de las alergias alimentarias más comunes en los niños, con una prevalencia del 2% (Seweryn, Królewicz, Stach y Kustrzeba-wójcicka, 2018; Bianchi *et al.*, 2016), y se estima que afecta entre el 1,6 y 3,2% de la población a nivel mundial (Odumeru, 2012). En este sentido, algunas instituciones como Food Allergy Canada (2019) y Food Allergy Research y Education (2019) incluyen al huevo dentro de los alérgenos prioritarios y más comunes; además, brindan asesoría e información a la población con respecto a las alergias alimentarias.

Es importante mencionar que las alergias alimentarias actualmente son reconocidas como una importante preocupación de salud pública en muchos países desarrollados (Dodo y Konan, 2011), debido a que los casos reportados crecen a niveles exponenciales, en especial entre los niños (ANSA, 2018). Se estima que las alergias alimentarias afectan entre 2 a 4% de la población en países desarrollados (Bianchi *et al.*, 2016), y otra estimación indica que hasta un 60% de la población sufre de alergias alimentarias no detectadas (Gaby, 2017), lo



que genera una pobre calidad de vida tanto en niños y adultos como en sus familiares (Huerta, Huerta y Ortega, 2013).

La alergia al huevo, al igual que las demás alergias alimentarias, es una respuesta anormal del sistema inmunitario que lo lleva a liberar sustancias químicas para proteger al cuerpo (anticuerpos IgE específicos de la proteína) y la exposición posterior a las proteínas alergénicas hace que se desencadenen reacciones alérgicas que pueden afectar la piel (erupción cutánea, urticaria y eccema), el tracto gastrointestinal (náuseas, cólicos abdominales y dolor, diarrea y vómitos), el sistema respiratorio (estornudos, sibilancias, congestión nasal, tos y dificultad para respirar) y el sistema cardiovascular (disminución de la presión arterial, ritmo cardíaco irregular y paro cardíaco), y generan hinchazón de la boca, lengua y garganta (Dodo y Konan, 2011; Hansstein, 2011). Los principales alérgenos presentes en el huevo de gallina (*Gallus spp.*) son: ovomucoide (Gal d 1), ovoalbúmina (Gal d 2), conalbúmina (Gal d 3) y lisozima (Gal d 4), los cuales están presentes en la clara y son los que con mayor frecuencia causan reacciones alérgicas en los niños. Otros alérgenos menores, como la albúmina sérica (Gal d 5) y la proteína YGP42 (Gal d 6), se encuentran en la yema y son más propensos a sensibilizar a los adultos (Seweryn *et al.*, 2018).

Sánchez y Sánchez (2015) analizaron los estudios epidemiológicos sobre alergias alimentarias en América Latina disponibles hasta el 2013, y destacan la limitada información que existe en comparación con Estados Unidos y la Unión Europea. Específicamente en Costa Rica, los autores citan un estudio realizado por Soto-Quiros y colaboradores en 1998, quienes evaluaron la respuesta inmunológica IgE para 15 alimentos entre niños asmáticos y no asmáticos. La sensibilización alimentaria entre los asmáticos fue del 60% y del 40% entre los no asmáticos. El huevo produjo una sensibilización del 48% entre los asmáticos, siendo la sensibilización al huevo significativamente menor entre los no asmáticos.

Ya que el huevo es un ingrediente tan importante, y dado su potencial alergénico, se considera necesaria la investigación en el desarrollo de productos con sustitutos de huevo en la formulación. 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 (Sahraiyán *et al.*, 2015; Ashwini, Jyotsna y Indrani, 2009), banana, chía y leche de soya en polvo (Agrahar-Murugkar, Zaidi, Kotwaliwale y Gupta, 2016) y concentrado o aislado de proteína de suero lácteo solo o en combinación con emulsificantes (Arunepanlop, Morr, Karleskind y Laye, 1996; Díaz-Ramírez *et al.*, 2016; Paraskevopoulou, Donsouzi, Nikiforidis y Kiosseoglou, 2015), entre otros.

Los hidrocoloides o gomas tienen una amplia gama de propiedades funcionales en los alimentos. Estos incluyen espesamiento, gelificación, emulsificación y estabilización. La propiedad de espesamiento del agua es común en todos los hidrocoloides y es la razón principal de su uso general; la mayoría de ellos dan viscosidades altas (Saha y Bhattacharya, 2010). En la industria del pan, en los últimos años, ha aumentado el interés por el uso de hidrocoloides debido a su origen natural y sus efectos en la reología de la masa y la calidad del pan (Ferrero, 2017). Además, funcionan como auxiliares en el procesamiento y proporcionan fibra dietética (Kohajdová, Karovičová y Schmidt, 2009) y se sabe que la fibra dietética ayuda en la prevención de enfermedades como la diabetes y la obesidad (Oomah, 2001). Las propiedades de textura y sensoriales del gel formado varían ampliamente con el tipo de hidrocoloide utilizado.

El mucílago o goma de la linaza, es un tipo de goma de exudado obtenido de la semilla de linaza (Milani y Maleki, 2012) y es la fuente principal de fibra de la misma (Hussain, Anjum, Alamri, Mohamed y Nadeem, 2013). Diversos autores han estudiado la incorporación de la linaza entera, su proteína o el mucílago en productos de panificación, en especial como un valor agregado (alimentos funcional) (Ramcharitar, Badrie, Mattfelt-Beman, Matsuo y Ridley, 2005; Korus, Witczak, Ziobro y Juszcak, 2015; Pohjanheimo, Hakala, Tahvonen, Salminen y Kallio, 2006; Hussain *et al.*, 2013). Además, Liu *et al.* (2016) describen que el mucílago de linaza puede actuar como agente espumante, emulsificante, gelificante y espesante. Con base en estas propiedades tecnológicas resulta

prometedor el uso del mismo como un potencial sustituto del huevo en productos de panadería.

La semilla de chía se ha utilizado como ingrediente en diferentes productos de panificación libres de huevo; por ejemplo, el uso de harina de chía en galletas (Shah, Mishra y Christian, 2014) y el uso de semillas de chía en polvo como sustituto de huevo en queques (Agrahar-Murugkar *et al.*, 2016). Borneo, Aguirre y León (2010) evaluaron un gel formado por semillas de chía hidratadas y el mucílago de éstas como sustituto de huevo en una formulación de queque y lograron buenos resultados en una sustitución del 25%.

El mucílago de chía tiene la capacidad de hidratar, desarrollar viscosidad y mantener la frescura, especialmente en productos de panadería; con base en estas propiedades ha sido estudiado como sustituto de grasa en pan y pasteles (Fernandes y Salas-Mellado, 2017). También este mucílago presenta otras propiedades como emulsionante y estabilizante (Agrahar-Murugkar *et al.*, 2016), por lo que podría tener potencial como sustituto de huevo.

El concentrado de proteína de suero lácteo (WPC, por sus siglas en inglés) se utiliza con frecuencia en productos de panificación; por ejemplo, en la elaboración de panes, biscuits y queques. Además, se le han atribuido varias funciones tecnológicas similares a las del huevo entero, como capacidad de gelificación, la formación de espuma y emulsificación (Ramos *et al.*, 2015), por lo que resulta prometedor como sustituto del huevo entero. Algunos estudios han evaluado la posibilidad de incorporación de WPC como sustituto total o parcial de la clara de huevo en diferentes queques (Arunepanlop *et al.*, 1996; Jyotsna, Manohar, Indrani y Rao, 2007; Movahhed, Mohebbi, Koocheki y Milani, 2016).

La proteína de soya es una de las proteínas vegetales más utilizadas en una amplia gama de productos, entre ellos, productos de panificación (Ma, 2015). Thrane, Paulsen, Orcutt y Krieger (2016) indican que, funcionalmente, la proteína de soya puede reemplazar la proteína derivada de animales (carne, lácteos y huevo) y reducir los costos sin cambiar el sabor y la calidad. Además, la proteína

de soya se ha descrito con la capacidad de formación y estabilización de espuma, como agente emulsificante, aglutinante, gelificante y con capacidad de retención de agua (Ma, 2015; Thrane *et al.*, 2016).

La soya se ha evaluado como sustituto de huevo en diferentes estudios; por ejemplo, el estudio realizado por Rahmati y Tehrani (2015), quienes evaluaron la incorporación de leche de soya elaborada con harina de soya y agua, reportó buenos resultados en una sustitución parcial de huevo. Otros estudios han utilizado leche de soya en polvo (Agrahar-Murugkar *et al.*, 2016), leche de soya y lecitina (Hedayati y Tehrani, 2018) y aislado de proteína de soya (Lin, Tay, Yang, Yang y Li, 2017).

Otras alternativas de sustitución de huevo consisten en utilizar almidones en combinación con otros ingredientes menores (por ejemplo, gomas). Tal es el caso del producto comercial “NO EGG”, un sustituto de huevo de la marca Orgran (Orgran®, 2019). Chan (2014) explica que los sustitutos de huevo comerciales se componen de almidones, harinas, un agente leudante y gomas y que estos son útiles como agentes aglutinantes y humectantes en productos de panadería. En caso de los almidones se ha descrito su funcionalidad como ingredientes espesantes, gelificantes y estabilizantes en diferentes productos alimenticios (Le-Bail, Hesso y Le-Bail, 2017). El agente leudante ayuda en la aireación de la masa al liberar dióxido de carbono, el cual se genera a partir de la reacción de un ácido con una base en presencia de calor y humedad (Palav, 2015), y la adición de gomas controla la viscosidad de la masa y evita que las burbujas de aire escapen durante el proceso (Palav, 2015).

Los emulsificantes se utilizan en la industria de panadería con el objetivo de mejorar la masa, lo que incluye una mayor resistencia, mayor índice de hidratación y absorción de agua, mayor tolerancia al tiempo de reposo, mejora en la estructura y mayor vida útil, entre otros (Kohajdová *et al.*, 2009). Las yemas de huevo contienen emulsionantes naturales, que ayudan a producir batidos suaves y contribuyen al volumen y a la textura (Lai y Lin, 2005). La fosfatidilcolina, comúnmente denominada lecitina, es un emulsificante originalmente aislado de la

yema de huevo y es un componente importante de las membranas y de las lipoproteínas (Bolaños, Quesada, Nanne y Gómez, 1998). La lecitina comercial de soya se incorpora en las formulaciones de queques con el objetivo de mejorar el volumen, la miga, aportar frescura al producto (List, 2015) y retrasar el envejecimiento de los queques (Kohajdová *et al.*, 2009).

Se considera que la aireación de la masa durante la mezcla es un aspecto crucial en la fabricación moderna de pan, ya que se forman burbujas en la masa que posteriormente se convierten en las células de la miga de pan horneado, lo que influye en las características del producto final (Martin, Chin, Campbell y Marrant, 2004b). En la elaboración de pan, el aireado es precedido por el mezclado y homogenizado de ingredientes, lo que provoca el desarrollo mecánico de las proteínas de la masa, que logra las propiedades reológicas óptimas para la subsiguiente retención de gas y la estabilización de las células gaseosas, y, finalmente, la aireación de la masa (Martin, Chin, Campbell y Marrant, 2004a). En el caso de los queques, Palav (2015) menciona que los huevos (específicamente las claras) ayudan en la incorporación de aire durante la mezcla. La capacidad de formación de espuma de las proteínas del huevo les confieren funciones importantes en la calidad de los queques y hace que sea difícil reemplazar los huevos, pues la distribución de las burbujas de aire en la masa afecta la apariencia y textura del producto final (Shao, Lin y Chen, 2015).

Los productos de panificación experimentan cambios durante el almacenamiento que promueven su envejecimiento, que está asociado con la retrogradación del almidón, la pérdida de humedad y la reducción del volumen específico (Jideani, 2019). El envejecimiento del pan da como resultado cambios en parámetros sensoriales, como el sabor y la textura, y, principalmente, un aumento en la dureza de la miga y corteza, además de pérdida de frescura (Jideani, 2019; Fadda, Sanguinetti, Del Caro, Collar y Piga, 2014). Por lo que se considera importante evaluar el efecto del tiempo de almacenamiento, ya que al cambiar ingredientes es probable que haya variación en el efecto sobre los queques. Al disminuir o sustituir la cantidad de huevo de los queques que

contienen aislado de proteína de suero lácteo como sustituto de huevo, Paraskevopoulou *et al.* (2015) observaron que el reemplazo parcial del huevo provocó un menor aumento de la dureza de los queques durante el almacenamiento, en comparación con el control.

Considerando lo antes expuesto, esta investigación tuvo como objetivo estudiar el efecto de diferentes sustitutos de huevo en la formulación de quequitos, con el fin de aportar más conocimiento en esta materia y beneficiar a las personas con hipersensibilidad a las proteínas del huevo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Estudiar el efecto de diferentes sustitutos de huevo, la aplicación de aireación, la adición de lecitina y el almacenamiento sobre las propiedades físicas y sensoriales de un queque libre de huevo.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Comparar el efecto de diferentes ingredientes sobre las propiedades físicas, reológicas y sensoriales de las masas y los queques libres de huevo.
- Determinar el efecto de la lecitina de soya y el aireado adicional en queques libres de huevo sobre el color, textura y volumen específico.
- Comparar las variaciones en las propiedades de textura, humedad,  $a_w$ , color y volumen específico del queque libre de huevo con mejores características y el control (con huevo) durante 10 días de almacenamiento a temperatura ambiente.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Alergias alimentarias

El término "alergia" se define como "una reacción de hipersensibilidad iniciada por mecanismos inmunológicos" (Fiocchi y Fierro, 2017). Y el término "alergia alimentaria" se refiere específicamente a la reacción de hipersensibilidad a las proteínas de alimentos (Verhoeckx *et al.*, 2015). La alergia alimentaria es mediada por inmunoglobulina E (IgE) o por mecanismos celulares Th2 (Sánchez, Sánchez y Cardona, 2019).

La alergia mediada por IgE implica la producción de inmunoglobulina E (Bird, Jones y Burks, 2019), la cual es un anticuerpo producido por el organismo tras la exposición al alérgeno, que se une a los mastocitos y basófilos, los cuales liberan mediadores inflamatorios como la histamina y las prostaglandinas cuando se produce una re-exposición al alérgeno. Esto a su vez provoca los síntomas de la reacción alérgica (Bird *et al.*, 2019; Everson, 2010).

Los síntomas de la alergia alimentaria mediada por IgE generalmente ocurren unos minutos después de la ingestión del alérgeno (Bird *et al.*, 2019) y pueden afectar la piel (erupción cutánea, urticaria y eccema), el tracto gastrointestinal (náuseas, cólicos abdominales y dolor, diarrea y vómitos), el sistema respiratorio (estornudos, sibilancias, congestión nasal, tos y dificultad para respirar) y el sistema cardiovascular (disminución de la presión arterial, ritmo cardíaco irregular y paro cardíaco) (Dodo y Konan, 2011; Hansstein, 2011).

Se estima que las alergias alimentarias afectan entre 2 a 4% de la población en países desarrollados (Bianchi *et al.*, 2016) y, según ANSA (2018), los casos reportados crecen a niveles exponenciales, en especial entre los niños. En este sentido, Hoi, Ross, Day y Buchanan (2017) mencionan que, al no existir cura para las alergias alimentarias, la prevalencia aumentará de manera constante incluso si la incidencia se mantiene estable. Mientras que, si la incidencia también



aumenta, entonces las tasas de aumento en la prevalencia probablemente se acelerarán exponencialmente.

Por otro lado, Zakariaeeabkoo, Allen, Koplin, Vuillermin y Greaves (2014) mencionan que las hospitalizaciones por anafilaxia relacionada con alergias alimentarias han aumentado dramáticamente desde principios de la década de 1990, por lo que actualmente son reconocidas como una importante preocupación de salud pública en muchos países desarrollados (Dodo y Konan, 2011). Además, Gaby (2017) menciona que, según estimaciones, hasta un 60% de la población sufre de alergias alimentarias no detectadas, lo que genera una pobre calidad de vida tanto en niños y adultos como en sus familiares (Huerta *et al.*, 2013). Algunas instituciones como Food Allergy Canada (2019) y Food Allergy Research y Education (2019) brindan información y asesoría a la población sobre cómo vivir con alergias alimentarias y planes de emergencia en caso de choques anafilácticos, entre otros datos.

En Latinoamérica, Sánchez y Sánchez (2015) realizaron un análisis de estudios epidemiológicos sobre la prevalencia de alergias alimentarias hasta el año 2013 y destacan que existe información limitada en comparación con Estados Unidos y la Unión Europea. Por otro lado, Sánchez, Sánchez y Cardona (2019) realizaron una revisión de artículos originales en América Latina, sin límite de tiempo o idioma, y reportan que encontraron solo 41 artículos relacionados con investigaciones epidemiológicas originales sobre alergias alimentarias, siendo la mayoría de México (58%), por lo que los autores concluyeron que las publicaciones sobre el tema son escasas en América Latina.

Varios autores indican que aproximadamente el 90% de las alergias alimentarias son producidas por 8 alimentos: leche de vaca, huevos, pescado, mariscos, maní, soya, frutos secos y trigo (Sánchez y Sánchez, 2019; Verhoeckx *et al.*, 2015). Sánchez *et al.* (2019) sugieren que los hábitos alimentarios pueden variar los alimentos causantes de reacciones alérgicas. Un ejemplo de esto es que, mientras que en Estados Unidos la alergia al maní es alta, en España y

Portugal las reacciones alérgicas más comunes son al pescado y al marisco, en Israel al ajonjolí y en Francia a la mostaza.

Otro aspecto importante es que los pacientes con dermatitis parecen tener mayor frecuencia de alergias alimentarias. Sánchez *et al.* (2019) citan a Medina y colaboradores, quienes en el 2004 evaluaron la frecuencia de sensibilización a alimentos en 119 pacientes con dermatitis atópica y observaron una sensibilización por pruebas cutáneas alta a huevo (66 %), leche (10%), pollo (8%), carne de cerdo (4%), trigo (4%) y papa (4%).

Con respecto a la caracterización de los alérgenos presentes en los alimentos, Woodfolk, Commins, Schuyler, Erwin y Platts-Mills (2015) mencionan que la mayoría de los identificados hasta la fecha son proteínas solubles en agua, con un peso molecular entre 5 kDa y 50 kDa, muchas de las cuales están glicosiladas; sin embargo, la glicosilación no juega un papel significativo en la alergenicidad de dichas proteínas (Woodfolk *et al.*, 2015). Según Dhanapala, De Silva, Doran y Suphioglu (2015), la mayoría de los alérgenos alimentarios son glucoproteínas que pueden resistir el calor, los ácidos y las proteasas, lo que explica por qué la mayoría de los alimentos alergénicos lo siguen siendo después de cocinarlos o procesarlos.

### **3.2. Generalidades del huevo**

El huevo se considera una excelente fuente de proteínas, vitaminas y minerales de alta calidad (Asghar y Abbas, 2012) y rico en grasas saturadas (Gibson y Newsham, 2018). Se compone de cuatro partes principales: yema, clara o albúmina, cáscara y sus membranas (Cherian, 2005). En el Cuadro 1 se observa la composición aproximada del huevo y sus componentes. En los Cuadros 2 y 3 se detallan los principales componentes de la clara y la yema, respectivamente.

**Cuadro 1.** Composición aproximada del huevo y sus componentes.

Componente (% del total)	Composición aproximada, % (p/p)				
	Humedad	Proteína	Lípidos	Carbohidratos	Minerales
Huevo entero (100%)	66,1	12,8-13,4	10,5-11,8	0,3-1,0	0,8-1,0
Cáscara (9-11%)	1,6	6,3-6,4	0,03	Trazas	91-92
Clara (60-63%)	87,6	9,7-10,6	0,03	0,4-0,9	0,5-0,6
Yema (28-29%)	48,7	15,7-16,6	31,8-35,5	0,2-1,0	1,1

Fuente: Mine (2008).

**Cuadro 2.** Composición proteica de la clara de huevo.

Proteína	Porcentaje (% p/v)	Características
Ovalbúmina	54,0	Fosfoglicoproteína
Ovotransferrina	12,0	Une iones metálicos
Ovomucoide	11,0	Inhibe tripsina
Ovomucina	3,5	Estaloproteína, viscosa
Lisozima	3,4	Destruye algunas bacterias
G2 globulina	4,0	ND
G3 globulina	4,0	ND
Avidina	0,05	Liga la biotina

ND = No determinado

Fuente: Mine (1995).

**Cuadro 3.** Composición proteica y lipídica de la yema de huevo.

Componente	Composición (%)	Porcentaje relativo
Proteínas	Apovitelenina (I-VI)	37,3
	Apoproteínas de la lipovitelenina	
	$\alpha$ -lipovitelenina	26,7
	$\beta$ -lipovitelenina	13,3
	Livetinas	
	$\alpha$ -livetina (albúmina sérica)	2,7
	$\beta$ -livetina ( $\alpha$ -2 glicoproteína)	4,0
	$\gamma$ -livetina ( $\gamma$ -globulina)	2,7
	Fosvitina (13.4)	13,3
	Lípidos	Triglicerol
Fosfatidil colina (PC)		26
Fosfatidil etanol amina (PE)		3,8
Lisofosfatidil colina (LPC)		0,6
Shingomielina		4
Colesterol		0,6
Otros		

Fuente: Mine (2008).

Otros componentes interesantes del huevo desde el punto de vista nutricional son los carotenoides presentes en la yema, los cuales le confieren su color amarillo (que puede variar de amarillo muy pálido a naranja brillante), representan menos del 1% de los lípidos de la yema (Miranda *et al.*, 2015) y se componen especialmente de luteína y zeaxantina (Larsen, 2018). También hay evidencia científica de que los huevos contienen otros compuestos biológicamente activos que pueden tener un papel en la terapia y prevención de enfermedades crónicas e infecciosas. Por ejemplo, compuestos con propiedades antimicrobianas, inmunomoduladoras, antioxidantes, anticancerígenas o antihipertensivas (Miranda *et al.*, 2015).

### **3.2.1. El huevo como alérgeno**

Hansstein (2011) menciona que la hipersensibilidad a los huevos de gallina es, junto con la leche, la alergia más común entre los niños. Dhanapala *et al.* (2015) por su parte indican que es la segunda alergia más común después de la leche de vaca. Algunos autores estiman que esta alergia alimentaria tiene una prevalencia del 2- 2,5 % en niños (Seweryn *et al.*, 2018; Bianchi *et al.*, 2016; Dhanapala *et al.*, 2015) y entre 1,6 y 3,2% de la población a nivel mundial (Odumeru, 2012).

Según un estudio realizado por Gupta y colaboradores en el año 2013, citado por Alfaro-Chaves (2016), se encontró que, de una muestra de 40104 niños, 1245 padecían alguna alergia alimentaria, de los cuales hubo una prevalencia del 40,2% con respecto al huevo y 41,1% a la leche. Sánchez *et al.* (2019) citan a Medina y colaboradores, quienes en el 2004 evaluaron la frecuencia de sensibilización a alimentos en 119 pacientes con dermatitis atópica y observaron una sensibilización por pruebas cutáneas alta a huevo (66 %) y otros alimentos.

Los principales alérgenos presentes en el huevo de gallina se muestran en el Cuadro 4, de los cuales el ovomucoide (Gal d 1), la ovoalbúmina (Gal d 2), la conalbúmina (Gal d 3) y la lisozima (Gal d 4), presentes en la clara, son los mayoritarios y los que con mayor frecuencia causan reacciones alérgicas en los

niños. Otros alérgenos menores, como la albúmina sérica (Gal d 5) y la proteína YGP42 (Gal d 6), son más propensos a sensibilizar a los adultos (Seweryn *et al.*, 2018). Según García-Ara (2013), el ovomucoide es el alérgeno más importante del huevo, ya que es resistente al calor, por lo que puede mantener su alergenicidad tras la cocción, mientras que las otras proteínas de la clara se desnaturalizan rápidamente por el calor y esto reduce su alergenicidad (García-Ara, 2013).

**Cuadro 4.** Principales alérgenos presentes en el huevo de gallina.

	<b>Alérgeno</b>	<b>Porcentaje (% p/p) del total de proteína</b>
<b>Clara</b>		
Ovalbúmina	Gal d 2	54
Ovomucoide	Gal d 1	11
Ovotransferrina	Gal d 3	12
Lisozima	Gal d 4	3,4
Proteína que liga riboflavina (RfBP)	ND	0,8
<b>Yema</b>		
$\alpha$ -vitelina	Gal d 5	~9
Precursor de vitelogenina 1	Gal d 6 (YGP42)	ND

ND = No definido

Fuente: Lopata (2017).

En una persona sensibilizada, los alérgenos presentes en el huevo pueden causar afecciones como picazón, dermatitis atópica, asma bronquial, vómitos, angioedema, rinitis, conjuntivitis, edema laríngeo, urticaria crónica y gastroenteritis eosinofílica alérgica (Dhanapala *et al.*, 2015), e incluso pueden llegar a inducir choques anafilácticos (Strixner y Kulozik, 2011). Según García-Ara (2013), aunque la mayoría de las reacciones alérgicas producidas por huevo son IgE mediadas o de hipersensibilidad inmediata tipo I, también se pueden producir otros tipos de reacciones como enterocolitis inducida por proteína, en que se dan cuadros tardíos con manifestaciones digestivas.

### 3.2.2. Funcionalidad tecnológica del huevo en panadería

Los huevos son un ingrediente ampliamente utilizado en la preparación de pasteles y queques, entre otros productos (Kiosseoglou y Paraskevopoulou, 2014). Dependiendo del tipo de queque, se usa huevo entero o solo albúmina, aunque en la mayoría de los casos se usa huevo entero (Kiosseoglou y Paraskevopoulou, 2014). Lai y Lin (2005) indican que las formas comerciales de huevos usados en productos de panificación son: huevos frescos, huevos congelados (huevos enteros, huevos enteros con yemas adicionales, claras y yemas) y huevos secos (enteros, yemas y claras).

Según Lai y Lin (2005), el huevo como ingrediente en productos horneados cumple las siguientes funciones: dar estructura, emulsificante de grasas y líquidos, función de grasa, brindar humedad, sabor, color y proporcionar valor nutricional a los productos. Por otro lado, Lechevalier *et al.* (2011) incluyen dentro de las funciones del huevo las capacidades espumante, gelificante y espesante. En este sentido, Kiosseoglou y Paraskevopoulou (2014) diferencian la funcionalidad de la clara y la yema e indican que la clara se incorpora en productos donde el objetivo principal es la formación de espuma (como el merengue). Por su parte, la yema tiene una función importante como emulsificante en sistemas de dispersión aceite/agua (en productos que contienen grasa en su formulación), mientras que otros productos (como queques esponjados) requieren el uso sinérgico de ambos componentes (Kiosseoglou y Paraskevopoulou, 2014).

**Propiedad coagulante / gelificante.** Tanto la clara como la yema tienen la capacidad de formar redes de gel térmicamente irreversibles cuando se calientan a más de 70 °C. La clara produce geles muy elásticos con un aspecto blanco lechoso. Por su parte, con la yema suceden dos situaciones: si se calienta la yema intacta se produce un gel de baja resistencia, mientras que cuando la estructura de la yema se rompe por agitación se desarrolla un gel cohesivo y gomoso (Kiosseoglou y Paraskevopoulou, 2014).

Al incorporar el huevo entero a una masa de los queques, tanto la clara de huevo como las proteínas de la yema contribuyen al desarrollo de la estructura, produciendo una red de gel (Kiosseoglou y Paraskevopoulou, 2014). Durante la mezcla de la masa del queque no se produce el desarrollo completo de gluten en una estructura viscoelástica continua, como sí ocurre en la elaboración del pan. En el caso de los queques, el gluten se diluye con los huevos, grasa y azúcar en la masa y, por lo tanto, está menos concentrado que en la masa de pan, por lo que se ha sugerido que el gluten sirve como aglutinante y mejorador de la viscosidad en los queques (Wilderjans, Luyts, Brijs y Delcour, 2013).

Durante el horneado, la estructura final del queque es resultado de la gelatinización del almidón y la coagulación de las proteínas del huevo (Wilderjans *et al.*, 2013). El proceso de coagulación se completa cuando la ovoalbúmina se desnaturaliza a 85 ° C y se involucra en el desarrollo de la red de gel (Kiosseoglou y Paraskevopoulou, 2014).

**Propiedad emulsificante.** Según Food-Info.net (2017), un pan sin emulsificantes es a menudo seco, bajo en volumen y envejece fácilmente. Hasenhuettl y Hartel (2015) mencionan que los emulsionantes promueven la emulsión de aceite en agua en los productos de panadería. Sin embargo, las funciones principales de estos es la formación de complejos con el almidón, el fortalecimiento de las proteínas y, además, participan en la aireación (Hasenhuettl y Hartel, 2015).

Las yemas de huevo contienen emulsionantes naturales que ayudan a producir batidos suaves y contribuyen al volumen y la textura de los queques (Lai y Lin, 2005). La fosfatidilcolina, comúnmente denominada lecitina, es un emulsificante presente en la yema de huevo, siendo un componente importante de las membranas y lipoproteínas (Bolaños *et al.*, 1998). Según Kiosseoglou y Paraskevopoulou (2014), en los queques que tienen altos contenidos de grasa, la emulsificación de la misma puede realizarse únicamente por las lipoproteínas de la yema, debido a su capacidad para adsorber y reorganizar rápidamente las

interfases aceite/agua, desplazando a las proteínas globulares de la clara de huevo en esta función.

**Propiedad espumante.** Los huevos batidos incorporan aire en pequeñas células o burbujas, que causan la expansión cuando se calientan; esta función es propia de la clara de huevo (Lai y Lin, 2005). En este sentido, Kiosseoglou y Paraskevopoulou (2014) describen la propiedad espumante de la clara de huevo como “excepcional” y mencionan que esta propiedad se atribuye principalmente a las globulinas, seguidas de la ovoalbúmina y la ovotransferrina. Por otro lado, la ovomucina mejora la estabilidad de la espuma al contribuir a la formación en la superficie de las burbujas de aire (Kiosseoglou y Paraskevopoulou, 2014).

Con respecto a la yema, algunas lipoproteínas ayudan en esta función. Por ejemplo, la lipovitelenina ayuda en la aireación y la formación de espuma, mientras que los componentes de la lipovitelina de alta densidad inhiben la incorporación de aire, pero ayudan a la retención del aire introducido en el sistema por la lipovitelenina de baja densidad y la clara de huevo (Kiosseoglou y Paraskevopoulou, 2014).

**Aporte de grasa, humedad y color.** El huevo aporta grasa a los queques debido a los lípidos presentes en la yema. Además, aporta humedad a estos, debido a su alto contenido de agua (Lai y Lin, 2005). Las yemas imparten un color amarillo debido a la presencia de carotenoides (luteína y zeaxantina) (Larsen, 2018).

### **3.3. Sustitutos del huevo**

Los sustitutos de huevo buscan imitar la funcionalidad del huevo en los productos, por lo que se buscan ingredientes que reemplacen las propiedades de emulsificación, formación de espuma y la capacidad estructural del huevo (Ratnayake, Geera y Rybak, 2012). Además, en panificación, los sustitutos de huevo también se comercializan como alternativas para disminuir costos a largo



plazo (Abu-Ghoush, Herald y Aramouni, 2010), para lo cual se hacen sustituciones totales o parciales del huevo en los productos (Ratnayake *et al.*, 2012).

Algunas patentes de inicios y mediados del siglo XX dan a conocer los primeros intentos en la búsqueda de ingredientes que permitan la sustitución parcial o total del huevo. Ray (1915), en su patente US1154805A, explicó el uso de ñames, de tal forma que estos se someten a cocción, se pelan, trocean, hornean y se muelen hasta obtener un polvo fino al que se le agrega un extracto aromatizante elaborado a partir de rosas. May (1938), en su patente GB503297A, describe el uso de semillas de linaza, con la adición de un agente gelificante y un conservante, como sustitutos parciales de huevo en productos horneados.

En la actualidad, los sustitutos de huevo disponibles comercialmente se componen de almidón de papa, harina de yuca, un agente leudante y gomas, los que son útiles como agentes aglutinantes y humectantes en productos de panadería (Chan, 2014). Ratnayake *et al.* (2012) mencionan la existencia de sustitutos comerciales a base de proteína de suero, harina de soja y varias gomas. Algunos sustitutos comerciales de huevo, como el NO EGG, se componen de almidón de papa, almidón de yuca, carbonato de calcio como agente leudante, ácido cítrico como regulador de la acidez y metilcelulosa como estabilizador (Orgran®, 2019).

Por otro lado, se han hecho varias 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 (Sahraiyán *et al.*, 2015; Ashwini *et al.*, 2009), banano, chía y leche de soya en polvo (Agrahar-Murugkar *et al.*, 2016), concentrado o aislado de proteína de suero lácteo (Arunepanlop *et al.*, 1996; Díaz-Ramírez *et al.*, 2016; Paraskevopoulou *et al.*, 2015), entre otros.

### 3.3.1. Mucílago de Linaza (ML)

La linaza es la semilla de la planta de lino (*Linum usitatissimum* L.), es rica en grasas (30-41%), fibra dietética (20-35%) y proteínas (20-30%); además, contiene humedad (4-8%) y cenizas (3-4%) (Bekhit *et al.*, 2018). El mucílago de la linaza (ML) es un tipo de goma de exudado obtenido de la semilla (Milani y Maleki, 2012) y es la fuente principal de fibra de la misma (Hussain *et al.*, 2013). Representa el 6% de la semilla y está compuesto principalmente de arabinoxilanos (en un 75%), los cuales son polisacáridos no almidonosos formados por residuos  $\beta$ -1-4 D-xilopiranosilo sustituidos con L-arabinosa y otros monosacáridos (D-glucosa, ácido D-glucurónico y D-galactosa) (Korus *et al.*, 2015).

El ML tiene valor nutricional como fibra dietética, pues parece jugar un papel en la reducción del riesgo de diabetes y enfermedad coronaria, prevenir el cáncer de colon y recto y reducir la incidencia de obesidad; además, ayuda a reducir la respuesta de glucosa en sangre, lo que contribuye a mejorar el control general de esta y es probable que sea beneficioso para las personas con intolerancia a la glucosa (Oomah, 2001).

Para la obtención del ML, éste se puede extraer fácilmente de la semilla utilizando agua. El rendimiento de extracción, el nivel de proteína y las propiedades fisicoquímicas de la goma dependen de la temperatura, el pH, la relación de agua a las semillas, la duración de la extracción y la variedad de la materia prima (Khalloufi, Corredig, Goff y Alexander, 2009). Kankaanpaa-Anttila y Anttila (1996) publicaron una patente sobre un proceso diseñado para obtener proteína y el ML para ser usados en procesos de horneado. Otras patentes que han surgido sobre la obtención del ML son: método para el extracto de proceso seco de la goma de lino de la cáscara de linaza (Hu y Liu, 1998), método para la producción de mucílago de linaza (巴勇 张军, 2011) y procesamiento de la linaza, en el que se separan los componentes de la misma, entre ellos el mucílago (Myllymaki, 1999).

En cuanto a la funcionalidad tecnológica del ML, Liu et al. (2016) describen que puede actuar como agente espumante, emulsificante, gelificante y espesante. Según Korus et al. (2015), al ML se les atribuye la capacidad de formar soluciones altamente viscosas. Dzuovor, Taylor, Acquah, Pan y Agyei (2018) mencionan que el ML se usa con frecuencia como estabilizador de jugos de frutas y vegetales y como ingrediente para prevenir la sinéresis y mejorar la textura de los productos lácteos. También se ha estudiado su uso como emulsificante y estabilizante en salsas, salchichas, emulsiones de carne y aderezos (Kajla, Sharma y Sood, 2015).

Varios autores han estudiado la incorporación de la linaza entera, su proteína o el mucílago en productos de panificación, en especial como un valor agregado (alimento funcional). Ramcharitar *et al.* (2005) evaluaron la incorporación de semillas de linaza en queques tipo “muffin” sobre la aceptación del consumidor mediante un grupo focal y en este caso el queque control fue más aceptado que los queques con linaza. Pohjanheimo *et al.* (2006) evaluaron el efecto de la linaza en pan y encontraron que se retiene la humedad y la suavidad de manera más eficiente en el pan que contiene linaza que en el control durante el almacenamiento.

La linaza molida ha sido promovida como sustituto del huevo en productos de panificación caseros (Kaur y Kaur, 2018); en este sentido, el Concejo de Linaza de Canadá sugiere que para reemplazar un huevo en formulaciones de queques se mezclen 8 g de linaza molida y 45 g de agua (Flax Council Canada y SaskFlax, s.f.). Singh, Mridula, Rehal, y Barnwal (2011) recomiendan 15 gramos de semillas de linaza molidas remojadas en 45 ml de agua durante 2 minutos para sustituir un huevo. Por otro lado, la proteína de la linaza tiene aplicaciones como sustituto de huevo y gelatina en productos horneados y en helados (Kajla *et al.*, 2015).

Por su parte, el mucílago se ha evaluado como agente estructural en pan libre de gluten. Korus *et al.* (2015) encontraron que la masa con ML presentó propiedades reológicas comparables con el control y que el ML liofilizado podría aplicarse como agente estructural en productos de panadería. Además, se ha

reportado su uso como agente anti envejecimiento en este tipo de productos (Kajla *et al.*, 2015)

### **3.3.2. Mucílago de chía (MC)**

“Chía” es el nombre que se usa para varias especies del género *Salvia*, generalmente para *Salvia hispanica* L. El género *Salvia* L. pertenece a la familia *Lamiaceae* y muestra alrededor de 900 especies distribuidas en todo el mundo, principalmente en las áreas del Mediterráneo, Sudeste de África y América Central y del Sur (Chavan, Gadhe y Kale, 2017). La planta de chía produce semillas de color marrón a negro y beige (Muñoz, Cobos, Diaz y Aguilera, 2012). La chía es conocida como súper alimento, ya que contiene cantidades altamente concentradas de ácidos grasos esenciales, fibra dietética, vitaminas y antioxidantes, además de las propiedades que se le atribuyen, como la reducción de los niveles de azúcar en la sangre, control de la presión arterial, entre otros (Chavan *et al.*, 2017).

El mucílago de chía (MC) representa aproximadamente el 5% de la semilla de chía (*Salvia hispanica* L) (Chavan *et al.*, 2017) y se extrae cuando las semillas se remojan en agua con agitación para inducir la exudación del mucílago (Capitani *et al.*, 2015). EL MC está compuesto de carbohidratos que consisten en xilosa, glucosa, arabinosa, galactosa, ácido glucurónico y ácido galacturónico (Timilsena, Adhikari, Kasapis y Adhikari, 2016).

En cuanto a la funcionalidad tecnológica del MC, le atribuyen propiedades de hidratación, desarrollar viscosidad y mantener la frescura, especialmente en productos de panadería; con base en estas propiedades ha sido estudiado como sustituto de grasa en pan y queques (Fernandes y Salas-Mellado, 2017). Además, Agrahar-Murugkar *et al.* (2016) mencionan el potencial emulsificante y estabilizante de este mucílago. En este sentido Zettel y Hitzmann (2018) indican su uso como espesante en helados y estabilizante de emulsiones.

Las semillas de chía, harina y mucílago se han utilizado en productos de panificación libres de huevo. Shah *et al.* (2014) evaluaron la adición de un gel de harina de chía como sustituto de huevo en galletas y reportan que cumplió con las funciones del huevo. Agrahar-Murugkar *et al.* (2016) emplearon el uso de semillas de chía en polvo como sustituto de huevo en queques y encontraron diferencias significativas con respecto al control, incluyendo un menor volumen específico y menos elasticidad debido a la sustitución.

Borneo *et al.* (2010) utilizaron un gel formado por semillas de chía hidratadas y el mucílago de estas como sustituto de huevo en una formulación de queques y encontraron que una sustitución del 25% tiene un efecto positivo sobre los atributos sensoriales del producto, como el color, sabor, textura y la aceptación general. Gallo *et al.* (2018) emplearon un gel de semillas trituradas de chía como sustituto de huevo en queques de chocolate. El análisis sensorial que realizaron mostró que el gel de chía podría reemplazar el huevo en los queques sin afectar la aceptación.

Chavan *et al.* (2017) evaluaron la sustitución parcial de huevo por MC en queques y encontraron que, en una sustitución de 5%, los queques presentaron características similares al control y estas características se mantuvieron durante el almacenamiento. Robayo y German (2016) utilizaron MC para evaluar la sustitución parcial de huevo en pan de camote y se encontró que el mejor tratamiento tenía 40% de MC y 60% de huevos, siendo el más aceptado sensorialmente.

### **3.3.3. Concentrado de proteína de suero lácteo (WPC)**

El suero lácteo es un subproducto derivado de la transformación de la leche en queso y otros productos lácteos. Está constituido por agua (93 – 94% aproximadamente) y además contiene lactosa (4,5%), algunas proteínas de alto valor (0,8%) y minerales (0,7%) (Kilara y Vaghela, 2017). El lactosuero se ha considera un residuo difícil de eliminar debido a su gran volumen de producción; es por esta razón que se buscan alternativas simples, seguras y económicas para

convertir el suero en otros productos con valor agregado (Singh y Geetanjali, 2016).

Para la producción de concentrados de proteína de suero lácteo, la tecnología más utilizada es la ultrafiltración, a través de la cual se elimina agua, lactosa y minerales del suero lácteo; esto permite concentrar las proteínas, que posteriormente se someten a secado (Kilara y Vaghela, 2011). Cuando el contenido de proteína es el 25% o más, el producto se denomina concentrado de proteína de suero (WPC, por sus siglas en inglés). Los niveles de proteína más comunes en los WPC son 35%, 55% y 80%. La forma más alta de purificación produce aislados de proteína de suero (WPI, por sus siglas en inglés), con > 90% de proteína en peso seco (Kilara y Vaghela, 2017). La composición de diferentes subproductos concentrados de suero lácteo se muestra en el Cuadro 5.

**Cuadro 5** Composición de varios subproductos de lactosuero concentrado.

Producto	Proteína	Lactosa	Grasa	Cenizas	Humedad
			%		
Suero en polvo	11-14-5	63-75	1-1,5	8,2-8,8	3,5-5,0
Suero en polvo reducido en lactosa	18-24	52-58	1-4	11-22	3-4
Suero en polvo desmineralizado	11-15	70-80	0,5-1,8	1-7	3-4
WPC – 34	34-36	48-52	3-4,5	6,5-8,0	3-4,5
WPC – 50	50-52	33-37	5-6	7,5-8,5	3,5-4,5
WPC – 80	80-82	4-8	4-8	3-4	3,5-4,5
Aislado de proteína de suero (WPI)	90-92	0,5-1,0	0,5-1,0	2-3	4,5

Fuente: Kilara y Vaghela (2017).

En cuanto a la funcionalidad tecnológica del WPC, Ramos *et al.* (2015) mencionan que se le han encontrado varias aplicaciones como agente gelificante, espumante, mejorador de la aireación (en productos de panadería), emulsificante y, además, propiedades nutricionales. Price (2019) también le atribuye al WPC la capacidad de retención de agua y función como sustituto de grasa. Por su parte, Lucca y Tepper (1994) indican que los WPC (más de 50% de proteína) han demostrado ser útiles para tal fin y, según Ramos *et al.* (2015), el WPC se ha empleado como ingrediente en la elaboración de panes, biscuits y queques.

Hacia 1970 se había estudiado la aplicación potencial del WPC como sustituto de la clara de huevo y en ese año La Lactose Company de Nueva Zelanda comenzó la producción comercial de un WPC con un nivel de proteína del 53% al 58%, llamado Prolac, que se secó por aspersion y se comercializó como un sustituto de la clara de huevo para aplicaciones de panadería (Price, 2019).

Varios estudios han evaluado la posibilidad de incorporación de WPC como sustituto total o parcial de huevo en diferentes queques. Arunepanlop *et al.* (1996) investigaron el efecto de reemplazar la proteína de la clara de huevo (25 y 50% de sustitucion) utilizando WPI en la apariencia, estructura, textura y propiedades sensoriales de queques de ángel. Encontraron que los queques sustituidos presentaron una calidad inferior al control. Abu-Ghoush *et al.* (2010) compararon

el efecto de varias alternativas de sustitutos de huevo sobre las propiedades físicas y sensoriales de queques de ángel. Dentro de las cuales se utilizaron WPC y WPI. Se reportó que solo el WPI presentó mejor estabilidad en la formación de espuma pues todas las demás colapsaron. El queque con WPI resultó con mayor dureza y menor volumen que el control.

Jyotsna *et al.* (2007) estudiaron el efecto de la sustitución de la harina de trigo con WPC a niveles de 10, 20 y 30% en queques sin huevo y su influencia en las propiedades físicas de la masa y las características de calidad. Los autores encontraron que la viscosidad aparente de la masa libre de huevo disminuyó con el aumento en el nivel de WPC. También se observó disminución en la densidad de la masa. El queque con 20% de WPC fue calificado como el mejor.

Movahhed *et al.* (2016) evaluaron la sustitución de huevo en queques utilizando WPC (8% p/p) con respecto a la harina, y estudiaron el efecto de tres emulsificantes (éster de poliglicerol, monoglicérido destilado y lecitina). Se reportó que, aunque el reemplazo total de huevo no resultó un queque de buenas características, el uso de los emulsificantes en general mejoró las propiedades de los queques pues aumentaron el volumen y la porosidad, y disminuyeron la dureza y la pegajosidad de la miga, además de que mejoraron la aceptación sensorial.

Shao *et al.* (2015) evaluaron el efecto de utilizar WPC, aceite de soya y emulsificantes para sustituir la proteína de la clara y aceite y lecitina para sustituir la yema en queques. Se reportó que el queque sustituido presentó un menor volumen que el control.

Puranik y Gupta (2017) estudiaron la sustitución de huevo en queques utilizando WPC 60. Se observó una mayor porosidad y volumen específico en comparación con el control. Se concluyó que el queque optimizado contiene: 7% de WPC, 17% de grasa, 27% de harina de trigo, 24% de azúcar, 2,4% de levadura, 21% de leche y 0,8% de saborizantes.



Paraskevopoulou *et al.* (2015) investigaron el efecto de la sustitución parcial o total (50 y 100%) de huevo utilizando soluciones de WPI en agua (14, 17 y 20% p/v) en combinación con emulsificantes (hidroxipropilmetilcelulosa y estearoil-2-lactilato de sodio), sobre la calidad de queques. Se concluyó que la sustitución total de huevo por WPI produjo queques de calidad inferior con respecto al volumen específico, textura y dureza durante un almacenamiento de 4 días, en comparación con el control. En el caso del reemplazo parcial de huevo, se obtuvieron queques con características sensoriales y de calidad aceptables. La adición de emulsificantes mejoró las características de los queques.

#### **3.3.4. Concentrado de proteína de soya (CPS)**

La proteína de soya es una de las proteínas vegetales más utilizadas en una amplia gama de productos, entre ellos, productos de panificación (Ma, 2015), se considera un alimento saludable ya que contiene ácidos grasos omega 3, isoflavonas, fibra dietética, aminoácidos esenciales y un alto contenido de proteínas (Abhay-Kumar, Prasada-Rao, Jeyarani y Indrani, 2017). Aproximadamente el 90% de las proteínas consisten principalmente en  $\beta$ -conglucina y glicinina (Mojica, Dia y De Mejía, 2011), que se clasifican como globulinas (Thrane *et al.*, 2016).

La glicinina (también llamada globulina 11S) es la fracción individual más grande de la proteína total de semilla de soya (25 a 35%), la cual tiene un alto peso molecular de 350 kDa, baja viscosidad y alta estabilidad térmica. La  $\beta$ -conglucina (también llamada globulina 7S) es una proteína trómera con un peso molecular de 175 kDa, que presenta alta viscosidad y baja estabilidad térmica (Thrane *et al.*, 2016).

Los concentrados y aislados de soya son formas concentradas de proteínas de soya extraídas después de la eliminación de aceites y otros componentes no proteicos (Ma, 2004). En el Cuadro 6 se observa la composición aproximada de la harina, concentrados y aislados de soya.



**Cuadro 6.** Composición aproximada de los productos de proteína de soya (% en base seca).

	<b>Proteína (%)</b>	<b>Grasa (%)</b>	<b>Fibra (%)</b>	<b>Cenizas (%)</b>	<b>Carbohidratos (%)</b>
Harina de soya desgrasada	54	1,0	3,5	6,0	38
Concentrado de proteína	70	1,2	4,4	3,7	21
Aislado de proteína	92	0,5	0,3	4,5	2,5

Fuente: Ma (2004).

Con respecto a la funcionalidad tecnológica de las proteínas de soya, se ha descrito su capacidad de formación y estabilización de espuma; además se considera un agente emulsificante, aglutinante, gelificante y con capacidad de retención de agua (Ma, 2015; Thrane *et al.*, 2016), por lo que imita las propiedades funcionales de las proteínas de huevo (Abhay-Kumar *et al.*, 2017; Thrane *et al.*, 2016).

La soya se ha evaluado como sustituto de huevo en diferentes estudios. Hedayati y Tehrani (2018) evaluaron el efecto de sustituir el huevo por leche de soya y lecitina sobre los parámetros físicos y sensoriales de queques libres de huevo. Se reportó que el queque sustituido, que contenía 4% de lecitina, fue el mejor, con calidad cercana al queque control.

Agrahar-Murugkar *et al.* (2016) desarrollaron una harina compuesta de trigo malteado, soja germinada y amaranto sobre la cual evaluaron varios sustitutos de huevo, entre ellos leche de soya en polvo. Se observó que los queques con leche de soya presentaron más humedad, menor volumen específico y una diferencia de color ( $\Delta E^*$ ) = 9,99 con respecto al control.

Rahmati y Tehrani (2015) investigaron la incorporación de leche de soya elaborada con harina de soya y agua, como sustituto parcial y total de huevo en queques (porcentajes de sustitución: 25, 50, 75 y 100%). Analizaron

características de la masa (viscosidad, estabilidad y densidad) y propiedades físicas de los queques (pérdida de humedad, densidad, volumen específico, contorno, simetría, textura y color). Se reportaron buenos resultados hasta una sustitución del 75%.

Zeidanloo, Ghavidel y Afshar (2014) estudiaron el efecto de agregar harina de soja (al 25, 50 y 75%) con base en la harina y goma guar (0, 0,3 y 0,5%) como sustitutos de huevo en queques. Se reportó que los queques que contenían 50% de harina de soja y 0,3% de goma guar presentaron los niveles más altos de volumen específico, aceptación general y los niveles más bajos de dureza.

Lin *et al.* (2017) utilizaron aislado de proteína de soja para sustituir el huevo en queques. Además, se evaluó la incorporación de polisacáridos vegetales y emulsificantes. Se reportó que la mejor sustitución fue el aislado de proteína de soja en combinación con 1% de monoglicéridos, la cual produjo un queque con volumen específico, gravedad específica, dureza y contenido de humedad similar al control.

### **3.3.5. Mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán (HA)**

El arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los principales cultivos alimenticios del mundo, con una producción anual estimada de 480 millones de toneladas métricas, y constituye una fuente importante de carbohidratos, principalmente almidón, que está presente predominantemente en las células de endospermo del arroz integral maduro, y representa aproximadamente el 90% del peso seco del arroz molido (Amagliani, O'Regan, Kelly y O'Mahony, 2016).

La mayoría del arroz se consume como arroz cocido, pero una pequeña porción se convierte en harina o se separa la fracción de almidón y se utiliza para fabricar productos farmacéuticos, alimentos y piensos. En la industria de alimentos, específicamente en panificación, la harina de arroz se una en la preparación de productos japoneses sin levadura: panes, queques, galletas y budines (Bao y Bergman, 2017) y el productos libres de gluten (Witczak, Ziobro,

Juszczak y Korus, 2016). En el Apéndice 3 se muestra la información nutricional de la harina de arroz utilizada en este proyecto.

La yuca (*Manihot esculenta* y *Manihot utilisima*) es un tubérculo almidonoso, que se cultiva principalmente en los trópicos más cálidos de tierras bajas, es una planta perenne dicotiledónea perteneciente a la familia *Euphorbiaceae*. Además, es un alimento básico importante para más de 500 millones de personas en el mundo (Falade y Akingbala, 2011). Los principales componentes de la yuca son agua (60%) y carbohidratos (38%), y en pequeñas cantidades proteínas, grasa y fibra (Jensen, Skibsted, Kidmose y Thybo, 2015).

Un método para preparar harina de yuca consiste en lavar y pelar los tubérculos y cortarlos en rodajas (1 mm de espesor). Posteriormente las rodajas se secan a 45°C durante 12 h y, una vez secas se muelen con un molino y se tamizan a través de una malla (Kusumayanti, Handayani y Santosa, 2015). La harina de yuca se usa en la elaboración de pan y queques (Falade y Akingbala, 2011) y en productos libres de gluten (Witczak *et al.*, 2016; Jensen *et al.*, 2015). En el Apéndice 3 se muestra la información nutricional de la harina de yuca utilizada en este proyecto.

Se ha estudiado la combinación de harinas de arroz-yuca en queques libres de gluten. Quirós (2013) evaluó harinas de tiquisque, ñampí, arroz, yuca y sus mezclas en la elaboración de queques libres de gluten con cantidad de huevo estándar y reducidos en huevo. Se reportó que los quequitos de mayor agrado fueron los elaborados con harina de yuca y la mezcla de arroz-yuca los cuales presentaron características similares al control. También se reportó que los quequitos reducidos en huevo fueron más aceptados que los de contenido estándar.

El arroz y la yuca se consideran, junto al maíz y la papa, fuentes de almidón importantes, especialmente en productos libres de gluten (Witczak *et al.*, 2016). El almidón es uno de los polímeros básicos de almacenamiento en muchas plantas y se compone de dos tipos de moléculas, amilopectina ramificada y amilosa lineal.

En ambos casos, el componente básico es un residuo de  $\alpha$ -D-glucopiranososa, que forma enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1,4 en la estructura lineal de la amilosa y de  $\alpha$ -1,6 en las ramificaciones de las moléculas de amilopectina. La amilosa es mucho más propensa a la retrogradación, y puede formar geles resistentes, mientras que la amilopectina retrograda más lentamente, lo que resulta en geles suaves (Witczak *et al.*, 2016).

En la industria alimentaria, el almidón se usa comúnmente como espesante, gelificante, estabilizante, emulsionante, sustituto de grasa, agente encapsulante y agente anti aglomerante (Ai y Jane, 2017). Algunos sustitutos de huevo comerciales incluyen en su composición combinaciones de almidones, gomas y otros componentes (Grizio y Specht, 2018); también se ha reportado el uso de proteínas en combinación con almidones y goma. Sitorus y Julianti (2015) estudiaron las características fisicoquímicas y funcionales de sustitutos de huevo a base de aislado de proteína de soya, aislado de proteína de suero lácteo, almidón de maíz, goma guar y goma xantán (diferentes combinaciones). Se analizó el contenido de agua, cenizas, proteínas, carbohidratos, capacidad espumante, estabilidad de la espuma, capacidad y estabilidad de la emulsión, color y densidad. Se encontró que el sustituto que contenía aislado de proteína de soja (70%), almidón de maíz (29,5%) y goma xantán (0,5%) presentó propiedades fisicoquímicas y funcionales comparables con el control.

La goma de xantán es un polisacárido extracelular secretado por la bacteria *Xanthomonas campestris*. Se le atribuye la capacidad de aportar suavidad y favorecer la incorporación y retención de aire en la masa de queques, galletas y mezclas de pan. Además, se le atribuye la capacidad de aumentar el volumen y dar mayor resistencia a la miga en este tipo de productos. En bajas concentraciones proporciona estabilidad en el almacenamiento y capacidad de retención de agua (Kohajdová *et al.*, 2009).

Las gomas se agregan a los productos alimenticios principalmente por sus propiedades espesantes y gelificantes (Turabi, Sumnu y Sahin, 2008) y se espera

que la adición de este tipo de aditivos mejore las características de los sustitutos de huevo producidos (Sitorus y Julianti, 2015).

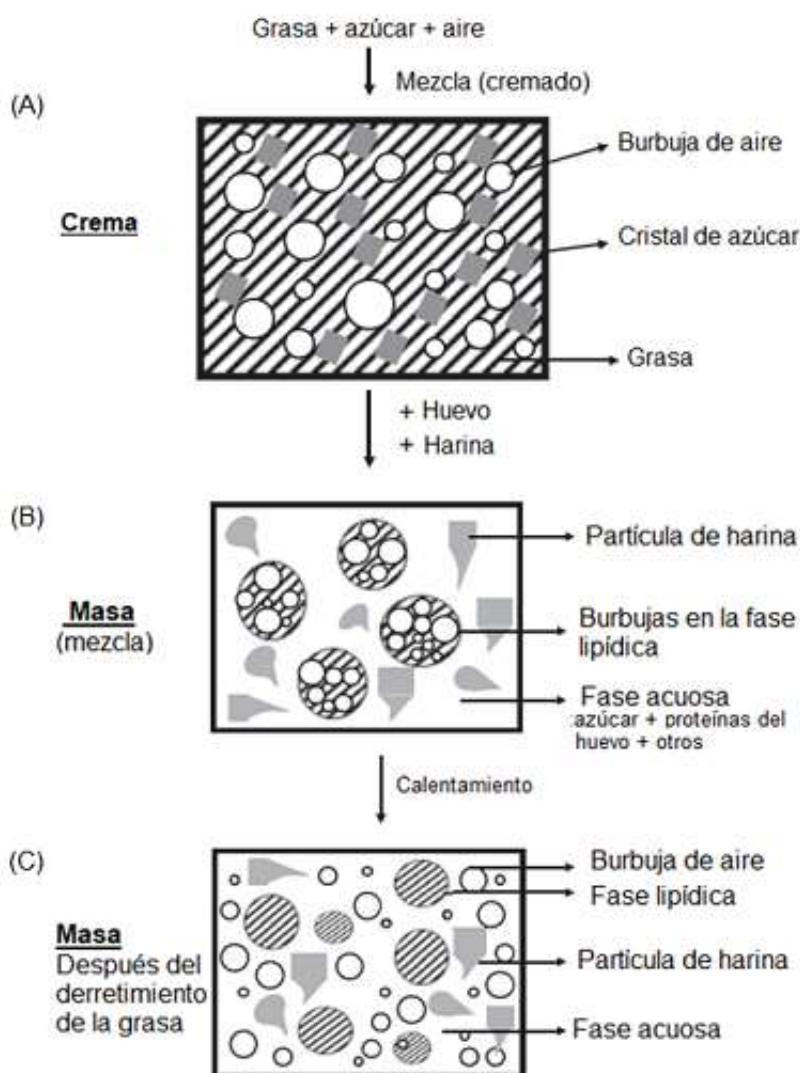
### 3.4. Queques

Los queques son productos de panadería con un mercado mundial en constante crecimiento (Wilderjans *et al.*, 2013). Se caracterizan por su sabor dulce, estructura porosa y un alto volumen que confieren una textura esponjosa (O'Sullivan, 2017b; Giannou, Lebesi y Tzia, 2014). Los queques pueden clasificarse como alimentos de humedad intermedia, con contenidos de humedad de 18 a 30% (Cauvain, 2016). Otro aspecto importante de los queques es que su vida útil es más larga en comparación con el pan que solo dura unos pocos días (Cauvain, 2016).

Existen queques de diferentes tipos, formas y tamaños, cuya formulación básica se compone de harina, azúcar, huevos, grasa o aceite y agentes leudantes. Los queques se pueden clasificar como queques de alta o baja proporción, de tal manera que los de alta proporción tienen una proporción de azúcar – harina superior a 1 y los de baja proporción contienen proporciones menores o iguales al de azúcar y harina, mientras que el queque tradicional contienen partes iguales de grasa, azúcar, huevo y harina (Wilderjans *et al.*, 2013).

El proceso de elaboración de queques inicia con el cremado de la margarina y el azúcar (Figura 1A). En esta etapa se incorpora aire en la grasa en forma de burbujas (Wilderjans *et al.*, 2013). Posteriormente, en la segunda etapa (Figura 1B) se incorporan los huevos que favorecen la incorporación y retención de burbujas de aire en la masa (Kiosseoglou y Paraskevopoulou, 2014). Las funciones del huevo en este tipo de productos se mencionaron ampliamente en la Sección 3.2.2. Al final de la segunda etapa se incorpora la harina y la masa se convierte de emulsión agua en aceite a emulsión de aceite en agua. El azúcar y las proteínas del huevo quedan en la fase acuosa, mientras que las partículas de harina quedan suspendidas en ella (Wilderjans *et al.*, 2013).

Cuando inicia el calentamiento de la masa (Figura 1C), la margarina se derrite, las burbujas de aire se expanden y son estabilizadas en parte por las proteínas del huevo (Wilderjans *et al.*, 2013). Para obtener la estructura porosa típica de los queques se requiere una masa estable que retenga muchas burbujas de aire (O'Sullivan, 2017b). En la Sección 4.2.1. se describe el proceso de elaboración de queques que se utilizó en este proyecto.



**Figura 1.** Etapas en la elaboración de queques. (A) Cremado, (B) Mezclado y (C) Inicio del calentamiento de la masa. Fuente: Wilderjans *et al.* (2013).



### **3.4.1. El aireado**

Los métodos de aireación se dividen en tres categorías: biológica, química y física. La aireación biológica utiliza un microorganismo, por ejemplo, *Saccharomyces cerevisiae* durante la fermentación de pan (Elgeti, Jekle y Becker, 2015). En la aireación química participan los agentes leudantes (Sumnu y Sahin, 2008). Finalmente, en la aireación física el aire se incorpora al batir los ingredientes. Los queques y merengues son ejemplos de productos con aireación física (Sumnu y Sahin, 2008).

Según Ferrera-Guiné y Reis-Correira (2014), los queques se definen como productos de panadería aireados, en los que la masa se airea para formar burbujas que durante el horneado se expanden. Al final del horneado la masa aireada se convierte en un producto semisólido poroso debido a la gelatinización de almidón y la coagulación de proteínas (Ronda, Oliete, Gómez, Caballero y Pando, 2011). Según Ronda *et al.* (2011), la incorporación de aire en la masa depende de la velocidad y el diseño de la batidora, y de la viscosidad y la tensión superficial de la masa. Sumnu y Sahin (2008) mencionan que los agentes leudantes también participan en la aireación de la masa de los queques durante el mezclado de ingredientes. En la Sección 3.2.2. se mencionó la participación del huevo en la aireación de la masa, en especial debido a la propiedad espumante de la clara.

### **3.4.2. La lecitina**

Las lecitinas (E322) son una mezcla de fosfátidos derivados de origen vegetal y animal (Van Nieuwenhuyzen y Tomás, 2008). La soya se considera la fuente principal de lecitina comercial, sin embargo, se han comercializado lecitinas obtenidas de otras fuentes semillas de algodón y canola (List, 2015). Las lecitinas derivadas de la soya, semillas girasol y canola contiene principalmente fosfatidilcolina, fosfatidiletanolamina e inositol fosfato (Van Nieuwenhuyzen, 2008; Miller, 2015).

La lecitina tiene propiedades hidrofílicas y lipófilas (List, 2015). El índice de equilibrio lipofílico-hidrofílico indica si un emulsificante es hidrofílico o lipofílico, de manera que entre más grande sea el índice, más hidrofílico es el emulsificante. Las lecitinas disponibles comercialmente cubren una amplia gama de valores de índice de equilibrio lipofílico-hidrofílico (List, 2015).

Los emulsificantes, en general, tienen un amplio uso en productos horneados (Van Nieuwenhuyzen y Tomás, 2008). Algunas características que se esperan de los emulsificantes en este tipo de productos son: mejor manejo y mayor resistencia de la masa, mejor hidratación y absorción de agua, mejor estructura de la miga, emulsificación de grasas, mejor simetría en el producto, mejor retención de aire, mayor volumen de pan y aumento en la vida útil (Kohajdová *et al.*, 2009). Específicamente, la lecitina se incorpora en las formulaciones de queques con el objetivo de mejorar el volumen, la miga, aportar frescura al producto (List, 2015) y retrasar el envejecimiento del queque (Kohajdová *et al.*, 2009).

### **3.5. Parámetros de calidad en productos de panadería**

#### **3.5.1. Viscosidad**

En varios estudios de queques con sustitutos de huevo (Ashwini *et al.*, 2009; Rahmati y Tehrani, 2015; Lin *et al.*, 2017; Abhay-Kumar *et al.*, 2017; Hedayati y Tehrani, 2018), la viscosidad de las masas se considera una de las propiedades físicas importantes, debido a que masas de baja viscosidad se han relacionado con queques de bajo volumen, mientras que una viscosidad excesiva también podría afectar la calidad de los queques, ya que podría impedir la expansión adecuada de la masa (Fizman, Sanz y Salvador, 2013). Este parámetro también es decisivo en la etapa de producción, ya que los cambios en la viscosidad pueden provocar problemas en el manejo de la masa, en el llenado de los moldes y en la limpieza de la maquinaria (Fizman *et al.*, 2013).

### 3.5.2. Densidad relativa

Muchos estudios de queques libres de huevo consideran la densidad relativa de la masa como un parámetro importante (Ashwini *et al.*, 2009; Rahmati y Tehrani, 2015; Movahhed *et al.*, 2016; Agrahar-Murugkar *et al.*, 2016; Abhay-Kumar *et al.*, 2017; Lin *et al.*, 2017; Hedayati y Tehrani, 2018). En la masa de queques, la densidad relativa baja se asocia con una mejor aireación, lo que indica una alta capacidad de la masa para retener burbujas de aire durante el mezclado, y esto se asocia a un mayor volumen y altura en el producto final (Fizman *et al.*, 2013). Sumnu y Sahin (2008) citan varios estudios en los que la densidad relativa y la viscosidad están relacionados con la calidad de los queques, de tal forma que masas con densidad relativa baja y alta viscosidad produjeron queques con mayor volumen, mientras que un aumento en la densidad de la masa disminuyó el volumen específico de estos.

### 3.5.3. Prueba amilográfica

Cuando el almidón se calienta por encima de su temperatura de gelatinización, los gránulos de almidón pierden estructura cristalina, absorben agua, se hinchan, se dispersan y desarrollan una viscosidad significativa. Este proceso de desarrollo de viscosidad se conoce como propiedad de “pegado” del almidón o empastamiento y la viscosidad desarrollada por la pasta de almidón determina el poder espesante de éste para diversas aplicaciones (Ai y Jane, 2015). Los amilogramas permiten estudiar este comportamiento de los almidones durante el calentamiento y enfriamiento, con lo que se determinan los perfiles de gelatinización y empastamiento de la harina por medio de parámetros como, por ejemplo, viscosidad máxima (Henaó y Aristizábal, 2009).

En algunos estudios con sustitutos de huevo, la prueba amilográfica se ha utilizado para evaluar el efecto de ingredientes sobre el perfil amilográfico de la harina de trigo. Por ejemplo, Abhay-Kumar *et al.* (2017) evaluaron el efecto harina de soja desgrasada y semillas de linaza en polvo en combinación con emulsionantes como sustitutos de huevo en queques, y estudiaron las

características reológicas de la masa, características físico-sensoriales, contenido proteico, perfil de ácidos grasos y calidad nutricional del queque libre de huevo en comparación con un control. Por otra parte, Ashwini *et al.* (2009) evaluaron el efecto de diferentes hidrocoloides y emulsificantes sobre las características reológicas y calidad de queques libres de huevo.

#### **3.5.4. Humedad y $a_w$**

El  $a_w$  y el contenido de humedad son parámetros de calidad que se relacionan directamente con la estabilidad microbiológica de los queques y, por lo tanto, con la vida de anaquel de estos (Smith, Daifas, El-Khoury, Koukoutsis y El-Khoury, 2004). El  $a_w$  es un indicador del agua disponible para reacciones químicas, enzimáticas o crecimiento microbiológico (Hui, 2006). La importancia de medirlo se debe a que el contenido de humedad por sí solo no es suficiente para predecir la estabilidad de los alimentos, ya que algunos alimentos son inestables con un bajo contenido de humedad (por ejemplo, el aceite de maní), mientras que otros son estables con contenidos de humedad mayores (por ejemplo, el almidón de papa es estable con un 20% de humedad) (Fellows, 2017).

El  $a_w$  y/o contenido de humedad se consideran parámetros de calidad en diferentes estudios de sustitución de huevo en queques. Por ejemplo, Zeidanloo *et al.* (2014) quienes evaluaron el efecto de agregar diferentes concentraciones de harina de soya (25%, 50% y 75% con base en la harina) y goma guar (a niveles de 0%, 0,03% y 0,5%) en queques libres de huevo. Movahhed *et al.* (2016) consideraron importante medir estos dos parámetros de calidad en su estudio sobre queques, en que evaluaron la posibilidad de sustituir las proteínas del huevo por WPC y el efecto de la adición de diferentes emulsificantes.

#### **3.5.5. Medición de volumen en productos de panificación**

El volumen específico se considera un parámetro de calidad en muchos estudios con queques libres de huevo (Jyotsna *et al.*, 2007; Rahmati y Tehrani, 2015; Movahhed *et al.*, 2016; Ashwini *et al.*, 2009; Abhay-Kumar *et al.*, 2017;

Hedayati y Tehrani, 2018), debido a que la medición del volumen proporciona información valiosa sobre la calidad del producto y permite hacer comparaciones de ingredientes y evaluar el efecto de los procesos en los productos de panificación (Cauvain y Young, 2006).

### **3.5.6. Medición instrumental de color**

En muchos estudios de queques con sustitutos de huevo se ha utilizado el color como un parámetro de calidad importante (Rahmati y Tehrani, 2015; Agrahar-Murugkar *et al.*, 2016; Lin *et al.*, 2017; Hedayati y Tehrani, 2018). El color puede definirse como la sensación que experimenta un individuo cuando la energía radiante que se encuentra dentro del espectro visible (380–770 nm) cae sobre la retina del ojo (Nielsen, 2017). El color es uno de los atributos de calidad importantes en los alimentos que, aunque no necesariamente refleja atributos nutricionales o funcionales, sí determina la aceptación de los productos por parte de los consumidores (Sahin y Sumnu, 2006).

Se han desarrollado varios sistemas para describir los colores: Hunter Lab, CIE, Sistema Munsell, CieLab, CieLCh, entre otros. Los cuales son arreglos tridimensionales de color según la apariencia y cada color tiene una notación relacionada con su posición en el sistema (Sahin y Sumnu, 2006).

#### **3.5.6.1. Sistema CieLab**

El método de medición de color CieLab se desarrolló en 1976. La ubicación de cualquier color en este espacio de color está determinada por sus coordenadas:  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ .  $L^*$  representa luminosidad ( $L^* = 0 - 100$ ). El parámetro  $a^*$  representa colores de verde ( $-a^*$ ) a rojo ( $+ a^*$ ) y el componente  $b^*$  colores entre azul ( $-b^*$ ) y amarillo ( $+b^*$ ) (Sahin y Sumnu, 2006).

#### **3.5.6.2. Sistema CieLCh**

El sistema CieLCh ( $L^*$ ,  $C^*$  h) surgió como un esfuerzo por hacer las coordenadas de color más intuitivas. El parámetro  $L^*$  indica el valor de

luminosidad (igual que en el sistema Cielab),  $C^*$  indica el chroma, es decir la saturación del color y  $h$  es el ángulo hue, expresado en grados, que empieza desde  $0^\circ$  que equivale a  $+a$  (rojo),  $90^\circ = +b$  (amarillo),  $180^\circ = -a$  (verde) y  $270^\circ = -b$  (azul) (Lawless y Heymann, 2010). Según Sahin y Sumnu (2006), el chroma ( $C^*$ ) y el ángulo hue ( $h^\circ$ ) se calculan a partir del sistema Cielab de la siguiente manera:

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$h = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (2)$$

### 3.5.6.3. Diferencias de color

En el sistema CielCh, la diferencia de color entre dos muestras se calcula de la siguiente manera (Sahin y Sumnu, 2006):

$$\Delta E^* = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta C^*)^2 + (\Delta H^*)^2)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Donde:

$$\Delta L^* = L^*_{muestra} - L^*_{estándar} \quad (4)$$

$$\Delta C^* = C^*_{muestra} - C^*_{estándar} \quad (5)$$

$$\Delta H^* = ((\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 - (\Delta C^*)^2)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Al medir el color en el colorímetro, se deben elegir el iluminante, el ángulo de visión ( $2^\circ$  o  $10^\circ$ ) y el sistema de medición de color (XYZ, Lab, CIELab o CielCh). Según Nielsen (2017) el iluminante D65, el ángulo de visión de  $10^\circ$  y los parámetros  $L^*$ ,  $C^*$  y  $h$  son apropiados para la mayoría de las aplicaciones alimentarias.

### 3.5.7. Medición instrumental de textura

La textura de los productos de panificación se considera una característica importante para los consumidores, ya que se asocia con la frescura del producto

(Angioloni y Collar, 2009). Sahi y Alava (2003) mencionan que la calidad de los queques está basada en el volumen y en la textura de estos, la cual se ve afectada durante el almacenamiento debido al envejecimiento (Angioloni y Collar, 2009), lo que provoca un endurecimiento gradual en estos productos (Wilderjans *et al.*, 2013). Por tal razón, la textura se considera un parámetro de calidad importante para evaluar el efecto de los sustitutos de huevo en queques (Movahhed *et al.*, 2016; Ashwini *et al.*, 2009; Rahmati y Tehrani, 2015; Agrahar-Murugkar *et al.*, 2016; Abhay-Kumar *et al.*, 2017).

El análisis de perfil de textura (TPA, por sus siglas en inglés) es una prueba de compresión de dos ciclos (2 mordizcos) que imita la masticación de un alimento (Joyner, 2018), con lo que se genera una curva a partir de la cual es posible determinar los parámetros de textura: dureza, cohesividad, elasticidad, adhesividad, fracturabilidad, masticabilidad y gomosidad (Sánchez, Borroso y Careche, 2011).

### **3.5.8. Análisis sensorial**

La evaluación sensorial comprende un conjunto de técnicas para la medición precisa de las respuestas humanas a los alimentos. Intenta aislar las propiedades sensoriales de los alimentos, proporcionar información importante y útil a los desarrolladores de productos, científicos de alimentos y gerentes sobre las características sensoriales de sus productos (Lawless y Heymann, 2010).

Las pruebas sensoriales incluyen:

- ❖ **Pruebas de discriminación o diferencia** que están diseñadas para determinar si hay una diferencia entre los productos.
- ❖ **Pruebas descriptivas** que determinan el alcance de la diferencia en características sensoriales específicas.

- ❖ **Pruebas afectivas o de aceptación / preferencia** que determinan qué tanto gustan los productos o qué productos son preferidos (Vaclavik y Christian, 2014).

#### **3.5.8.1. Prueba de agrado general**

La prueba de agrado general se clasifica dentro de las pruebas afectivas (hedónicas) (Lawless y Heymann, 2010; Ötles, 2012). La prueba implica una muestra de 75 a 150 consumidores. Este número se debe a la alta variabilidad de las preferencias individuales, por lo que surge la necesidad de compensar con un mayor número de personas para asegurar la potencia y sensibilidad de la prueba (Lawless y Heymann, 2010).

Durante la prueba los panelistas califican las muestras en una escala hedónica de "me desagrada extremadamente" a "me gusta extremadamente" (Vaclavik y Christian, 2014). La escala hedónica de nueve puntos ha sido muy utilizada para este fin (Villanueva, Petenate y Da Silva, 2005); también puede emplearse una escala lineal en la cual los panelistas marcan sus puntajes en una escala de 10 o 15 cm anclada a la izquierda y a la derecha (O'Sullivan, 2017a).

La prueba de agrado se ha utilizado en diversidad de estudios de queques con sustitutos de huevo pues contribuye a establecer las posibilidades técnicas de las formulaciones ensayadas (Rahmati y Tehrani, 2015; Movahhed *et al.*, 2016; Hedayati y Tehrani, 2018)

#### **3.5.8.2. Análisis de conglomerados**

El análisis de conglomerados es el proceso de particionar un conjunto de datos (u observaciones) en subconjuntos en que cada subconjunto es un conglomerado, de modo que los objetos en cada conglomerado son similares entre sí, pero diferentes a los objetos de los otros (Han, Kamber y Pei, 2012). Este tipo de análisis se ha utilizado ampliamente en muchas aplicaciones, como inteligencia empresarial, reconocimiento de patrones de imágenes, búsqueda en la web, biología y seguridad (Han *et al.*, 2012).



En ciencia de alimentos, el análisis de conglomerados se utiliza para identificar grupos de consumidores con diferentes patrones de preferencia basados en el agrado de las muestras (Ares, 2013), de modo que se puedan identificar nichos para cada producto evaluado.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Localización

El estudio se realizó en los Laboratorios de Análisis Sensorial y de Química de la Escuela de Tecnología de Alimentos y en la planta piloto del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA), ambos de la Universidad de Costa Rica, sede Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, San José, con una altitud de aproximadamente 1282,3 m.

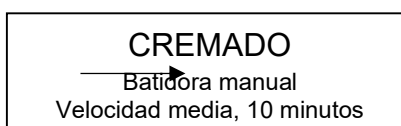
### 4.2. Materiales

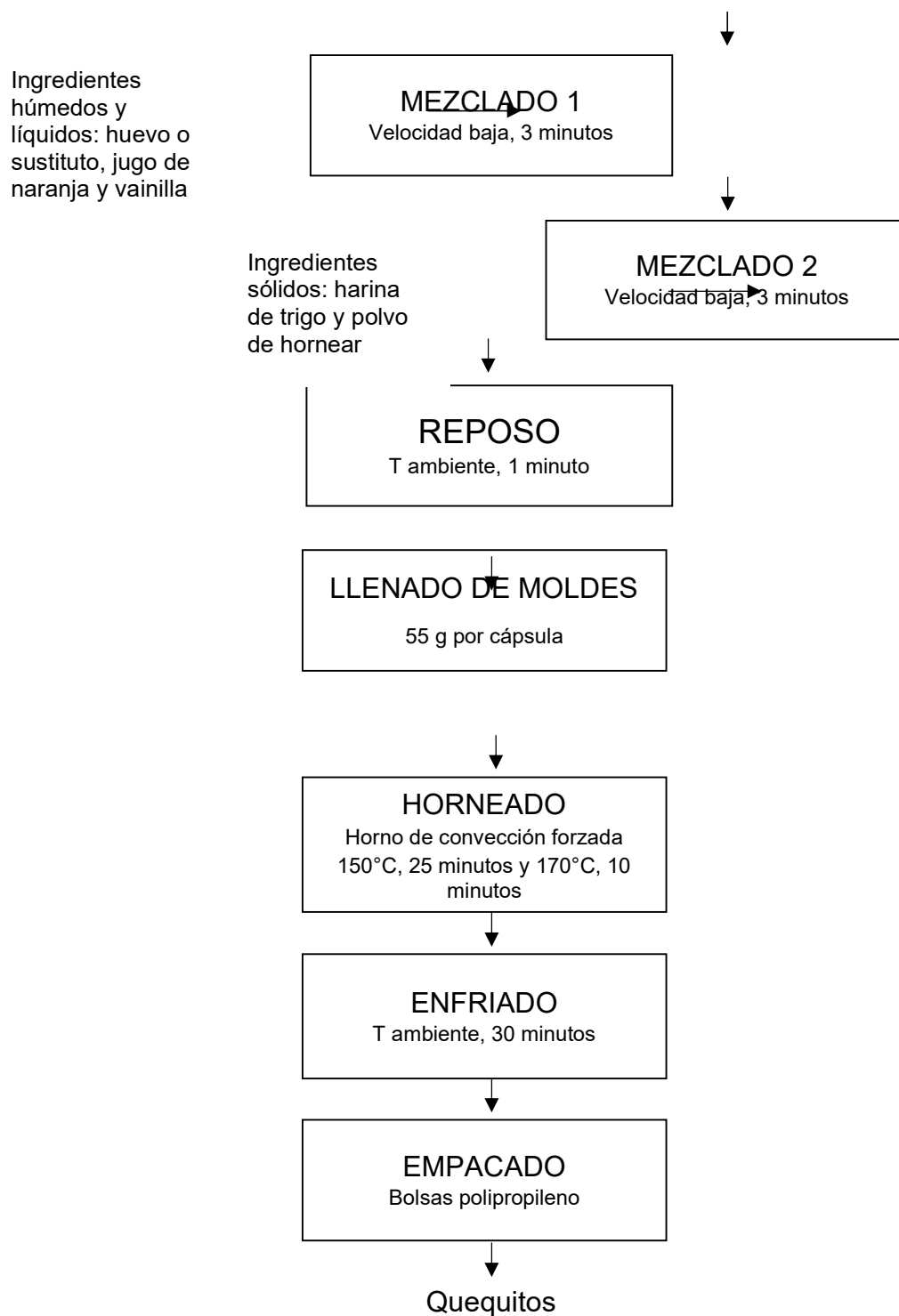
La formulación control se basó en la utilizada por Villalobos (2008), con algunas modificaciones, la cual incluye los siguientes ingredientes: harina de trigo, azúcar, huevos, margarina, polvo de hornear y jugo de naranja. La materia prima necesaria para la sustitución de huevo es: concentrado de proteína de suero lácteo, concentrado de proteína de soya, mezcla 50:50 harina de arroz:harina de yuca con goma xantán, linaza, chía y sustituto comercial de huevo "NO EGG".

#### 4.2.1. Elaboración de los quequitos

##### 4.2.1.1. Flujo de proceso

Margarina  
Azúcar





**Figura 2.** Diagrama de proceso general para la elaboración de quequitos.

#### 4.2.1.2. Descripción del proceso

La Figura 2 resume el proceso general para la elaboración de los quequitos. A continuación, se detallan las etapas:

**Cremado.** En esta etapa la margarina y el azúcar se baten para formar una mezcla homogénea. En primer lugar, se incorpora la margarina y el azúcar se va agregando en pequeñas cantidades. El cremado finaliza cuando la mezcla se vuelve ligera y adquiere un color muy claro. Esta etapa dura en promedio 10 minutos.

**Mezclado 1.** A la mezcla cremada, se añaden los huevos (o el sustituto, cuando corresponda) y los ingredientes líquidos, en pequeñas porciones, manteniendo el mezclado a una velocidad baja. El mezclado 1 dura aproximadamente 3 minutos.

**Mezclado 2.** Consiste en agregar los ingredientes sólidos; la incorporación se hace poco a poco, manteniendo el mezclado a una velocidad baja. Esta etapa dura aproximadamente 3 minutos.

**Reposo.** La mezcla se deja en reposo durante 1 minuto, antes de proceder a llenar los moldes.

**Llenado de los moldes.** La mezcla para queques se incorpora a los moldes; a cada molde o cápsula se le agregan 55 gramos de la mezcla. Se utilizan cápsulas número 4,5 y moldes de tamaño 39x29x3 cm.

**Horneado.** El horno se pre calienta hasta alcanzar una temperatura de 150°C, los quequitos se hornean durante 25 minutos a esa temperatura y, posteriormente, se eleva la temperatura a 170°C y se hornean durante 10 minutos más.

**Enfriado.** Al finalizar el horneado, se extraen los moldes del horno y se dejan enfriar por 5 minutos. Finalmente, los quequitos se sacan de los moldes

para terminar su enfriamiento a temperatura ambiente durante 25 minutos, previo a su almacenamiento.

**Empacado.** El producto terminado se empaca en bolsas de polipropileno y se almacena a temperatura ambiente hasta iniciar los análisis.

### 4.3. Pruebas preliminares

#### 4.3.1. Formulación del quequito control

Para la definición del quequito control se probaron 3 formulaciones que se sometieron a degustación con aproximadamente 20 consumidores, y se escogió la que presentó mejor sabor, apariencia y textura. A la formulación de referencia (Villalobos, 2008) se le hicieron algunos ajustes para mejorarla (Ver apéndice A). En el Cuadro 7 se muestra la formulación final del quequito control.

**Cuadro 7.** Formulación del quequito control.

<b>Ingredientes</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Harina	25,2
Huevo	24,2
Margarina	21,6
Azúcar	18,4
Jugo de naranja	9,7
Polvo de hornear	0,7
Vainilla	0,3
Total	100

#### 4.3.2. Sustitutos de huevo

Se realizaron diferentes pruebas preliminares para definir la concentración de los sustitutos que se utilizaron (Apéndice A) y con base en dichas pruebas, se definió evaluar los siguientes sustitutos de huevo:

- Sustituto comercial “NO EGG” (SC), siguiendo las indicaciones de la etiqueta del producto.
- Concentrado de proteína de suero lácteo (WPC, por sus siglas en inglés) (13% p/p)
- Concentrado de proteína de soya (CPS) (13% p/p)
- Mezcla de harina de arroz:yuca 50:50 y goma xantán (al 12% p/v)
- Mucílago de linaza (ML) (extraído de una solución de linaza y agua al 2% p/v)
- Mucílago de chía (MC) (extraído de una solución de chía y agua al 5% p/v)

#### **4.4. Preparación de los sustitutos de huevo**

A continuación, se describe el método de preparación de cada sustituto de huevo. Es importante aclarar que las formulaciones resultantes tienen un contenido de agua diferente a la formulación control, debido a que este parámetro no se equilibró. Únicamente se consideró simular las funciones del huevo en los queques.

##### **4.4.1. Preparación del sustituto de huevo comercial “NO EGG”**

Para la preparación del SC se siguieron las indicaciones del fabricante, sustituyendo un huevo (peso promedio 50 g) por 6 g de sustituto y 30 ml de agua. La solución se mezcló e inmediatamente se agregó en lugar del huevo.

##### **4.4.2. Preparación de la dispersión de concentrado de proteína de suero lácteo**

La dispersión de concentrado de proteína de suero lácteo se preparó de acuerdo con lo sugerido por Díaz-Ramírez *et al.* (2016), con algunas modificaciones. El WPC se hidrató con agua potable a temperatura ambiente (20 °C aproximadamente), con agitación constante, para obtener una concentración final del 13% (p / p), y, de esta manera, asemejar el contenido de proteína promedio de 100 g de huevo entero. De esta dispersión se pesó la cantidad

equivalente a la masa en gramos de huevo indicada en la formulación y se agregó a la mezcla.

#### **4.4.3. Preparación de la dispersión de concentrado de proteína de soya**

La dispersión de CPS se preparó de la misma forma que la de WPC, hidratando la proteína con agua potable a temperatura ambiente (20 °C aproximadamente), con agitación constante, para obtener una concentración final del 13% (p / p), e, igualmente, asemejar el contenido de proteína promedio de 100 g de huevo entero. De esta dispersión se pesó la cantidad equivalente a la masa en gramos de huevo indicada en la formulación y se agregó a la mezcla.

#### **4.4.4. Extracción del mucílago de linaza**

El mucílago de linaza se preparó con el siguiente método: se lavaron las semillas de linaza para eliminar el polvo de la superficie, se preparó una mezcla de semillas de linaza y agua (al 2% p/v) y se llevó a ebullición a 95,5 °C aproximadamente, con agitación constante. Al llegar a ebullición se retiró del fuego, se dejó enfriar durante 1 hora y, posteriormente, se dejó en reposo durante 15 horas en refrigeración (6°C). La solución de mucílago de linaza extraída se filtró a través de un colador apropiado para retener la semilla. Una vez extraído el mucílago se pesó la cantidad equivalente a la masa en gramos de huevo indicada en la formulación y se incorporó a la mezcla de ingredientes.

#### **4.4.5. Extracción del mucílago de chía**

Para preparar el mucílago de semillas de chía, se lavaron las semillas para eliminar el polvo de la superficie. Se preparó una mezcla de semillas de chía y agua (al 5% p/v) y se llevó a ebullición a 95,5 °C aproximadamente, con agitación constante. Al llegar a ebullición se retiró del fuego, se dejó enfriar durante 1 hora y, posteriormente, se dejó en reposo durante 15 horas en refrigeración (6°C). La solución de mucílago de chía extraída se filtró a través de un colador apropiado para retener la semilla. Una vez extraído el mucílago se pesó la cantidad

equivalente a la masa en gramos de huevo indicada en la formulación y se incorporó a la mezcla de ingredientes.

#### 4.4.6. Preparación de la mezcla de harina de arroz-yuca y goma xantán

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 la goma al 0,1%, a esta mezcla se le adicionó agua potable hasta obtener una concentración de sólidos del 12% y se mezcló hasta obtener una masa homogénea que posteriormente se adicionó a la formulación. Los porcentajes de los ingredientes de la mezcla se resumen en el Cuadro 8.

**Cuadro 8.** Formulación de la mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán.

Ingrediente	Porcentaje (%)	Porcentaje en la formulación (%)
Harina de arroz	5,8	1,4
Harina de yuca	5,8	1,4
Goma xantán	0,5	0,1
Agua	87,9	21,1
Total <sup>a</sup>	100%	24%

#### 4.5. Caracterización física de la masa de los quequitos

##### 4.5.1. Descripción

Se evaluó el efecto de diferentes sustitutos de huevo sobre el color, la densidad relativa y viscosidad de la masa de los queques, previo al horneado. Preparado según la formulación indicada en el Cuadro 7. Los sustitutos que se evaluaron son: concentrado de proteína de suero lácteo, concentrado de proteína de soya, sustituto comercial “NO EGG”, mucílago de linaza, mucílago de chía y una mezcla de harina de arroz-yuca y goma xantán. La sustitución de huevo en las formulaciones se realizó según lo especificado en la sección 4.4



#### **4.5.2. Diseño estadístico**

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con un arreglo unifactorial de 7 tratamientos, correspondientes a las 7 formulaciones. Las variables que se midieron en las masas son: color, densidad relativa y viscosidad. Se hicieron tres repeticiones del experimento. El factor bloque corresponde a cada lote de producto preparado, que a su vez corresponde a las repeticiones.

#### **4.5.3. Análisis estadístico**

Se hizo un análisis de varianza (ANDEVA) 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. Los análisis se hicieron utilizando el software estadístico JMP 7 (SAS Institute Inc).

### **4.6. Evaluación del efecto de diferentes sustitutos de huevo sobre las características físicas y sensoriales de un quequito**

#### **4.6.1. Descripción**

Las formulaciones descritas en la Sección 4.5.1. se hornearon como se describe en la Sección 4.2.1.

#### **4.6.2. Diseño estadístico**

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con un arreglo unifactorial de 7 tratamientos, correspondientes a las 7 formulaciones. Las variables que se midieron en los quequitos son:  $a_w$ , humedad, color, textura, volumen específico y agrado. Se hicieron tres repeticiones del experimento. El factor bloque corresponde a cada lote de producto preparado, que a su vez corresponde a las repeticiones.

### **4.6.3. Análisis estadístico**

Para los análisis físico químicos se hizo un análisis de varianza (ANDEVA) y se aplicó una prueba de comparación de medias de Tukey en los casos en los que se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre los tratamientos. Los análisis se hicieron utilizando el software estadístico JMP 7 (SAS Institute Inc).

Los datos obtenidos de la evaluación sensorial se analizaron utilizando el software estadístico XLSTAT (Addinsoft). Se hizo un análisis de clúster de consumidores y un ANDEVA para cada conglomerado (clúster). Además, se aplicó una prueba de comparación de medias LSD de Fisher en los casos en que se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

## **4.7. Efecto del aireado adicional y la incorporación de lecitina sobre las propiedades físicas de un quequito libre de huevo**

### **4.7.1. Descripción**

La formulación con sustituto de huevo que presentó las mejores características, se evaluó con y sin la aplicación de aireado adicional. El aireado adicional se le realizó a la masa del queque, a velocidad baja (velocidad "1", batidora manual, marca Black+Decker, modelo MX1500W) durante tres minutos, una vez que se incorporaron y mezclaron todos los ingredientes, después del mezclado 2 (Figura 2). La misma formulación también se evaluó con y sin la adición de lecitina. Se utilizaron 0,5 g de lecitina para 100 g de harina, según lo sugerido por Sahraiyán *et al.* (2015), y se adicionó con los ingredientes líquidos.

### **4.7.2. Diseño estadístico**

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con un arreglo unifactorial de 4 tratamientos, que corresponden a la mejor formulación con sustituto de huevo (control sin lecitina y sin aireado adicional), y esta formulación con las siguientes modificaciones: con lecitina-con aireado adicional, con lecitina-sin aireado adicional, sin lecitina-con aireado adicional. Las variables respuesta que se

midieron son: color, textura y volumen específico. Se hicieron 3 repeticiones del experimento. El factor bloque corresponde a cada lote de producto preparado, que a su vez corresponde a las repeticiones.

#### **4.7.3. Análisis estadístico**

Se hizo un análisis de varianza (ANDEVA) 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. Los análisis se hicieron utilizando el software estadístico JMP 7 (SAS Institute Inc.).

### **4.8. Estudio de Almacenamiento**

#### **4.8.1. Descripción**

Se realizó un estudio de almacenamiento de los quequitos durante 10 días a temperatura ambiente, utilizando el sustituto de huevo que generó las mejores características y el control con huevo. Se utilizó propionato de calcio (E282) como preservante al 0,3% con base en la harina, según lo indicado en la norma de clasificación del pan del Ministerio de Economía, Industria y Comercio (MEIC, 1993). Los quequitos se empacaron en bolsas de polipropileno.

El estudio se realizó durante 10 días debido a la corta vida de anaquel de este tipo de productos, se observó crecimiento de mohos en el día 13 de almacenamiento.

#### **4.8.2. Diseño estadístico**

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con un arreglo factorial de dos factores: el factor formulación y el factor tiempo. El factor formulación con dos niveles (quequito con huevo y quequito con mejor sustituto). El factor tiempo con 4 niveles: 1, 4, 7 y 10 días. Se midieron las variables color, textura, humedad,  $a_w$ , y volumen específico un día después del horneado y luego cada 3 días. Se hicieron 3 repeticiones del experimento. El factor bloque corresponde a cada lote de producto preparado, que a su vez corresponde a las repeticiones.

### **4.8.3. Análisis estadístico**

Se hizo un análisis de varianza (ANDEVA), en el cual el tiempo se evaluó como una variable continua. Se graficó cada variable en función del tiempo para cada formulación y se calcularon las ecuaciones de las rectas con sus correspondientes coeficientes de determinación. El análisis se hizo utilizando el software estadístico JMP 7 (SAS Institute Inc.).

## **4.9. Métodos de análisis**

### **4.9.1. Análisis en la masa de los quequitos**

#### **4.9.1.1. Densidad relativa**

La densidad relativa de la masa de los queques se midió siguiendo el método reportado por Ashwini *et al.* (2009), en el que se dividió el peso de la masa que cabe en un volumen conocido, entre la masa de agua destilada que cabe en ese mismo volumen. La medición se realizó a 23 °C.

#### **4.9.1.2. Viscosidad**

La viscosidad de las masas de los queques se midió siguiendo el método sugerido por Ashwini *et al.* (2009), con algunas modificaciones. Se utilizó un viscosímetro Brookfield (Modelo 98936-10, Cole Parmer, Vernon Hills, IL, USA). Se vertieron 400 ml de la muestra en un beaker 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 (Cole-Parmer, 1997). La medición se realizó a 23 °C.

#### **4.9.1.3. Color**

La medición instrumental del color (parámetros L\*, C\*, h°) de las masas de quequitos se realizó, a 23°C, mediante el uso del colorímetro Hunter Lab Color Flex EZ, previamente calibrado según las indicaciones del equipo.

Para medir el color se colocó la muestra en un porta-muestras (placa de Petri de 5 cm de diámetro) y se tomaron tres mediciones por muestra, girando la placa un ángulo de 90°. Se utilizó una fuente de luz D65, con un ángulo del observador de 10 ° y un ángulo de incidencia 45°/0°. El color se determinó en la escala CieLch.

#### **4.9.1.4. Perfil amilográfico**

El efecto del huevo y de los sustitutos de huevo sobre el perfil amilográfico de la harina de trigo, se evaluó siguiendo el método de Ashwini *et al.* (2009), con algunas modificaciones. Se utilizó un micro visco-amilógrafo (Modelo-803222, Brabender® GmbH y Co. KG, Duisburg, Alemania), programado con una velocidad de calentamiento y enfriamiento de 7,5 °C/min, velocidad de 250 min<sup>-1</sup> y perfil de temperatura de 30 – 90 – 30 °C; la muestra permaneció 5 min a 90°C. Las condiciones de las formulaciones se muestran en el Apendice B.

#### **4.9.2. Análisis en los quequitos**

##### **4.9.2.1. Actividad de agua ( $a_w$ )**

La actividad de agua de los quequitos se determinó a temperatura ambiente (aproximadamente 25°C) utilizando un medidor de actividad de agua (Aqualab). La medición se realizó según lo descrito por Benavides (2017). Las muestras pulverizadas se colocaron en el porta muestras del equipo, previamente calibrado con cloruro de litio y cloruro de sodio como sales de referencia, y luego de una prueba con un patrón de agua desionizada, y se procedió con la lectura del  $a_w$ .

##### **4.9.2.2. Porcentaje de humedad**

La determinación del porcentaje de humedad de los quequitos se realizó según el procedimiento seguido por Ugalde (2002), basado en el método 27.005 del AOAC (1990), pesando 2 gramos de la muestra y manteniéndola a una temperatura entre 95 y 100°C hasta llegar a peso constante. La diferencia de peso antes y después del tratamiento es el contenido de agua del producto.

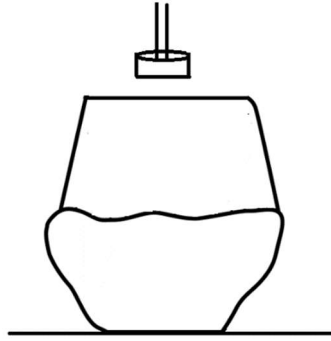
#### 4.9.2.3. Volumen específico

El volumen específico de los quequitos se determinó por el método de desplazamiento de semillas descrito por Benavides (2017) y con base en lo reportado por Campbell, Euston y Ahmed (2016). El método consiste en colocar en un recipiente cilíndrico semillas de mijo y marcar la altura alcanzada. Después se retiran las semillas del recipiente y se introduce el producto, se vierten las semillas y se nivela con una espátula. Se mide la distancia de desplazamiento de las semillas a partir de la marca inicial, la cual corresponde al volumen del pan. Para calcular el volumen específico se determina la masa del pan y se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen específico } \left(\frac{\text{mL}}{\text{g}}\right) = \frac{\text{Volumen pan+semilla (mL)} - \text{Volumen semillas (mL)}}{\text{masa pan (g)}} \quad (7)$$

#### 4.9.2.4. Medición instrumental de la textura

Se realizó el análisis del perfil de textura (TPA, por sus siglas en inglés) (dureza, elasticidad, cohesividad, masticabilidad y adhesividad) de los quequitos, utilizando un texturómetro TA.XTPlus de Stable Microsystems. Para el análisis se utilizaron los parámetros reportados por Jiménez (2008), en que 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 apoyarlo. Posteriormente, el quequito se invirtió para realizar la medición, como se muestra en la Figura 3. El Cuadro 9 muestra un resumen de los diferentes conceptos del perfil de textura que se evaluaron.



**Figura 3.** Posición del quequito previo al análisis de textura.

**Cuadro 9.** Parámetros del análisis de perfil de textura.

<b>Parámetro</b>	<b>Definición</b>	<b>Determinación</b>
Dureza	Fuerza necesaria para lograr una deformación determinada.	Fuerza máxima durante el primer ciclo de compresión.
Adhesividad	Trabajo necesario para vencer la fuerza de atracción entre la muestra y una superficie.	Área negativa después del primer ciclo de compresión. Representa el trabajo necesario para separar la superficie del cilindro y la muestra.
Cohesividad	Representa la resistencia de un material a una segunda deformación. Mide el trabajo realizado en la segunda compresión dividido entre el trabajo realizado durante la primera compresión.	Relación entre el área positiva del segundo ciclo de compresión ( $A_2$ ) y el área positiva del primer ciclo ( $A_1$ ).
Elasticidad	Capacidad que tiene una muestra deformada de recuperar su forma o longitud inicial después de que la fuerza ha impactado en ella.	La distancia recuperada hasta el inicio de la segunda compresión menos la distancia alcanzada al llegar a la compresión máxima en el primer ciclo.
Masticabilidad	Energía necesaria para masticar un alimento sólido hasta un estado tal que permita su ingesta.	Producto de la dureza, cohesividad y elasticidad.

Adaptado de: Torres, González y Acevedo (2015) y Chacón-Villalobos y Pineda-Castro (2009).

#### **4.9.2.5. Medición instrumental de color**

La medición instrumental del color (parámetros  $L^*$ ,  $C^*$ ,  $h^\circ$ ) de las muestras de quequitos se realizó sin la corteza, tomando una porción de la miga, colocándola en la placa y haciendo presión para eliminar los espacios vacíos. La medición se realizó a  $23^\circ\text{C}$ , mediante el uso del colorímetro Hunter Lab Color Flex EZ, previamente calibrado según las indicaciones del equipo, utilizando las mismas especificaciones de la medición de color de las masas (Sección 4.9.1.3.).



#### 4.9.2.6. Prueba de agrado general

Para la prueba se realizó un panel con 112 consumidores considerados repeticiones. Durante la prueba, a los panelistas se les sirvieron 7 muestras de quequitos, que corresponde a las 7 formulaciones evaluadas, formulación H (con huevo), y 6 formulaciones con sustitutos de huevo: WPC, CPS, HA, ML, MC y SC. El tamaño de cada muestra correspondió a  $\frac{1}{4}$  del quequito (Figura 4) y, 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 aromas. Los panelistas evaluaron el agrado general mediante el uso de la escala híbrida de Villanueva *et al.* (2005), y se les pidió expectorar entre cada muestra. Al finalizar la prueba se les aplicó la encuesta descrita en la Sección 5.3.4.1 y adjunta en el Apéndice D.



**Figura 4.** Ejemplo de orden de presentación de las muestras de quequitos evaluadas.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Pruebas preliminares

Con el objetivo de establecer los sustitutos de huevo que se evaluaron en el estudio, sus concentraciones y sus modos de preparación se realizaron varias pruebas preliminares, las cuales se describen en el Apéndice A.

Adicionalmente, se evaluó el efecto de los sustitutos sobre el amilograma de la harina de trigo y los resultados se presentan en el Apéndice B.

### 5.2. Caracterización física de la masa de los quequitos

#### 5.2.1. Densidad relativa y viscosidad

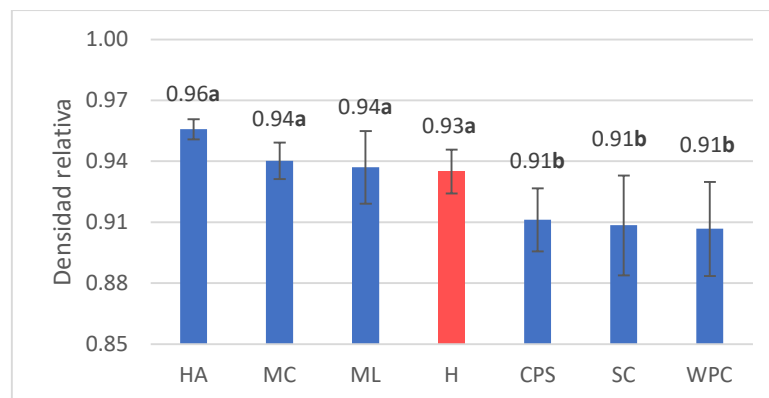
En el Cuadro 10 se muestran los resultados del análisis de varianza de la densidad relativa y la viscosidad de las masas; en ambos casos hubo diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre las diferentes formulaciones y entre los lotes de producción. Las diferencias entre lotes eran de esperarse, debido a otras fuentes de variación; por ejemplo, el clima, diferencias entre los lotes de materia prima, entre otros.

**Cuadro 10.** Análisis de varianza de la densidad relativa y la viscosidad de las masas.

Efecto	g.l.*	Probabilidad asociada	
		Densidad relativa	Viscosidad
Tratamiento	6	<0,0001	<0,0001
Lote	2	<0,0001	0,0215

\*g.l. = grados de libertad.

Las Figuras 5 y 6 muestran los resultados de la densidad relativa y viscosidad de las masas, luego de aplicar una prueba de comparación de medias de Tukey.



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

**Figura 5.** Densidad relativa de las masas de los quequitos. Formulación con huevo (H), Mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán (HA), Sustituto comercial “NO EGG” (SC), Concentrado de proteína de suero lácteo (WPC), Concentrado de proteína de soya (CPS), Mucílago de linaza (ML) y Mucílago de chía (MC).

En el caso de la densidad relativa, los resultados indicaron dos grupos. El primer grupo, en que HA, MC y ML no son diferentes de H ( $p > 0,05$ ) y, por otro lado, el grupo de las formulaciones con CPS, SC y WPC, que presentaron valores de densidad relativa menores que H. La densidad de las masas está relacionada con la cantidad de burbujas de aire que se incorporan durante el mezclado (a menor densidad, mayor cantidad de burbujas de aire incorporadas), y esto, a su vez, está relacionado con la calidad de los queques (Gómez, Oliete, García-Álvarez, Ronda y Salazar, 2008), en especial con el volumen de estos (Sumnu y Sahin, 2008).

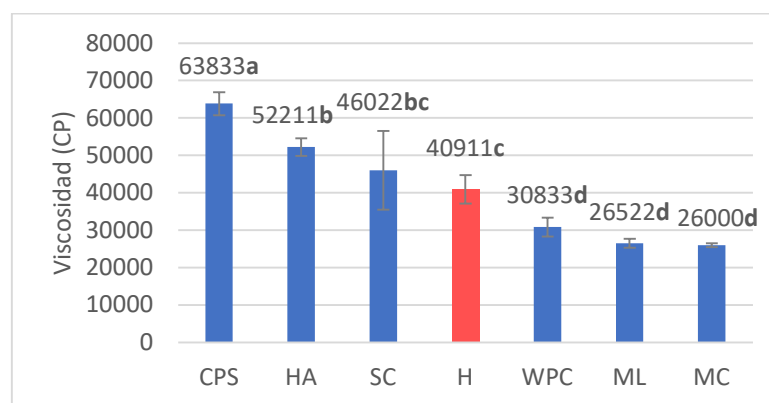
Otros autores han observado efectos similares de las proteínas de suero lácteo y soya en sus estudios. Jyotsna *et al.* (2007) evaluaron el efecto de diferentes concentraciones de WPC en queques libres de huevo y reportan que el WPC disminuye la densidad de la masa, incrementa el número de burbujas de aire incorporadas en esta y, a su vez, favorece el volumen específico de los queques. Majzoobi, Ghiasi, Habibi, Hedayati y Farahnaky (2013) evaluaron el efecto de la incorporación de diferentes concentraciones de aislado de proteína de soya en queques esponjados y encontraron efectos similares al WPC, es decir,

disminución en la densidad de la masa y aumento en el volumen específico de los queques. Los autores también reportan que observaron un aumento en la consistencia de la masa con la adición de proteína de soya y, según ellos, es probable que el aire quede atrapado debido a esto, o que las proteínas ejerzan un efecto estabilizante sobre las burbujas de aire en la masa (Majzoubi *et al.*, 2013), lo que podría explicar la baja densidad de estas dos masas. En el caso del SC, la baja densidad posiblemente se relacione con el carbonato de calcio que contiene en su formulación, que actúa como agente leudante (Orgran ®, 2019) y anti aglomerante (EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food, 2011). En presencia de agua, los ingredientes reaccionan con el carbonato y el ácido presentes en la formulación y se genera dióxido de carbono (Miller, 1957), el cual, posiblemente, se estabiliza por acción de la metilcelulosa (Orgran ®, 2019; Palav, 2015).

En el caso de la viscosidad de las masas, como se puede observar en la Figura 6, es evidente el poder viscosizante del CPS y HA en las concentraciones utilizadas, las cuales presentaron valores de viscosidad mayores que H. Este efecto de las proteínas de soya coincide con lo reportado por otros autores en estudios similares (Lin *et al.*, 2017; Rahmati y Tehrani, 2015; Hedayati y Tehrani, 2018). Es probable que el aumento en la viscosidad de la masa con CPS, se atribuya a la capacidad de retención de agua de las proteínas de soya (Ronda *at al.*, 2011). Por otro lado, el aumento de la viscosidad de la masa con HA, se podría atribuir a los almidones de las harinas de arroz y yuca, y a la presencia de goma xantán, que ejercen funciones espesantes y viscosizantes (Saha y Bhattacharya, 2010; Ai y Jane, 2017).

La propiedad viscosizante del CPS y HA podría ayudar en la incorporación de aire en la masa (Gómez *et al.*, 2008) y, por ende, favorecer el volumen del producto final, como ya se señaló. No obstante, es importante mencionar que, aunque una masa altamente viscosa puede contener burbujas de aire en su interior, la alta viscosidad podría afectar la expansión de la masa durante el

horneo (Sumnu y Sahin, 2008), por lo que es incierto predecir un buen comportamiento del CPS y HA debido a su alta viscosidad.



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

**Figura 6.** Viscosidad de las masas. Formulación con huevo (H), Mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán (HA), Sustituto comercial “NO EGG” (SC), Concentrado de proteína de suero lácteo (WPC), Concentrado de proteína de soja (CPS), Mucílago de linaza (ML) y Mucílago de chíá (MC).

Por otro lado, WPC, ML y MC presentaron viscosidades más bajas que H, lo que se podría traducir en una menor eficiencia de la retención de las burbujas de aire en el interior de la masa (Ronda *et al.*, 2011) y, a su vez, en un efecto negativo en el volumen específico de los quequitos elaborados con estos sustitutos. La baja viscosidad de las formulaciones con MC y ML se podría asociar al alto contenido de agua de estos dos ingredientes. En caso del WPC, su efecto de proporcionar baja viscosidad a la masa de queques libres de huevo se ha reportado en otros estudios. Un ejemplo de ello es el estudio realizado por Díaz-Ramírez *et al.* (2016), quienes, utilizando WPC 89 a 11% p/v, evaluaron la sustitución parcial y total de huevo en queques esponjados y encontraron que, a mayor contenido de WPC, se obtuvo menor viscosidad en la masa.

Finalmente, se considera importante destacar que, tanto en la densidad relativa como en la viscosidad, el sustituto comercial evidenció resultados favorables. Es decir, baja densidad relativa y viscosidad no diferente a la formulación con huevo ( $p > 0,05$ ).

### 5.2.2. Color

Los resultados del análisis de varianza de los parámetros de color ( $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^\circ$ ) de las masas de los quequitos se muestran en el Cuadro 11. En todos los casos hubo diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre las diferentes formulaciones y entre los lotes de producción. Las diferencias entre lotes eran de esperarse, debido a otras fuentes de variación, como se comentó anteriormente.

**Cuadro 11.** Análisis de varianza del color de las masas.

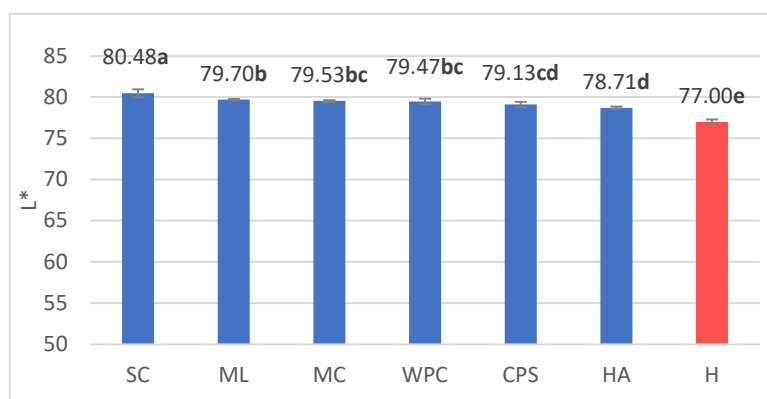
Efecto	g.l.*	Probabilidad asociada		
		$L^*$	$C^*$	$h^\circ$
Tratamiento	6	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Lote	2	<0,0001	<0,0001	<0,0001

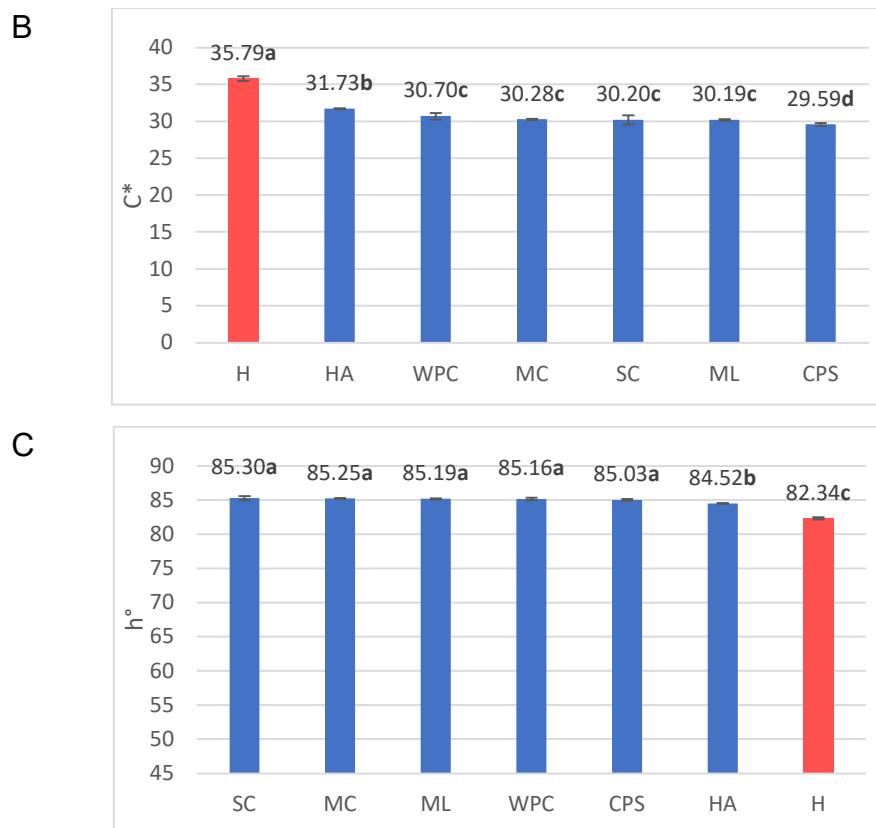
\*g.l. = grados de libertad.

La prueba de comparación de medias de Tukey arrojó los resultados reportados en la Figura 7 para los parámetros  $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^\circ$ . Los resultados indican que, en todos los casos, las formulaciones con sustitutos de huevo son diferentes de H ( $p \leq 0,05$ ).

En el parámetro luminosidad ( $L^*$ ), el huevo proporciona una menor luminosidad a la masa, en comparación con los sustitutos evaluados. Esto se relaciona con la capacidad de los huevos de proporcionar un color oscuro a la masa (Loewe, 2011), debido principalmente a la yema (Larsen, 2018).

A





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

**Figura 7.** Medias de los parámetros de color (A)  $L^*$ , (B)  $C^*$  y (C)  $h^\circ$  de las masas. Formulación con huevo (H), Mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán (HA), Sustituto comercial “NO EGG” (SC), Concentrado de proteína de suero lácteo (WPC), Concentrado de proteína de soya (CPS), Mucílago de linaza (ML) y Mucílago de chía (MC).

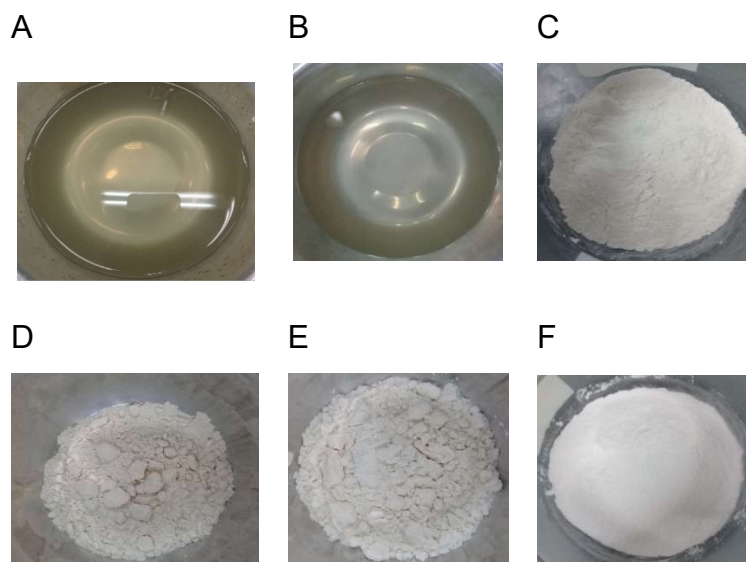
El chroma se relaciona con la pureza del color (Choubert, Blanc y Vallée, 1997), por lo que el huevo proporcionó una mayor pureza al color de la masa, en comparación con los sustitutos. Agrahar-Murugkar *et al.* (2016) encontraron resultados similares a los de este estudio. La sustitución de huevo por banana, semillas de chía en polvo y leche de soya en polvo provocó una disminución en el chroma de la masa de queques libres de huevo.

Por otro lado, en el ángulo  $h^\circ$ , todas las formulaciones estuvieron dentro del rango del color amarillo, es decir un ángulo hue entre  $70$  y  $105^\circ$  (Roy-Choudhury,

2014b), siendo H la formulación menos amarilla, es decir, se acerca más al color anaranjado ( $35 - 70^\circ$ ) que las demás formulaciones.

Las diferencias de color de la masa H en comparación con las masas que contienen sustitutos de huevo, se relaciona con la presencia de carotenoides en el huevo, especialmente luteína y zeaxantina, que son responsables del color de la yema (Larsen, 2018) y, por ende, ejercen una función colorante en la masa de los quequitos. Además, al observar el color de los sustitutos de huevo utilizados, como se muestra en la Figura 8, es notorio ver que MC y ML son incoloros y WPC, CPS, HA y SC tienen un aspecto blanquecino, por lo que esto influyó en que tuvieran parámetro de color distintos a los de H.

Estas diferencias podrían ser perceptibles o no por el ojo humano. En este sentido, Roy-Choudhury (2014a) indica que las diferencias en  $h^\circ$  son las más detectables, pues el ojo humano puede tolerar más diferencia en  $C^*$  que en  $h^\circ$  y más diferencias en  $L^*$  que en  $C^*$  o  $h^\circ$ . Una manera de medir estas diferencias en color es mediante el cálculo de  $\Delta E^*$ ; de manera que, si  $\Delta E^*$  da como resultado un número entre 1,5 y 5, la diferencia de color podría ser percibida por la vista, mientras que un valor mayor a 5, indica que la diferencia resulta evidente (Obón, Castellar, Alacid y Fernández-López, 2009).





**Figura 8.** Sustitutos de huevo evaluados. (A) MC, (B) ML y previo a la adición del agua: (C) HA, (D) CPS, (E) WPC y (F) SC.

Finalmente, se destaca que la masa de la formulación HA, aunque resultó estadísticamente diferente a H ( $p \leq 0,05$ ), fue la más cercana a dicha formulación en todos los parámetros de color, incluso más cercana que el SC. Por lo que se calculó el  $\Delta E^*$  entre H y HA para identificar si la diferencia podría ser perceptible o no por el ojo humano. El  $\Delta E^*$  dio como resultado 4,59, por lo que se puede afirmar que la diferencia entre HA y H sí podría ser perceptible.

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

#### 5.3.1. $A_w$ , humedad y volumen específico

El análisis de varianza del  $a_w$ , porcentaje de humedad y volumen específico de los quequitos se muestra en el Cuadro 12; en todos los casos hubo diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre las formulaciones y entre lotes de producción. Las diferencias entre lotes eran de esperarse, debido a otras fuentes de variación, como se discutió anteriormente.

**Cuadro 12.** Análisis de varianza del  $a_w$ , humedad y volumen específico de los quequitos.

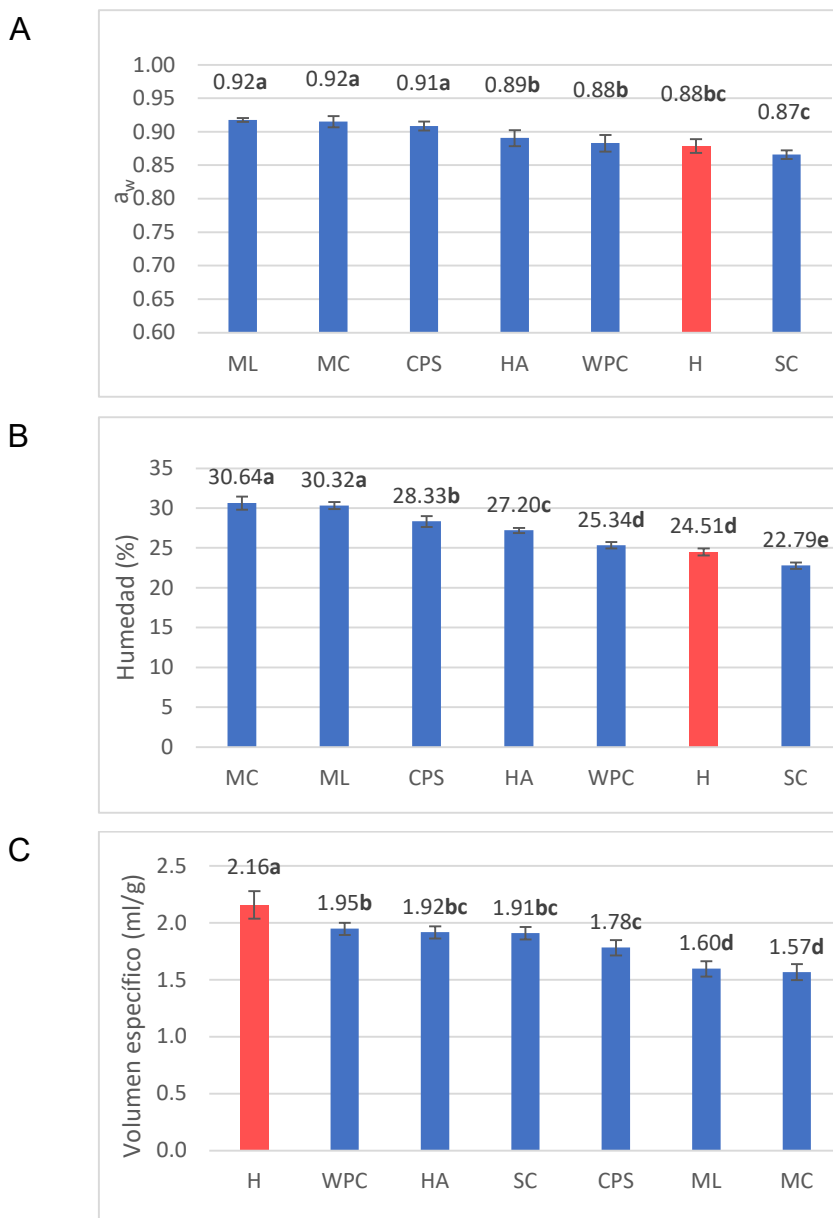
Fuente	g.l.*	Probabilidad asociada		
		$a_w$	Humedad (%)	Volumen específico
Tratamiento	6	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Lote	2	<0,0001	0,0049	0,0070

\*g.l. = grados de libertad.

En la Figura 9 se observan los resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey del  $a_w$ , porcentaje de humedad y volumen específico de los quequitos de las diferentes formulaciones evaluadas.

En los resultados de  $a_w$ , se identificó que ML, MC y CPS presentaron los valores más altos, sin diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre ellos. HA y WPC no presentaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) con respecto a H y el SC presentó el valor más bajo de  $a_w$ . En el porcentaje de humedad, se observaron resultados similares; las formulaciones con MC y ML presentaron los valores más altos en esta variable, sin diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre ellas, lo que probablemente se debe al alto contenido acuoso de estos dos ingredientes (Figura 8). Y, en este caso, WPC resultó ser la formulación más cercana a H ( $p > 0,05$ ), lo que indica que la concentración utilizada de WPC logró equilibrar la cantidad de agua en los queques posterior al horneado. El SC también presentó el valor más

bajo en este parámetro, lo que se debe a la baja cantidad de agua que se adiciona a este sustituto (Sección 4.4.1.) por recomendación del proveedor (Orgran®, 2019), en comparación con los otros sustitutos.



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

**Figura 9.** Medias del (A)  $a_w$ , (B) porcentaje de humedad y (C) volumen específico de los quequitos. Formulación con huevo (H), Mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán (HA), Sustituto comercial “NO EGG” (SC), Concentrado de proteína de suero lácteo (WPC), Concentrado de proteína de soya (CPS), Mucílago de linaza (ML) y Mucílago de chía (MC).

Tanto el  $a_w$  como el contenido de humedad son parámetros de calidad que se relacionan directamente con la estabilidad microbiológica de los quequitos y, por ende, con la vida de anaquel de estos (Smith et. al, 2004). Por lo que, considerando estas dos variables, se podría afirmar que ML, MC y CPS son las formulaciones más susceptibles microbiológicamente. Aunque es importante mencionar que todas las formulaciones tuvieron un  $a_w$  entre 0,87 y 0,92, lo que las hace susceptibles a mohos, levaduras y algunas bacterias (Smith *et al.*, 2004). Esto repercute sobre la vida de anaquel de los quequitos; en este sentido, se esperaría que las formulaciones HA, WPC y SC tengan una vida de anaquel similar a H.

Considerando que las formulaciones de este estudio inicialmente contenían cantidades de agua diferente (como se aclaró en la Sección 4.4.), era de esperarse diferencias en el  $a_w$  y contenido de humedad de estas; además, Purlis (2014) explica que, durante el horneado, la temperatura de la miga no excede los 100 °C, por lo que no se produce deshidratación, como sí ocurre en la corteza. Se destaca que los contenidos de humedad en las diferentes formulaciones estuvieron dentro de un rango de 18 y 30%, algo considerado normal en los queques, al ser alimentos de humedad intermedia (Cauvain, 2016).

En cuanto al volumen específico, como se puede ver en la Figura 9C, todas las formulaciones con sustitutos de huevo presentaron valores menores y estadísticamente diferentes de H ( $p \leq 0,05$ ). Hedayati y Tehrani (2018) indican que, cuando la masa para queques se calienta, las burbujas de aire atrapadas en esta se expanden y permiten un aumento en el volumen de los queques. En este sentido, las proteínas del huevo actúan como agentes estabilizantes de dichas burbujas al momento del horneado de los quequitos (Wilderjans *et al.*, 2013) y esto explica las diferencias significativas entre la formulación control y las formulaciones con sustitutos de huevo. Al mismo tiempo, demuestra la dificultad de sustituir esta función del huevo en los queques.

Es interesante indicar que la secuencia de volumen específico es inversa a la de contenido de humedad y  $a_w$ ; es decir, a mayor humedad menor volumen

específico. Con respecto a los quequitos con CPS, Busken (2013) menciona que la proteína de soya, debido a su alta capacidad de retención de agua, produce una miga muy densa o una miga con paredes muy gruesas y húmedas, lo que también contribuye a la alta humedad y bajo volumen de los quequitos con este sustituto.

Se destaca que WPC, HA y SC fueron las formulaciones más cercanas a H en este parámetro, sin diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre ellas. Algunos estudios en queques resaltan el potencial de la proteína de suero lácteo de favorecer el volumen específico de los queques; por ejemplo, Jyotsna *et al.* (2007) reportan que el WPC 65 favorece el volumen específico de los queques, al disminuir la densidad de la masa e incrementar el número de burbujas de aire en esta. Por otro lado, Díaz-Ramírez *et al.* (2016), quienes evaluaron la sustitución parcial y total de clara de huevo en queques utilizando aislado de proteína de suero lácteo 89 (11% p/v), encontraron que esta proteína favorece el volumen específico de los queques, hasta una sustitución parcial del 25%. Estos investigadores también observaron que en una sustitución del 100% el volumen específico de los queques resultó estadísticamente menor que el control. En el caso del presente estudio se trabajó con sustituciones del 100%. Además, es probable que el volumen específico de los quequitos con WPC se haya visto disminuido debido a la baja viscosidad de la masa (Figura 6) que, probablemente, fue incapaz de retener las burbujas de aire durante el horneado (Ronda *et al.*, 2011), como se explicó en la Sección 5.2.1., y que coincide con lo explicado por Díaz-Ramírez *et al.* (2016).

Las buenas características en el volumen específico de los quequitos con HA y SC, probablemente se deben a la presencia de hidrocoloides, que se describen como aditivos que ayudan a mejorar la calidad de los productos de panificación (Kohajdová *et al.*, 2009). Específicamente, a la goma xantán, presente en HA, se le atribuye la capacidad de incorporar y retener las burbujas de aire dentro de la masa para queques, lo que favorece el volumen específico de estos (Kohajdová *et al.*, 2009; Palav, 2015).

Por su parte, los quequitos elaborados con ML y MC fueron los de menor volumen específico, lo que evidencia la incapacidad de estos dos mucílagos (en las concentraciones y el método de extracción utilizados) de retener las burbujas de aire durante el proceso de horneado, e igualmente, se relaciona con la menor viscosidad de las masas (Figura 6).

Por otro lado, con respecto a lo expuesto en la Sección 5.2. sobre el CPS y, como se puede ver en la Figura 9C, la alta viscosidad de la masa con CPS podría haber afectado el volumen específico de los quequitos. Este efecto de la proteína de soya se ha reportado por otros autores. En un estudio realizado por Hedayati y Tehrani (2018), quienes utilizaron leche de soya como sustituto de huevo, se reportó una disminución indeseable en el volumen de los queques que se atribuyó al aumento en la viscosidad de la masa que produce este sustituto, lo que restringe la expansión de las burbujas de aire durante el horneado. Otro estudio realizado por Agrahar-Murugkar *et al.* (2016), quienes utilizaron leche de soya como sustituto de huevo, también reportó este efecto en queques.

### 5.3.2. Color

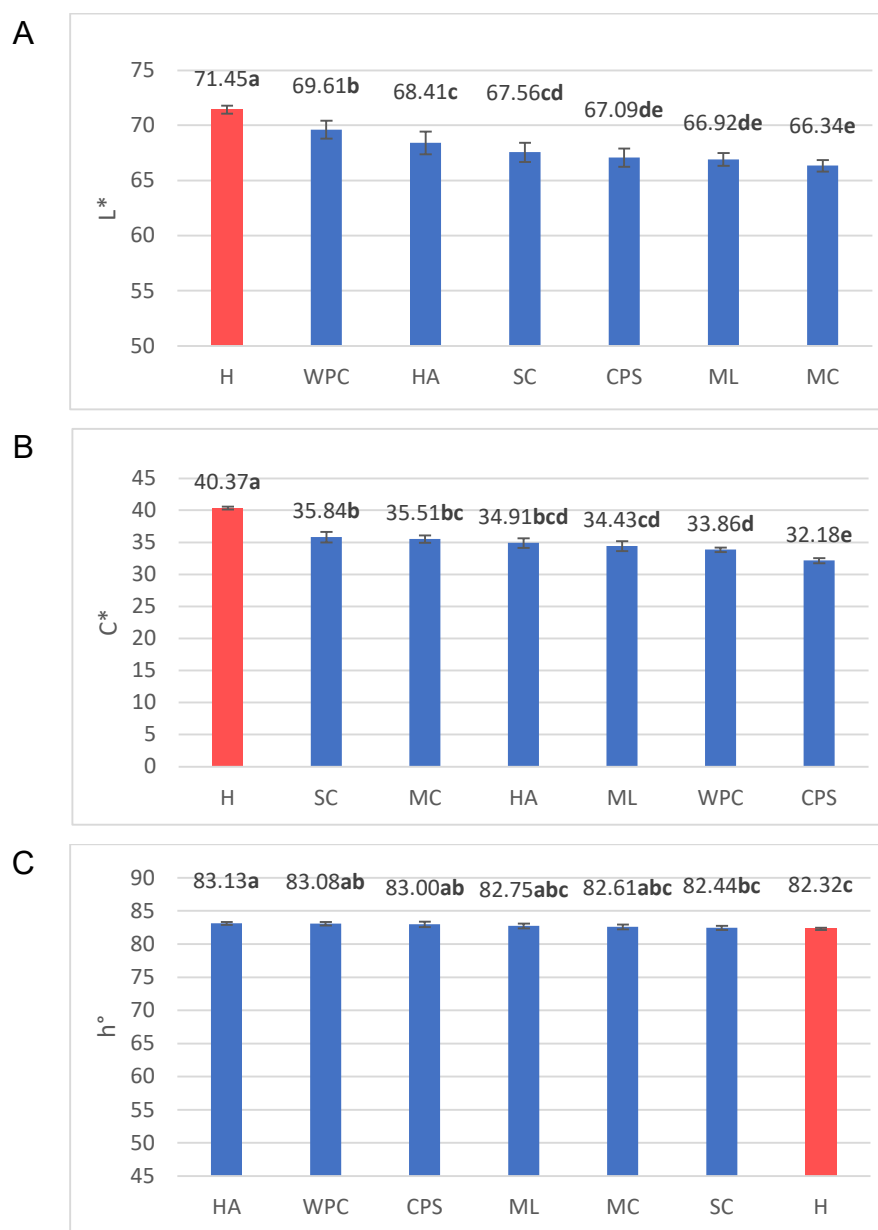
Los resultados del análisis de varianza de los parámetros de color ( $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^\circ$ ) de los quequitos se muestran en el Cuadro 13. En todos los casos hubo diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre las formulaciones y en los lotes de producción. Las diferencias entre lotes eran de esperarse debido a fuentes de variación no controladas, mencionadas anteriormente.

**Cuadro 13.** Análisis de varianza de los parámetros de color ( $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^\circ$ ) de los quequitos.

Fuente	g.l.*	Probabilidad asociada		
		$L^*$	$C^*$	$h^\circ$
Formulación	6	<0,0001	<0,0001	0,0007
Lote	2	<0,0001	<0,0001	0,0255

\*g.l. = grados de libertad.

Los resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey para los tres parámetros de color ( $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^\circ$ ) se muestran en la Figura 10.



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

**Figura 10.** Medias de los parámetros de color (A)  $L^*$ , (B)  $C^*$  y (C)  $h^\circ$  de los quequitos. Formulación con huevo (H), Mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán (HA), Sustituto comercial "NO EGG" (SC), Concentrado de proteína de suero lácteo (WPC), Concentrado de proteína de soya (CPS), Mucílago de linaza (ML) y Mucílago de chía (MC).

Según los resultados de la Figura 10, los quequitos de la formulación H presentaron los valores más altos en luminosidad. En cuanto a los quequitos con sustitutos de huevo, la formulación con WPC fue la más cercana a H en este parámetro, aunque estadísticamente diferente ( $p \leq 0,05$ ). Por su parte, las formulaciones con CPS, ML y MC resultaron ser las más oscuras, sin diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre ellas. La disminución en  $L^*$  al adicionar proteínas de suero lácteo y soya se ha observado en otros estudios con pan (Zhou, Liu y Tang, 2018) y queques (Majzoubi *et al.*, 2013; Abu-Ghoush *et al.*, 2010). De igual manera, al utilizar otros sustitutos de huevo, se ha observado este efecto. Un ejemplo de ello es el estudio realizado por Agrahar-Murugkar *et al.* (2016), quienes evaluaron banana, chía y leche de soya en polvo, y encontraron que, en todos los casos, la luminosidad fue estadísticamente menor en los queques con sustitutos en comparación con el control. Los autores concluyen en su estudio que los sustitutos de huevo probablemente son los responsables de la disminución en la luminosidad, debido a que otros factores, como la reacción de Maillard, podrían no tener un efecto sobre el color de la miga, ya que esta no alcanza temperaturas superiores a  $100^\circ\text{C}$  durante el horneado (Purlis, 2014). Por lo que el color de la miga podría ser resultado de los colores de las materias primas y sus interacciones (Agrahar-Murugkar *et al.*, 2016).

En el parámetro chroma, los quequitos de la formulación H presentaron los valores más altos, lo que coincide con los resultados obtenidos en las masas (Figura 7B); es decir, el huevo proporciona una mayor pureza, tanto al color de la masa como a la miga de los quequitos, en comparación con los sustitutos. En este caso, los quequitos con SC, MC y HA presentaron los valores más cercanos a H, sin diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre ellos. Mientras que los quequitos con WPC y CPS presentaron los valores más bajos en este parámetro. Este efecto de las proteínas de suero lácteo y soya se observó al calcular el chroma de los resultados obtenidos en el estudio de Hedayati y Tehrani (2018), quienes sustituyeron el huevo por leche de soya en queques, obteniéndose valores de



chroma de 38,28 en el caso del control con huevo y 20,30 en el caso de la formulación sustituida. Por otro lado, en el estudio realizado por Shao *et al.* (2015), que trabajaron con WPC y emulsificantes como sustitutos de huevo, se obtuvieron valores de chroma de 22,15 para el control y 11,69 en la formulación sustituida.

Por otro lado, en el ángulo  $h^\circ$ , ML, MC y SC no presentaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) con respecto a H. Mientras que HA, WPC y CPS fueron estadísticamente diferentes de H ( $p \leq 0,05$ ). Sin embargo, es importante mencionar que las diferencias en  $h^\circ$  entre todas las formulaciones son muy pequeñas para que puedan ser notadas y el valor de  $h^\circ$  de todas las formulaciones estuvo dentro del rango del color amarillo, es decir un ángulo hue entre  $70$  y  $105^\circ$  (Roy-Choudhury, 2014b).

Adicionalmente, se calculó la diferencia de color  $\Delta E^*$  para identificar si entre los quequitos con huevo y con sustitutos de huevo había cambios de color perceptibles por el ojo humano. Los resultados se muestran en el Cuadro 14 e indican que, en todos los casos, la diferencia es perceptible pues  $\Delta E^* > 5$  (Obón *et al.*, 2009). Lo que requeriría de esfuerzos en información durante la comercialización de este tipo de productos, para que no sean rechazados por el consumidor.

**Cuadro 14.** Diferencias de color en la miga de los quequitos con sustitutos de huevo en comparación con el control (H).

Formulación	$\Delta E^*$
SC	5,97
HA	6,27
WPC	6,79
MC	7,06
ML	7,48
CPS	9,30

Las diferencias perceptibles entre queques con huevo y queques con sustituto de huevo se pueden calcular a partir de datos de otros estudios, obteniéndose altos valores de  $\Delta E^*$  al sustituir huevo en queques por leche de soya ( $\Delta E^*=20,85$ ) (Hedayati y Tehrani, 2018), leche de soya en polvo ( $\Delta E^*=9,99$ ) (Agrahar-Murugkar *et al.*, 2016), semillas de chía en polvo ( $\Delta E^*=10,76$ ) (Agrahar-Murugkar *et al.*, 2016) y WPC ( $\Delta E^*=10,47$ ) (Shao *et al.*, 2015).

### 5.3.3. Análisis del perfil de Textura

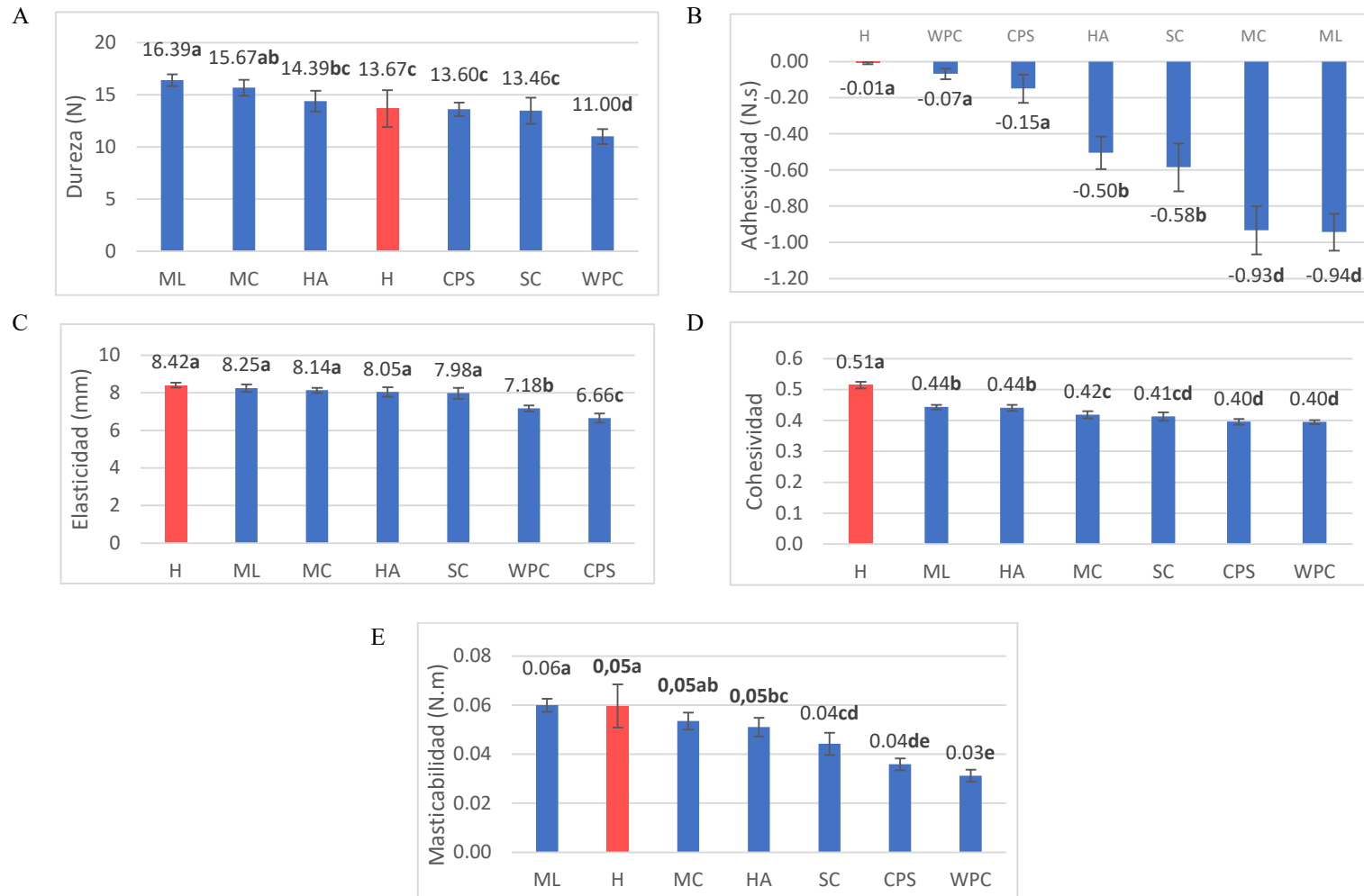
En el Cuadro 15 se muestran los resultados del análisis de varianza de la dureza (D), elasticidad (E), cohesividad (C), adhesividad (Ad) y masticabilidad (M) de los quequitos. Hubo diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre las diferentes formulaciones en todos los parámetros de textura. En los lotes de producción, hubo diferencias significativas en la dureza, adhesividad y masticabilidad de los quequitos, mientras que la elasticidad y la cohesividad resultaron no significativos ( $p > 0,05$ ).

**Cuadro 15.** Análisis de varianza de los parámetros del perfil de textura de los quequitos.

Fuente	g.l.	Probabilidad asociada				
		D	Ad	E	C	M
Formulación	6	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Lote	2	<0,0001	0,0090	0,1821	0,1883	<0,0001

D = dureza, Ad = adhesividad, E = elasticidad, C = cohesividad, M = masticabilidad, g.l. =grados de libertad.

Los resultados de la prueba de comparación de medias para todos los parámetros del perfil de textura se observan en la Figura 11.



Nota: se presentan los promedios  $\pm$  I.C. al 95%. Entre promedios con letra diferente existe diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ).

**Figura 11.** Medias de los parámetros de textura de los quequitos. (A) Dureza, (B) Adhesividad, (C) Elasticidad, (D) Cohesividad y (E) Masticabilidad. Formulación con huevo (H), Mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán (HA), Sustituto comercial “NO EGG” (SC), Concentrado de proteína de suero lácteo (WPC), Concentrado de proteína de soya (CPS), Mucílago de linaza (ML) y Mucílago de chía (MC).

Al sustituir el huevo por ML y MC se observó un aumento de la dureza de los quequitos. Este efecto también se ha observado al sustituir la grasa por MC en queques (Fernandes y Salas-Mellado, 2017; Felisberto *et al.*, 2015). Por su parte, HA, CPS y SC lograron simular la dureza de la formulación H ( $p>0,05$ ). Mientras que los quequitos de la formulación con WPC resultaron ser los menos duros, es decir, más blandos y suaves. Ratnayake *et al.* (2012) reportan un efecto similar al de este estudio, utilizando WPC 35 como sustituto de huevo en queques. Por otro lado, Kohrs, Herald, Aramouni y Abughoush (2010) observaron un aumento en la dureza de queques libres de huevo utilizando aislado de proteína de suero lácteo como sustituto. Probablemente, si se aumenta la cantidad de proteína (WPC o CPS) se pueda simular la dureza de un queque con huevo; sin embargo, una mayor cantidad de proteína puede afectar el sabor del producto (Majzoubi *et al.*, 2013).

La adhesividad se asocia con el trabajo necesario para separar los quequitos del cilindro durante la prueba de análisis de textura (Liu, Cao y Liu, 2019). En este caso, como se observa en la Figura 11B, al sustituir el huevo por ML y MC el resultado son quequitos con alta adhesividad en comparación con la formulación H; esto probablemente se debe a la capacidad de los hidrocoloides de impartir adhesividad (Saha y Bhattacharya, 2010).

La formulación H presentó la menor adhesividad, junto a las formulaciones con WPC y CPS, sin diferencias significativas ( $p>0,05$ ). Este efecto de la proteína de suero lácteo también se reportó por Chan-Hee y Myung-Soo (2007), quienes evaluaron la sustitución parcial de huevo en queques utilizando diferentes concentraciones de aislado de proteína de suero lácteo e indicaron que, a mayor contenido de esta proteína, se observó menor adhesividad en los queques. Por otro lado, la formulación HA logró simular la adhesividad del SC ( $p>0,05$ ).

La elasticidad revela la capacidad de los quequitos para recuperar su altura entre el final de la primera compresión y el inicio la segunda. Se considera un atributo de calidad muy importante en los quequitos y productos similares, porque

está asociada con la frescura y la estructura aireada de estos (Liu *et al.*, 2019). En este parámetro se obtuvo una respuesta positiva en las formulaciones con ML, MC, HA y SC, las cuales no resultaron diferentes de H ( $p > 0,05$ ). Por otro lado, WPC y CPS tuvieron una elasticidad menor que la generada por el huevo en los quequitos, tal y como se ha reportado en otros estudios. Por ejemplo, el de Kohrs *et al.* (2010), quienes trabajaron con aislado de proteína de suero lácteo, y el de Lin *et al.* (2017), que también reportan una disminución en la elasticidad de queques cuando se sustituye el huevo por aislado de proteína de soya; Majzoobi *et al.* (2013) también observaron este efecto en queques esponjados. Según Lin *et al.* (2017), la elasticidad de los queques está asociada con la agregación de las proteínas en la miga, por lo que la diferencia estructural de las proteínas de WPC y CPS con respecto al huevo podría haber afectado la elasticidad de los queques.

La cohesividad es otro atributo importante de los quequitos e indica el grado de compresión que soportan antes de desmigajarse (Szczesniak, 2002; Liu *et al.* 2019). En este caso, todas las formulaciones con sustitutos de huevo presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) con respecto a H. Los quequitos de la formulación H resultaron ser los más cohesivos, es decir, más resistente a desmigajarse. Esto se podría relacionar con la función estructural de las proteínas del huevo, las cuales, al desnaturalizarse, contribuyen en el desarrollo de la estructura de los queques (Palav, 2015). Además, las reacciones e interacciones entre las proteínas del huevo y el gluten dan como resultado la formación de una red mixta de proteínas que posiblemente también contribuye a la estructura de los queques (Wilderjans *et al.*, 2013).

Se destaca que los quequitos con ML y HA, aunque resultaron estadísticamente diferentes a H, fueron los más cercanos a H en este parámetro. Por otro lado, el CPS y el WPC, pese a su contenido proteico, al parecer formaron geles poco cohesivos en comparación con H. Este efecto de las proteínas de suero lácteo y soya se ha reportado en otros estudios. Por ejemplo, Majzoobi *et al.* (2013), en su estudio con queques esponjados, reportan una disminución en la cohesividad al adicionar aislado de proteína de soya, y Ratnayake *et al.* (2012)

reportan este mismo efecto al utilizar WPC 35 como sustituto de huevo en queques.

Finalmente, en el parámetro masticabilidad, los quequitos con ML y MC lograron simular la masticabilidad de los quequitos de la formulación H, sin diferencias significativas ( $p>0,05$ ) entre estos, lo que probablemente se debe a la alta elasticidad que presentaron (Figura 11E). La masticabilidad de los quequitos se asocia con la energía necesaria para masticarlos hasta un estado que permita su ingesta (Torres *et al.*, 2015; Chacón-Villalobos y Pineda-Castro, 2009). En este sentido, los quequitos que requieren más esfuerzo para ser ingeridos fueron los de las formulaciones H, ML y MC. Por su parte, los quequitos que contienen CPS y WPC presentaron los valores más bajos de masticabilidad, lo que, a su vez, se podría relacionar con los valores bajos de cohesividad que lograron estas dos formulaciones. Es decir, al formar geles poco cohesivos, es más fácil que se rompa su estructura y, por ende, se requiere menos energía para ingerirlos. Este efecto de las proteínas de suero lácteo y soya se ha reportado en otros estudios. Por ejemplo, el caso de Majzoobi *et al.* (2013), quienes en su estudio con queques esponjados reportan una disminución en la masticabilidad al adicionar aislado de proteína de soya. En cuanto a la proteína de suero lácteo, se reporta este mismo efecto en el estudio realizado por Shao *et al.* (2015), quienes evaluaron WPC en queques libres de huevo. Por otro lado, un estudio realizado por Paraskevopoulou *et al.* (2015) reporta un efecto contrario utilizando aislado de proteína de suero lácteo al 20% m/v en queques, por lo que el efecto de dicha proteína sobre la masticabilidad también podría depender de la concentración utilizada.

#### **5.3.4. Agrado general de los quequitos**

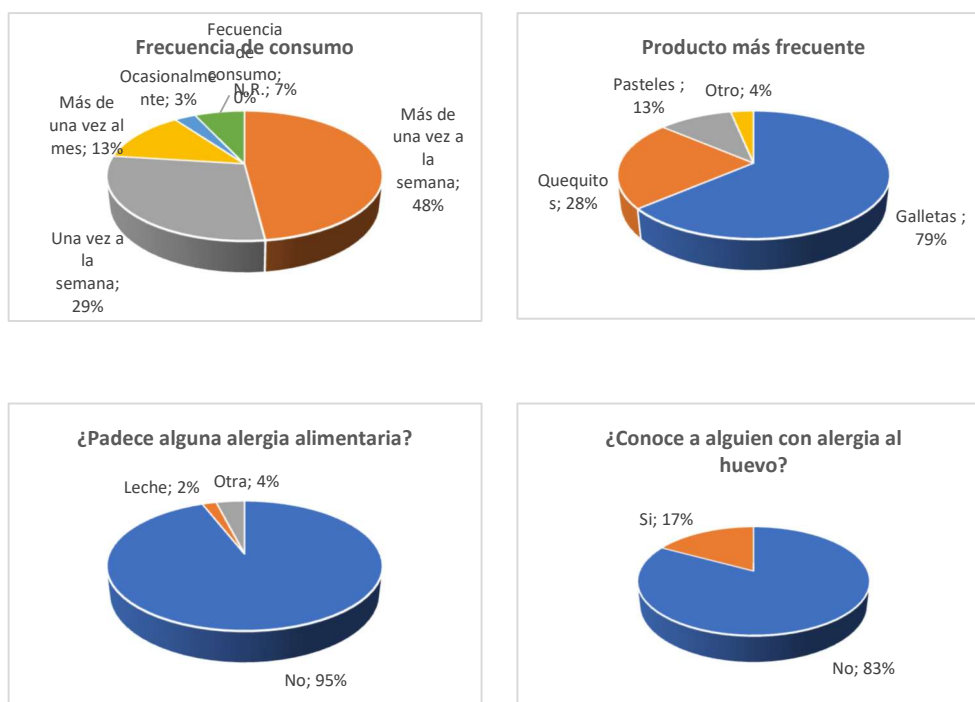
##### **5.3.4.1. Información de los consumidores**

La prueba de agrado general se realizó con 112 consumidores, de los cuales el 66,1% fueron mujeres, 30,4% hombres y 3,6% no respondieron (N.R.). El grupo estuvo conformado por estudiantes (82,1%), profesionales (9,8%) y otros (8,0%). El 74,1% de los panelistas tenían edades entre 17 y 25 años, el 14,3%

entre 26 y 34, el 1,8% entre 35 y 43 años, 7,1% fueron mayores de 44 años y 2,7% N.R.

En cuanto al lugar de residencia de los panelistas, la mayoría reside en la provincia de San José (56,3%); los demás se distribuyeron en Heredia (18,8%), Cartago (13,4%), Alajuela (8,0%), Puntarenas (0,9%) y 2,7% N.R.

La Figura 12, muestra la información relacionada con hábitos de alimentación y alergias alimentarias, donde se observa que la mayoría de las personas encuestadas consumen productos de repostería dulce más de una vez a la semana (48%) o una vez a la semana (29%) y, a su vez, los productos más consumidos son galletas (79%) y quequitos (28%).





**Figura 12.** Frecuencias porcentuales de los resultados de la encuesta.

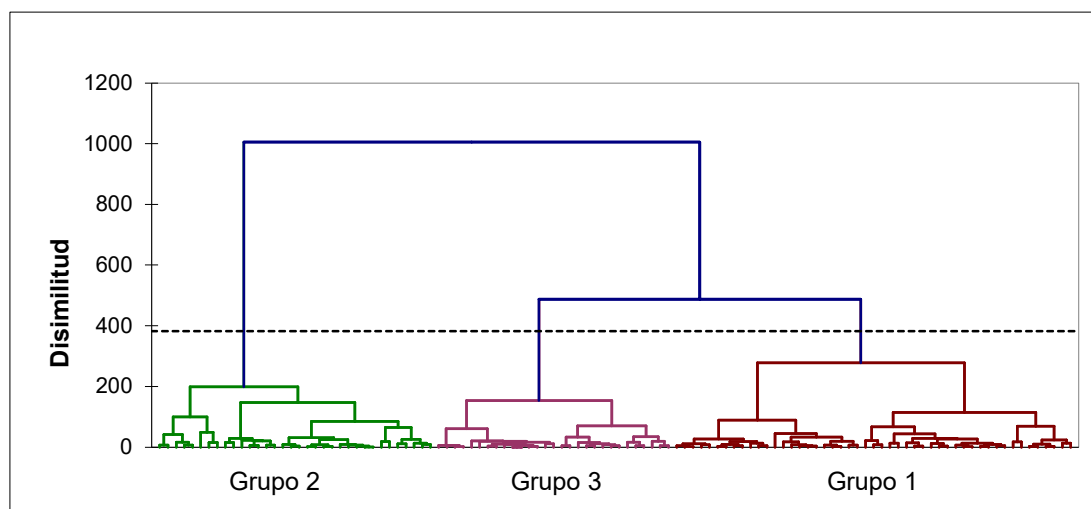
A los encuestados se les preguntó si padecen alguna alergia alimentaria. La mayoría indicó que no (95%); no obstante, sí se presentaron casos de personas alérgicas a la leche y otros alimentos.

Con respecto a la alergia al huevo, el 17% de los panelistas indicaron que conocen a alguien que padece esta alergia. Lo que da indicios sobre la necesidad de sustitutos de huevo y productos de panificación libres de huevo. Y, en este sentido, el 8% de los encuestados indicaron que han visto sustitutos de huevo en el mercado, dentro de los cuales mencionaron productos veganos y mezcla para queques libres de huevo.

#### **5.3.4.2. Análisis del estudio de agrado general de los quequitos**

A los resultados obtenidos del panel de agrado general, se les hizo un análisis de conglomerados, cuyo dendograma se presenta en la Figura 13. Del análisis se obtuvieron 3 grupos: el grupo 1 estuvo conformado por 49 consumidores, que representa el 43,75% del total, siendo éste, el grupo más grande. Los grupos 2 y 3 estuvieron conformado por 34 (30,36% del total) y 29 (26% del total) consumidores, respectivamente.





**Figura 13.** Análisis de conglomerados de la prueba de agrado general de los quequitos de las diferentes formulaciones.

A cada uno de los conglomerados de la Figura 13 se les hizo un análisis de varianza. Los resultados se muestran en el Cuadro 16 e indican que hay diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre los jueces que componen cada grupo y que los consumidores de los tres grupos presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) en el agrado entre las diferentes formulaciones de quequitos.

**Cuadro 16.** 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.*	p**	g.l.*	p**	g.l.*	p**
Juez	48	0,000	33	0,008	28	0,000
Formulación	6	<0,0001	6	<0,0001	6	<0,0001

\*g.l. = grados de libertad, \*\*p= probabilidad asociada.

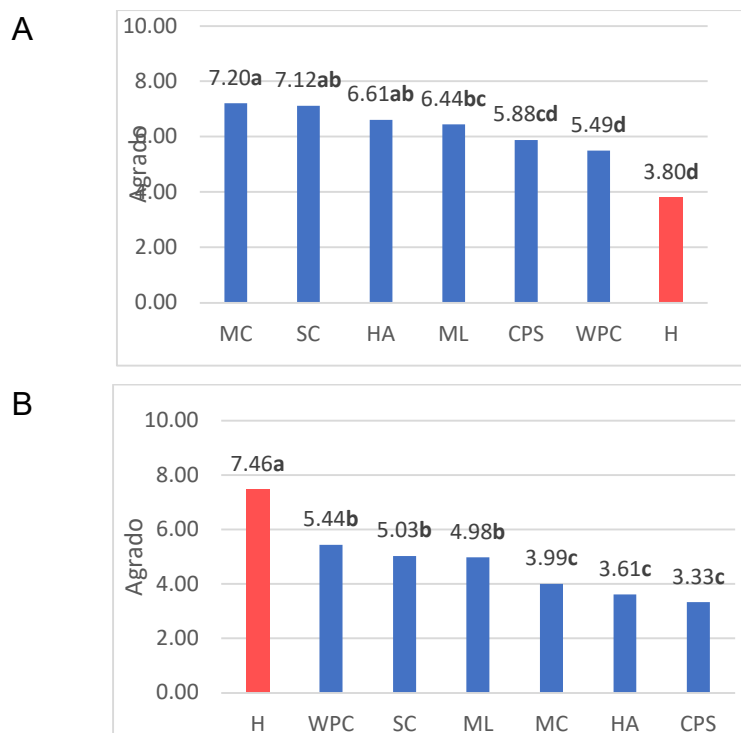
En la Figura 14 se muestran los resultados de la prueba de comparación de medias de Fisher LSD para los tres grupos de consumidores.

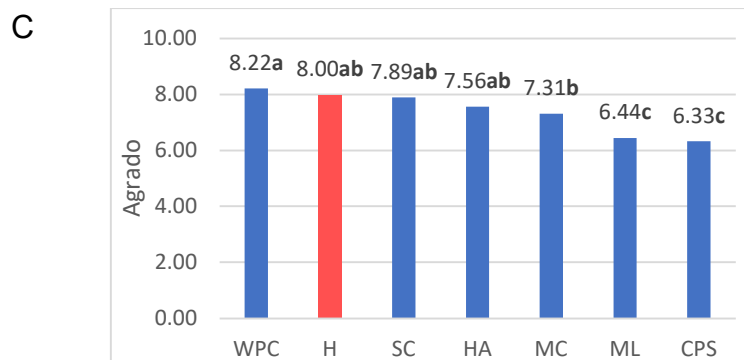
En el grupo 1 los consumidores indicaron que no les agradaron los quequitos con huevo (H) y mostraron preferencia por los quequitos con MC, SC y

HA, los cuales tienen valores altos de adhesividad e intermedios de dureza, elasticidad y masticabilidad (Figura 11).

En el grupo 2 sucede lo contrario al grupo 1. Los consumidores prefieren los quequitos con huevo sobre los que contiene sustitutos. En este caso, las formulaciones WPC, SC y ML se encontraron en el nivel “ni me agrada, ni me desagrada”, mientras que las formulaciones MC, HA y CPS no les gustó.

En el grupo 3 los consumidores manifestaron agrado por todos los quequitos, en especial aquellos que contienen WPC, H, SC y HA, los cuales presentaron valores menores de  $a_w$  (Figura 9A), dureza y adhesividad (Figuras 11A y 11B) que la mayoría de los productos menos agradables.





Nota: entre promedios con letra diferente existe diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ).

**Figura 14.** Medias del agrado de los quequitos en los grupos (A) 1, (B) 2 y (C) 3. Formulación con huevo (H), Mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán (HA), Sustituto comercial “NO EGG” (SC), Concentrado de proteína de suero lácteo (WPC), Concentrado de proteína de soya (CPS), Mucílago de linaza (ML) y Mucílago de chía (MC).

Con base en estos resultados se observa que, en lo que respecta a los productos sustituidos, la preferencia general de los consumidores se inclina hacia SC, MC y HA. Tomando en cuenta los resultados de las pruebas fisicoquímicas y de textura, explicadas en las Secciones 5.3.1., 5.3.2. y 5.3.3., se consideró descartar MC debido que presentó muy bajo volumen específico (Figura 9C). Se escogió HA como mejor sustituto, debido a que se acercó a H en más parámetros que SC. Dichos parámetros son: densidad relativa de las masas, en que HA no fue diferente de H, y el color de las masas y cohesividad de los quequitos, en que los valores de HA se acercaron más a los de H. Los valores de volumen específico,  $L^*$ , adhesividad y masticabilidad de los quequitos HA estuvieron más cerca de los valores de H, aunque no hubo diferencias entre HA y SC. En elasticidad de los quequitos no hubo diferencia entre las tres formulaciones (H, HA y SC), y en  $a_w$  y dureza de los quequitos no hubo diferencia entre los valores de H y los valores de HA y SC, aunque HA y SC sí resultaron diferentes entre sí. Además, se considera importante mencionar que SC y HA ejercieron un efecto similar al huevo en el amilograma de la harina de trigo (Anexo B).

#### 5.4. Efecto del aireado adicional y la incorporación de lecitina de soya sobre las propiedades físicas de un quequito libre de huevo

Como resultado del estudio anterior (Sección 5.3.), la mezcla de harinas (HA) resultó ser el sustituto de huevo que generó las mejores características en los quequitos. Por lo que se procedió a evaluar el efecto del aireado adicional y la incorporación de lecitina de soya sobre el color, volumen específico y perfil de textura instrumental de los quequitos con dicho sustituto.

##### 5.4.1. Color y volumen específico

Los resultados del análisis de varianza de los parámetros de color ( $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^\circ$ ) y volumen específico de los quequitos se muestran en el Cuadro 17. En todos los casos, hubo diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre los tratamientos y lotes de producción. Las diferencias entre lotes eran de esperarse, debido a fuentes de variación no controladas, como el clima y la variabilidad en la materia prima, ya que los lotes de producción se procesaron en diferentes días.

**Cuadro 17.** Análisis de varianza de los parámetros de color ( $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^\circ$ ) de los quequitos.

Fuente	g.l.*	Probabilidad asociada			
		$L^*$	$C^*$	$h^\circ$	VE**
Tratamiento	3	<0,0001	0,0068	<0,0001	<0,0001
Lote	2	0,0005	<0,0001	<0,0001	<0,0001

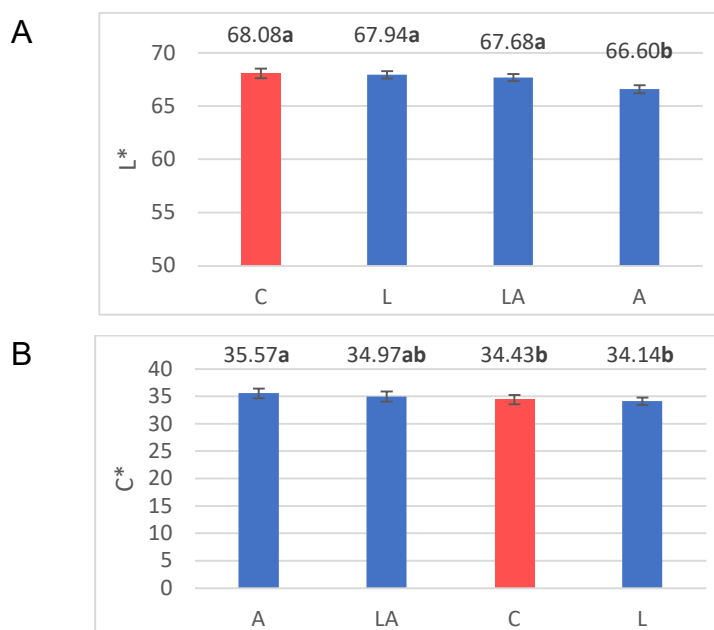
\*g.l. = grados de libertad, \*\*VE = volumen específico.

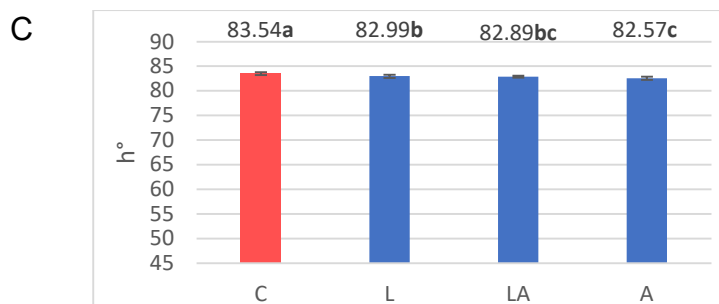
En el caso del color, se encontraron pocos estudios que evalúen el efecto del aireado adicional o la utilización de lecitina en queques, y muy pocos evalúan parámetros de color.

Los resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey para los tres parámetros de color ( $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^\circ$ ) aparecen en la Figura 15. Se observó que la

adición de lecitina (L) y la combinación lecitina-aireado adicional (LA) no tuvieron un efecto significativo ( $p > 0,05$ ) sobre la luminosidad de los quequitos HA. Esto coincide con lo reportado por Hedayati y Tehrani (2018), quienes observaron que la lecitina de soya en bajas cantidades (hasta 3%) no tiene un efecto significativo sobre la luminosidad de queques que contienen leche de soya como sustituto de huevo. Por otro lado, se observó una disminución significativa ( $p \leq 0,05$ ) en la luminosidad de HA al aplicarle aireado adicional (A).

En el parámetro chroma, sucede algo similar; la adición de L y la combinación LA no tuvieron un efecto significativo sobre los quequitos. Esto coincide con lo observado al calcular el chroma en el estudio de Hedayati y Tehrani (2018), en el que la lecitina de soya utilizada entre 0 y 1% (con base en la harina) no afectó el chroma de los queques estudiados. En este caso, la formulación A resultó con saturación de color mayor que el control ( $p \leq 0,05$ ).





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

**Figura 15.** Medias de los parámetros de color ( $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^\circ$ ) de HA, sin aireado adicional y sin lecitina (C), con lecitina y aireado adicional (LA), solo con lecitina (L) y solo aireado adicional (A).

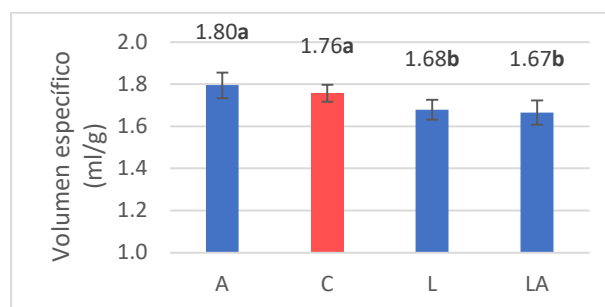
Por otro lado, se observó una disminución significativa ( $p \leq 0,05$ ) en  $h^\circ$  en los quequitos al adicionarles L y aplicarles A y la combinación de ambos (LA). En los resultados del estudio de Hedayati y Tehrani (2018), quienes evaluaron diferentes concentraciones de lecitina en queques con leche de soya como sustituto de huevo, se calculó el ángulo  $h^\circ$  y se observó que, a medida que aumenta la cantidad de lecitina, disminuye el  $h^\circ$  de los queques. Esto se debe probablemente al color café/rojizo de la lecitina, descrito como “color oscuro” por Van Nieuwenhuyzen y Tomás (2008).

Cabe resaltar que los quequitos de los cuatro tratamientos de este estudio, estuvieron dentro del rango del color amarillo, es decir un ángulo hue entre 70 y 105° (Roy-Choudhury, 2014b). De manera adicional se calculó la diferencia de color ( $\Delta E^*$ ) para identificar si el ojo humano podría ser capaz de percibir las diferencias encontradas (Cuadro 18), y se determinó que las diferencias en el color que generan la adición de L y LA no son perceptibles por el ojo humano ( $\Delta E^* < 1,5$ ) (Obón *et al.*, 2009). Por otro lado, los resultados indican que A puede alterar el color de los quequitos de tal manera que dicha diferencia podría ser perceptible, al obtenerse un  $\Delta E^* > 1,5$ .

**Cuadro 18.** Diferencias de color entre el control y los quequitos con/sin aireado adicional y/o lecitina.

Formulación	$\Delta E^*$
L	0,4509
LA	0,7680
A	1,9619

En cuanto al volumen específico de los quequitos, en la Figura 16 se observan los promedios de cada formulación y los resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey. La adición de L y LA provocaron una disminución significativa ( $p \leq 0,05$ ) en el volumen específico de los quequitos. Este efecto es contradictorio con lo reportado por Chan (2014), quien sugiere que la adición de lecitina favorece el volumen en productos de panificación libres de huevo. Este efecto también fue observado por Hedayati y Tehrani (2018), quienes evaluaron diferentes porcentajes de lecitina de soya en queques libres de huevo que contenían leche de soya como sustituto y reportan un aumento en el volumen de los queques debido a la lecitina de soya. Movahhed et al. (2016) también demostraron este efecto de la lecitina y otros emulsificantes en queques con WPC como sustituto de huevo. Por lo que es probable que el efecto negativo observado en este estudio se deba a la presentación comercial (líquida) y a la concentración baja de la lecitina utilizada. Por otro lado, la formulación A, por sí misma, no tuvo un efecto significativo ( $p > 0,05$ ) sobre el volumen específico de los quequitos, ya que no resultó diferente del control.



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

**Figura 16.** Medias del volumen específico de los quequitos HA, sin aireado adicional y sin lecitina (C), con lecitina y aireado adicional (LA), solo con lecitina (L) y solo aireado adicional (A).

### 5.4.2. Análisis del perfil de Textura

En el Cuadro 19 se muestran los resultados del análisis de varianza de la dureza, elasticidad, cohesividad, adhesividad y masticabilidad de los quequitos de la formulación HA, con y sin aireado adicional y/o adición de lecitina de soya. Hubo diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre los tratamientos en dureza, adhesividad, cohesividad y masticabilidad, mientras que el parámetro elasticidad resultó no significativo ( $p > 0,05$ ), con una elasticidad promedio de todos los tratamientos de 8,00 mm. En los lotes de producción hubo diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) en adhesividad, elasticidad y cohesividad de los quequitos, mientras que la dureza y la masticabilidad resultaron no significativas ( $p > 0,05$ ). Las diferencias entre lotes eran de esperarse, como se mencionó anteriormente.

**Cuadro 19.** Análisis de varianza de los parámetros del perfil de textura de los quequitos de la formulación HA con/sin aireado adicional y/o adición de lecitina de soya.

Fuente	g.l.	Probabilidad asociada				
		D	Ad	E	C	M
Tratamiento	3	<0,0001	0,0090	0,5719	<0,0001	<0,0001
Lote	2	0,8798	0,0010	0,0011	0,0204	0,5911

D = dureza, Ad = adhesividad, E = elasticidad, C = cohesividad, M = masticabilidad, g.l. = grados de libertad.

En la Figura 17 se observan los resultados de los parámetros del perfil de textura luego de aplicar una prueba de comparación de medias de Tukey.

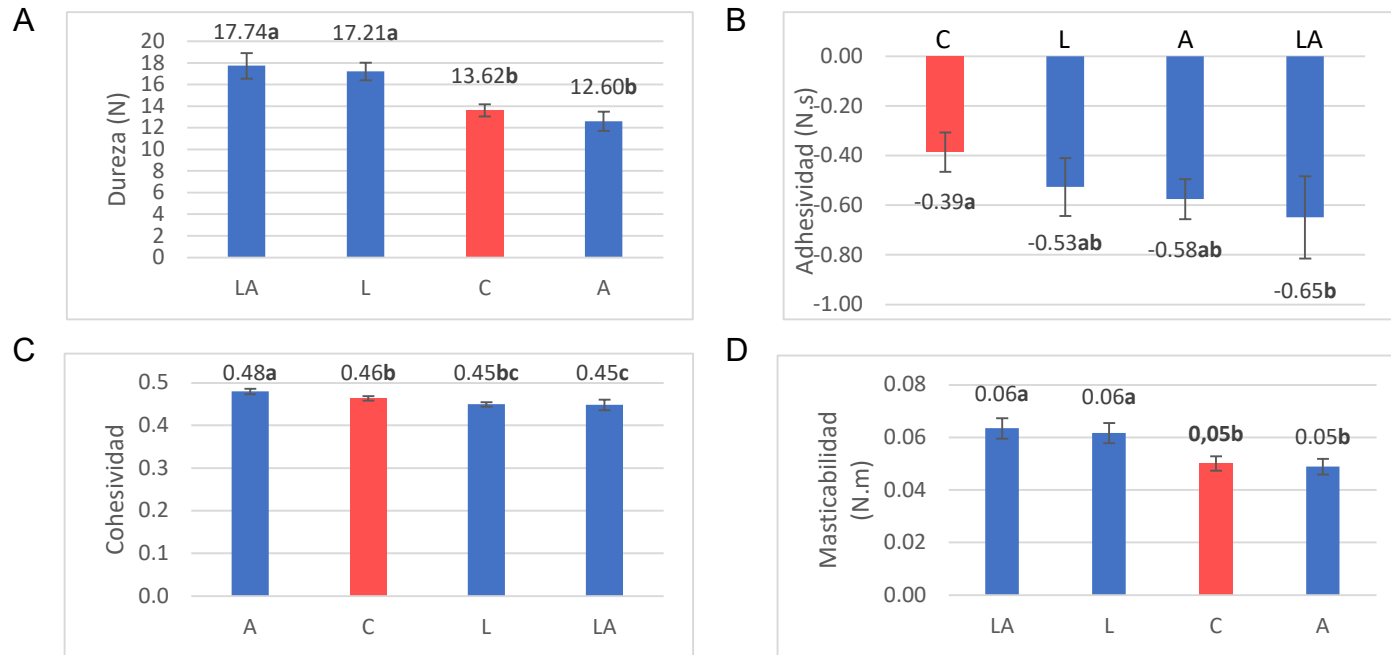
La adición de L y LA aumentó significativamente ( $p \leq 0,05$ ) la dureza de la formulación HA (Figura 17A), un efecto que resulta contradictorio con lo reportado por otros autores. Por ejemplo, Movahhed *et al.* (2016) evaluaron diferentes concentraciones de lecitina en queques libres de huevo y reportan una



disminución de la dureza de los queques, y Hedayati y Tehrani (2018) también observaron este efecto en su estudio con queques que contenían leche de soya como sustituto de huevo. Por su parte, A por sí mismo no tuvo un efecto significativo sobre la dureza de los quequitos, ya que no resultó estadísticamente diferente del control ( $p > 0,05$ ).

En el parámetro adhesividad, las formulaciones L y A ocasionaron un aumento no significativo ( $p > 0,05$ ) sobre los quequitos, mientras que la combinación LA provocó un incremento en la adhesividad, que resultó estadísticamente diferente del control ( $p \leq 0,05$ ). Estos resultados son contradictorios porque Tiefenbacher (2017) indica que la lecitina reduce la humedad superficial después del horneado, lo que correlaciona con una reducción de la capacidad de adhesión.

En el parámetro cohesividad, la adición de L no tuvo un efecto significativo en los quequitos, se observó una disminución con la combinación LA, mientras que A por sí mismo aumentó la cohesividad en comparación con el control, lo que podría generar que se invierta más energía para masticar el quequito con aireado adicional.



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

**Figura 17.** Medias de los parámetros de textura de los quequitos de la formulación HA, sin aireado adicional y sin lecitina (C), con lecitina y aireado adicional (LA), solo con lecitina (L) y solo aireado adicional (A). Parámetros: (A) Dureza, (B) Adhesividad, (C) Cohesividad y (D) Masticabilidad.

Finalmente, la adición de L tuvo un efecto significativo ( $p \leq 0,05$ ) en la masticabilidad de los quequitos, de manera que provoca que se requiera más esfuerzo para masticarlos hasta su ingesta. Un efecto contrario fue reportado por Hedayati y Tehrani (2018), quienes observaron una disminución en la masticabilidad de queques con leche de soya como sustituto de huevo, sobre los que se evaluaron diferentes porcentajes de lecitina de soya. Por otro lado, A no tuvo un efecto significativo ( $p > 0,05$ ) en este parámetro.

En el caso de la textura, se encontraron pocos estudios que evalúen el efecto del aireado adicional o la utilización de lecitina sobre los parámetros del perfil de textura instrumental de los queques. Y, al parecer los resultados dependen mucho de los ingredientes utilizados en cada formulación, lo que explicaría las contradicciones encontradas.

## 5.5. Estudio de almacenamiento

### 5.5.1. $a_w$ , humedad y volumen específico

En el Cuadro 20 se observan los resultados del análisis de varianza del  $a_w$ , porcentaje de humedad y volumen específico de los quequitos; hubo diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre las formulaciones HA y H en las tres variables durante el almacenamiento. El  $a_w$  y el porcentaje de humedad de los quequitos mostraron cambios significativos ( $p \leq 0,05$ ) en el tiempo de almacenamiento, mientras que en el volumen específico no hubo efecto significativo ( $p > 0,05$ ) del tiempo. Por otro lado, la interacción entre formulación\*día no fue significativa ( $p > 0,05$ ) para ninguno de los parámetros. En cuanto al efecto "lote", hubo diferencias significativas en los lotes de producción para las tres variables; como se discutió en las secciones anteriores de este trabajo, esto era de esperarse debido a otras fuentes de variación.

**Cuadro 20.** Análisis de varianza del  $a_w$ , humedad y volumen específico de los quequitos durante el almacenamiento.

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

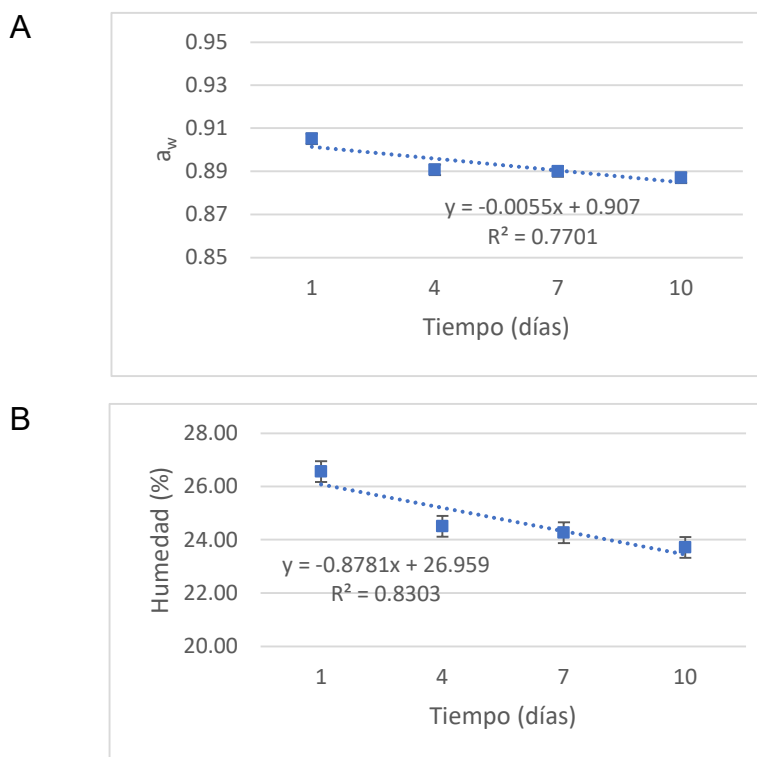
\*g.l. = grados de libertad.

En el Cuadro 21 se muestran los promedios del  $a_w$ , porcentaje de humedad y volumen específico de los quequitos y en la Figura 18 se observa el comportamiento del  $a_w$  y porcentaje de humedad durante el tiempo de almacenamiento. En el  $a_w$ , HA presentó valores más altos que H y en ambas formulaciones el  $a_w$  disminuyó de manera significativa ( $p \leq 0,05$ ) en el tiempo (Figura 18A). En el contenido de humedad de los quequitos se observó la misma tendencia, algo que era de esperarse, ya que, como menciona Cauvain (2016), a

medida que aumenta o disminuye el contenido de humedad de un alimento, de igual forma aumenta o disminuye el  $a_w$ .

**Cuadro 21.** Promedios del  $a_w$ , humedad y volumen específico de los quequitos durante el almacenamiento.

Formulación	Día	$a_w$	Humedad	Volumen específico
H	1	0,90±0,00	25,60±0,62	2,06±0,01
	4	0,89±0,00	23,25±0,47	
	7	0,88±0,00	22,95±0,18	
	10	0,88±0,00	22,47±0,11	
HA	1	0,91±0,00	27,52±0,31	1,80±0,02
	4	0,90±0,00	25,77±0,26	
	7	0,90±0,00	25,59±0,37	
	10	0,89±0,00	24,96±0,24	



Nota: se presentan los promedios  $\pm$  I.C. al 95%.

**Figura 18.** Efecto del tiempo de almacenamiento sobre el (A)  $a_w$  y (B) porcentaje de humedad de los quequitos con huevo (H) y con mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán (HA).

La disminución del  $a_w$  y contenido de humedad de los quequitos analizados en este estudio se relaciona con lo descrito por Giannou *et al.* (2014), Jideani (2019) y Ooms, Pareyt, Brijs y Delcour (2016), quienes explican que en los productos de panadería se produce pérdida de humedad debido a la migración de agua de la miga hacia la corteza y de la corteza al exterior, lo que provoca que el pan o queque se vuelva seco y duro. Ooms *et al.* (2016) amplían este concepto y explican que se produce una redistribución del agua entre el gluten y el almidón durante el almacenamiento; de tal forma que la retrogradación del almidón provoca la extracción del agua presente en la red de gluten.

De igual manera, otros autores han reportado un comportamiento similar en el contenido de humedad de pan y queques en el almacenamiento. Por ejemplo, He y Hoseney (1990) evaluaron pan durante almacenamiento a largo plazo y Luyts *et al.* (2013) trabajaron con queques y reportan una tendencia descendente en el contenido de humedad de la miga de estos.

Otro aspecto a considerar en los resultados de la Figura 18 es el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de la línea de mejor ajuste de las variables respuesta. Se considera que el  $R^2$  es la proporción de la variación total de la variable respuesta que es explicada por el modelo de regresión, y valores cercanos a 1 implican que la mayor parte de la variabilidad en “y” se explica por el modelo de regresión (Bewick, Cheek y Ball, 2003). Según Granato, de Araújo Calado y Jarvis (2014) un  $R^2$  menor a 70 indica que el modelo matemático no es bueno para predecir. En este caso, se observa buena correlación tanto para el  $a_w$  ( $R^2=0,7701$ ) como para el porcentaje de humedad ( $R^2=0,8303$ ) y el tiempo de almacenamiento.

En cuanto al volumen específico, aunque el tiempo de almacenamiento no tuvo un efecto significativo sobre esta variable (Cuadro 20), se considera importante mencionar que, según Jideani (2019), uno de los principales cambios asociados al envejecimiento del pan es la reducción del volumen específico, algo que no se observó en este estudio, y probablemente se debe al corto tiempo de almacenamiento al que se sometieron los quequitos. Como se observa en el

Cuadro 21, los quequitos HA presentaron valores menores de volumen específico que H, y este resultado coincide con lo reportado previamente en la Figura 9C.

### 5.5.2. Color

En el Cuadro 22 se observan los resultados del análisis de varianza de los parámetros de color ( $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^\circ$ ) de los quequitos. Hubo diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) en  $L^*$  y  $C^*$  entre las dos formulaciones, mientras que en el ángulo  $h^\circ$  no hubo diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre las formulaciones. Se observó efecto significativo ( $p \leq 0,05$ ) del tiempo de almacenamiento sobre  $C^*$  y  $h^\circ$ , mientras que la luminosidad de los quequitos permaneció estable en el tiempo ( $p > 0,05$ ), obteniéndose un valor promedio de  $71,89 \pm 0,21$  en H y  $67,1 \pm 0,37$  en HA. Por otro lado, hubo interacción significativa entre las formulaciones y el tiempo de almacenamiento en el parámetro chroma.

**Cuadro 22.** Análisis de varianza de los parámetros de color ( $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^\circ$ ) de los quequitos durante el almacenamiento.

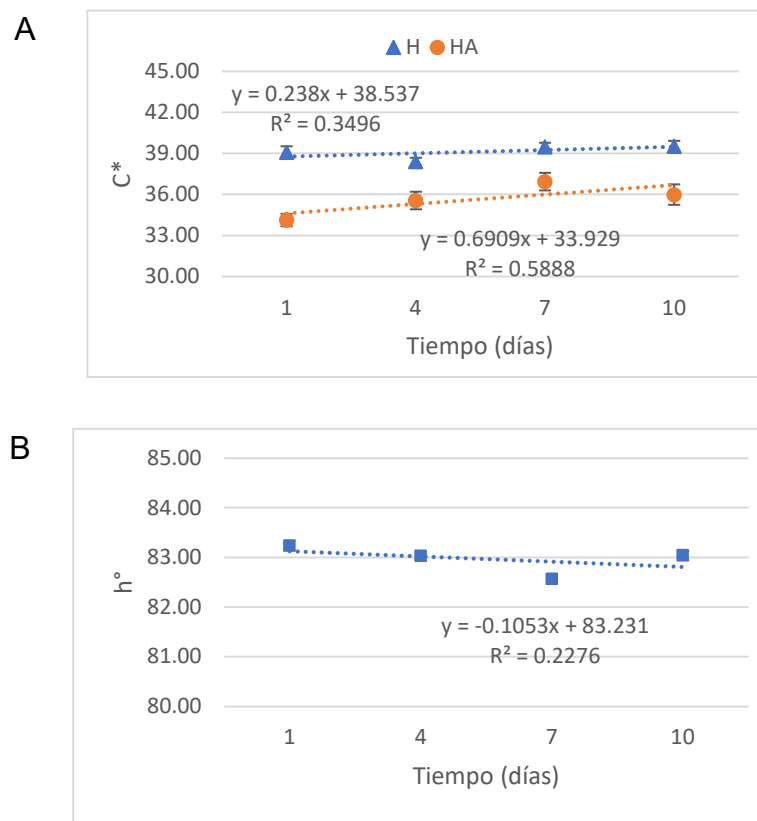
Efecto	g.l.*	Probabilidad asociada		
		$L^*$	$C^*$	$h^\circ$
Formulación	1	<0,0001	<0,0001	0,0966
Día	1	0,1174	<0,0001	0,0145
Formulación*día	1	0,0896	0,0059	0,8145
Lote	2	<0,0001	<0,0001	0,0937

\*g.l. = grados de libertad.

En cuanto a los lotes de producción, se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre lotes en los parámetros  $L^*$  y  $C^*$ , mientras que en  $h^\circ$  el efecto lote no fue significativo ( $p > 0,05$ ). Anteriormente se discutió que estas diferencias entre lotes eran de esperarse debido a factores externos a la formulación

Como se observa en la Figura 19A, el queque control tuvo valores mayores de chroma que HA, como se reportó previamente en la Figura 10B. Sin embargo, el chroma de H prácticamente no varió en el tiempo, en tanto que el chroma de HA tendió a aumentar con el tiempo de almacenamiento. En otros productos de

panificación se han observado resultados diferentes; por ejemplo, al calcular el chroma de los resultados obtenidos por Pająk, Habryka y Fortuna (2012), se observa una disminución en el  $C^*$  de panes almacenados durante 5 días.



Nota: se presentan los promedios  $\pm$  I.C. al 95%.

**Figura 19.** Efecto del tiempo de almacenamiento sobre los parámetros de color (A)  $C^*$  y (B)  $h^\circ$  de los quequitos H y HA.

En el ángulo  $h^\circ$  de los quequitos hubo una disminución significativa en el tiempo, aunque los valores se mantuvieron dentro del rango del color amarillo, es decir, un ángulo hue entre 70 y 105° (Roy-Choudhury, 2014b) durante el tiempo de almacenamiento.

Por otro lado, los  $R^2$  en todos los casos fueron menores a 0,70, por lo que los modelos lineales no son buenos para predecir el comportamiento de los



parámetros de color en el tiempo de almacenamiento, según el criterio sugerido por Granato *et al.* (2014).

Con el objetivo de explicar si las diferencias en el color de los quequitos durante el almacenamiento son perceptibles o no por el ojo humano, se calcularon las diferencias de color  $\Delta E^*$  con respecto al primer día de almacenamiento. Los resultados se muestran en el Cuadro 23.

**Cuadro 23.** Diferencia de color ( $\Delta E^*$ ) de los quequitos H y HA durante el almacenamiento con respecto al día 1.

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

En el caso de H, todos los valores de  $\Delta E^*$  son cercanos o inferiores a 1,5, por lo que no serían detectados por el ojo humano; en tanto que para HA, todos los valores de  $\Delta E^*$  fueron menores a 5 pero mayores a 1,5, por lo que son cambios muy pequeños pero que podrían ser evidentes al ojo humano, según el criterio reportado por Obón *et al.* (2009). Se calcularon los  $\Delta E^*$  del estudio realizado por Pająk *et al.* (2012), quienes evaluaron el almacenamiento de pan durante 5 días, y se observaron cambios de color más evidentes que los de este estudio:  $\Delta E^*= 2,05$  en el día 1,  $\Delta E^*= 3,43$  en el día 3 y  $\Delta E^*= 6,35$  en el día 5.

### 5.5.3. Análisis del perfil de Textura

Los resultados del análisis de varianza de los parámetros de textura de los quequitos H y HA se muestran en el Cuadro 24. En este caso se tomó la decisión de no incluir la adhesividad dentro de las variables de TPA, debido a que se consideró despreciable, con base en los resultados obtenidos en la Sección 5.3.3.

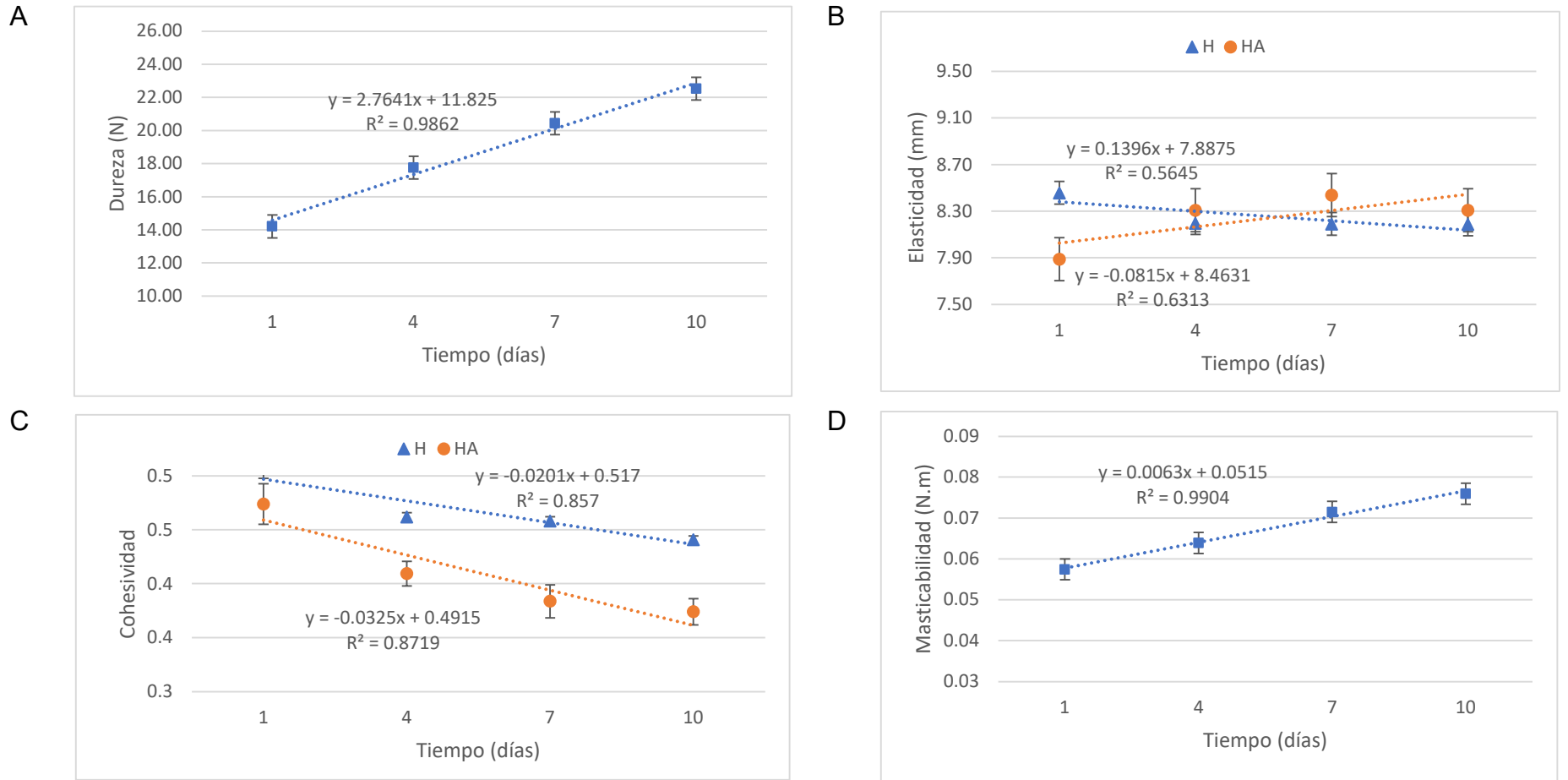
El análisis de varianza reporta diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) en la dureza, cohesividad y masticabilidad debido al tipo de queque y al tiempo de almacenamiento. Por otro lado, el análisis indica que hay interacción significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre tratamiento y el tiempo en la elasticidad y cohesividad. En cuanto al efecto "lote", hubo diferencias significativas entre los lotes de producción en todas las variables, algo que era de esperarse, como se discutió anteriormente.

**Cuadro 24.** Análisis de varianza del análisis de perfil de textura de los quequitos.

Efecto	g.l.	Probabilidad asociada			
		D	E	C	M
Formulación	1	<0,0001	0,7367	<0,0001	<0,0001
Día	1	<0,0001	0,4638	<0,0001	<0,0001
Formulación*día	1	0,7925	0,0048	0,0007	0,4632
Lote	2	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

D = dureza, E = elasticidad, C = cohesividad, M = masticabilidad, g.l. = grados de libertad.

En la Figura 20 se observa el comportamiento de los parámetros de textura durante el tiempo de almacenamiento. Se encontró que los quequitos H (19,78 N) presentaron valores más altos de dureza que HA (17,72 N) (comportamiento evidenciado en la figura 20) y en ambas formulaciones se observó un aumento significativo ( $p \leq 0,05$ ) en este parámetro durante el almacenamiento (Figura 20A). Esta tendencia era de esperarse, debido al endurecimiento gradual típico de los productos de panadería (Wilderjans *et al.*, 2013), algo que se ha reportado previamente en otros estudios con diferentes productos de panificación; por ejemplo, queques (Gómez, Ruiz-París, Oliete y Pando, 2010) y pan (He y Hosney, 1990).



Nota: se presentan los promedios ± I.C. al 95%.

**Figura 20.** Comportamiento de los parámetros de textura de los quequitos HA y H en el tiempo de almacenamiento. (A) Dureza, (B) Elasticidad, (C) Cohesividad y (D) Masticabilidad.

El endurecimiento de la miga es uno de los parámetros importantes que se utilizan para evaluar el desarrollo del envejecimiento del pan y éste, a su vez, se relaciona con la migración de la humedad de la miga a la corteza y la retrogradación del almidón (Tsai *et al.*, 2012; Mondal y Datta, 2008). Ooms *et al.* (2016) explican que la amilosa y la amilopectina tienen roles diferentes en la dureza inicial y endurecimiento posterior de los productos de panadería. La amilosa participa en la formación de la textura inicial de la miga, junto al gluten y el huevo en el caso de los queques (Wilderjans *et al.*, 2013), mientras que la amilopectina, durante el almacenamiento, sufre una transformación de estructura amorfa a cristalina de manera más lenta que la amilosa y esto contribuye al endurecimiento indeseable de la miga (Ooms *et al.*, 2016; Cauvain y Young, 2007). También se puede relacionar con la pérdida de humedad, que ya se explicó.

En el parámetro elasticidad, el análisis de varianza (Cuadro 24) indicó un efecto diferente del tiempo para cada formulación (H y HA). Como se observa en la Figura 20B, la elasticidad de los quequitos de la formulación H tiende a disminuir durante el almacenamiento. Según Goranova, Baeva, Stankov y Zsivanovits (2015), durante el envejecimiento del pan es normal que haya una pérdida en la elasticidad. Y estos autores citan a Goasaert, Slade, Levine y Delcour (2009), quienes midieron la dureza y elasticidad de productos de panadería después de 6 días de almacenamiento y concluyeron que un aumento en la dureza de la miga condujo a una disminución en la elasticidad de esta, y atribuyeron ese efecto a una menor flexibilidad de la red de gluten en el tiempo. En el presente estudio, ocurrió lo contrario con la formulación HA, ya que se observó un aumento tanto en la dureza como en la elasticidad de los quequitos. En el estudio realizado por Shao *et al.* (2015) se evaluó el efecto de la sustitución de huevo con WPC, con y sin la adición de gomas, y se encontró que el uso de goma xantán aumenta la elasticidad de los queques. Este aumento en la elasticidad generado por la inclusión de goma xantán podría aumentar con el paso del tiempo, como se observó en el presente estudio.

En cuanto a la cohesividad de los quequitos, se observó una disminución en ambas formulaciones (Figura 20C). Los quequitos control (H) resultaron ser más cohesivos que los de la formulación HA y esto coincide con lo reportado previamente en la Figura 11D. En el tiempo de almacenamiento se observó que la disminución en la cohesividad fue mayor en los quequitos HA. Es importante recordar que la cohesividad es un atributo que indica el grado de compresión que los queques soportan antes de desmigajarse (Szczeniak, 2002; Liu et al. 2019) y, según la tendencia observada en este estudio, es probable que la estructura de los quequitos HA se desmigaje más fácilmente a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento. La disminución de la cohesividad del pan y productos similares durante el almacenamiento se ha reportado en otros estudios (Tsai et al., 2012; Gómez et al., 2010).

Finalmente, los quequitos H (0,076 N.m) presentaron valores más altos de masticabilidad en comparación con HA (0,06 N.m), lo que coincide con lo reportado previamente en la Figura 11E. Durante el almacenamiento, ambas formulaciones mostraron un aumento significativo ( $p \leq 0,05$ ) en la masticabilidad (Figura 20D). Es decir, a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento, los quequitos requieren más esfuerzo para ser ingeridos, ya que la masticabilidad se asocia con la energía necesaria para masticar los quequitos, hasta un estado que permita su ingesta (Torres et al., 2015; Chacón-Villalobos y Pineda-Castro, 2009). Para estos productos, el análisis de la Figura 20 permite establecer que el aumento en la masticabilidad con el tiempo se explica por el aumento en la dureza. Este aumento en la masticabilidad se ha reportado en otros estudios con productos de panificación, tal es el caso de los realizados por Angioloni y Collar (2009) y Crowley, Schober, Clarke y Arendt (2002), quienes trabajaron con pan.

En cuanto a los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de los parámetros de textura analizados, considerando el criterio sugerido por Granato et al. (2014), se observa que los modelos son buenos ( $R^2 > 0,80$ ) para predecir la dureza, cohesividad y masticabilidad de los quequitos en el tiempo de almacenamiento. Mientras que los valores de  $R^2$  de la elasticidad fueron menores de 0,70, por lo

que los modelos no se consideran buenos para predecir el comportamiento de ambos productos.

## 6. CONCLUSIONES

- En cuanto a las masas de los queques, HA, ML y MC lograron simular la densidad relativa de la formulación con huevo (H) y la masa SC no presentó diferencias en viscosidad con H, mientras que, en el color de la masa, HA fue la más cercana a H en todos los parámetros, aunque la diferencia entre ellas podría ser perceptible, de acuerdo con la diferencia de color instrumental.
- Los quequitos HA, WPC y SC simularon el  $a_w$  de H, WPC se asemejó a H en el contenido de humedad y H presentó el mayor volumen específico, seguido de WPC, mientras que los quequitos MC y ML presentaron el menor volumen.
- Los quequitos H presentaron los valores más altos de luminosidad y chroma, WPC se acercó a H en luminosidad y SC en el chroma, mientras que en el ángulo hue, ML, MC y SC simularon el tono de H y presentaron los valores más bajos.
- Las diferencias en el color de la miga de los quequitos con sustitutos de huevo en comparación con H fueron evidentes en todos los casos. La formulación SC presentó la menor diferencia en comparación con H.
- Los quequitos HA, CPS y SC simularon la dureza de H, WPC y CPS la adhesividad, ML, MC, HA y SC la elasticidad, ML y MC la masticabilidad, mientras que ML se acercó a H en la cohesividad.
- La prueba de agrado general llevó a la obtención de 3 conglomerados (49, 34 y 29 consumidores, respectivamente). En el conglomerado 1 hubo preferencia por los quequitos SC, MC y HA, en el 2 por H y en el 3 por WPC, H, SC y HA.
- Se escogió HA como mejor sustituto, ya que está entre las formulaciones más preferidas en dos de los conglomerados y, de manera general, se

asemeja a H en más parámetros físico químicos que las demás formulaciones.

- El aireado adicional provocó una disminución en la luminosidad y un aumento en el chroma de los quequitos HA. Mientras que el tono disminuyó con la adición de lecitina, el aireado y la combinación de ambos. Sin embargo, las diferencias de color podrían no ser perceptibles.
- La adición de lecitina de soya disminuyó el volumen específico y aumentó la dureza y masticabilidad de los quequitos HA. El aireado adicional aumentó la cohesividad, mientras que la combinación de lecitina y aireado adicional provocó una disminución en el volumen específico y cohesividad, a la vez que aumentó la dureza, adhesividad y masticabilidad. Lo que demostró que el aireado adicional no mejoró las características de los quequitos, y la adición de lecitina y la combinación lecitina-aireado adicional resultaron desfavorables para la calidad de los productos.
- Durante el almacenamiento, el  $a_w$  y el contenido de humedad de HA fueron mayores que los de H y ambas variables disminuyeron con el tiempo, mientras que el volumen específico fue mayor para H pero no se vio afectado por el tiempo.
- Los valores de  $L^*$  y  $C^*$  durante el almacenamiento resultaron mayores para H en comparación con HA; sin embargo, la  $L^*$  permaneció estable en el tiempo, en tanto que  $C^*$  aumentó más en HA que en H. El  $h^\circ$ , por su parte, tendió a disminuir en ambas formulaciones con el tiempo.
- Los quequitos H presentaron diferencias de color menores que HA durante el almacenamiento, por lo que, considerando las diferencias de color obtenidas, los cambios en color de HA podrían ser perceptibles en el tiempo.
- Los quequitos H presentaron mayores valores de dureza, cohesividad y masticabilidad durante el almacenamiento en comparación con HA. La



dureza y la masticabilidad de HA y H aumentaron con el tiempo. Para la elasticidad hubo interacción formulación\*día, debido a que aumentó para HA y disminuyó para H. Mientras que la cohesividad disminuyó más notablemente en HA que en H.

## 7. RECOMENDACIONES

- Las formulaciones evaluadas es posible mejorarlas, por ejemplo, aumentando las concentraciones de proteínas, evaluando las semillas molidas en vez de los mucílagos, probando un aumento en la goma xantán y adicionando un colorante natural (por ejemplo, betacaroteno) para una mejor imitación del color de la miga de un queque con huevo.
- Aunque la adición de emulsificantes desfavoreció la calidad de los quequitos HA, no se descarta la posibilidad de que su uso sea favorable. Por lo que se recomienda realizar pruebas con otro tipo de lecitinas (en polvo, de otras fuentes, etc.) u otro tipo de emulsificantes.
- Se recomienda evaluar diferentes velocidades y tiempos de batido para profundizar en el efecto del aireado adicional sobre los quequitos. Además, incluir en este tipo de estudios una prueba para determinar el número y tamaño de las burbujas de aire incorporadas en la masa.
- Se recomienda estudiar más a fondo el efecto del tiempo sobre formulaciones de queques con sustitutos de huevo debido a la poca información bibliográfica encontrada al respecto.
- Por la misma razón, se recomienda incluir la medición del color en toda investigación relacionada con productos de panificación y repostería, incluyendo, además, el cálculo de los parámetros  $C^*$  y  $h^\circ$ , y  $\Delta E^*$ , cuando sea aplicable.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Abhay Kumar, N., Prasada Rao, U. J. S., Jeyarani, T. y Indrani, D. (2017). Effect of ingredients on rheological, physico-sensory, and nutritional characteristics of omega-3-fatty acid enriched eggless cake. *Journal of Texture Studies*, 48(5), 439–449.
- Abu-Ghoush, M., Herald, T. y Aramouni, F. (2010). Comparative study of egg white protein and egg alternatives used in an angel food cake system. *Journal of Food Processing and Preservation*, 34(S2), 411–425.
- Agrahar-Murugkar, D., Zaidi, A., Kotwaliwale, N. y Gupta, C. (2016). Effect of Egg-Replacer and Composite Flour on Physical Properties, Color, Texture and Rheology, Nutritional and Sensory Profile of Cakes. *Journal of Food Quality*, 39(5), 425–435.
- Ai, Y., y Jane, J. L. (2015). Gelatinization and rheological properties of starch. *Starch/Staerke*, 67(3–4), 213–224.
- Ai, Y. y Jane, J. L. (2017). *Understanding Starch Structure and Functionality. Starch in Food: Structure, Function and Applications* (2da. Edición). Duxford, Inglaterra. Woodhead Publishing.
- Alfaro-Chaves, W. (2016). *Utilización de pulpa de coco tierno para sustituir huevo en quequitos libres de gluten*. (Trabajo Final de Graduación). Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Amagliani, L., O'Regan, J., Kelly, A. L. y O'Mahony, J. A. (2016). Chemistry, structure, functionality and applications of rice starch. *Journal of Cereal Science*, 70, 291–300.
- Angioloni, A. y Collar, C. (2009). Bread crumb quality assessment: A plural physical approach. *European Food Research and Technology*, 229(1), 21–30.
- ANSA. (2018). Crece la alergia alimentaria infantil. Recuperado el 19 de enero de 2019, de [http://www.ansalatina.com/americalatina/noticia/especiales/2018/04/08/crece-la-alergia-alimentaria-infantil\\_d70cf378-ae6-48ad-8515-e026e01aa796.html](http://www.ansalatina.com/americalatina/noticia/especiales/2018/04/08/crece-la-alergia-alimentaria-infantil_d70cf378-ae6-48ad-8515-e026e01aa796.html)
- AOAC. (1990). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 15 ed. Virginia.
- Arunepanlop, B., Morr, C. V., Karleskind, D. y Laye, I. (1996). Partial replacement of egg white proteins with whey proteins in angel food cakes. *Journal of Food Science*, 61(5), 1085–1093.

- Ares, G. (2013). *Mathematical and Statistical Methods in Food Science and Technology*. Chichester, UK. John Wiley y Sons, Ltd.
- Asghar, A. y Abbas, M. (2012). Dried egg powder utilization, a new frontier in bakery products. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 3(13), 493–505.
- Ashwini, A., Jyotsna, R. y Indrani, D. (2009). Effect of hydrocolloids and emulsifiers on the rheological, microstructural and quality characteristics of eggless cake. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 700–707.
- Bao, J., y Bergman, C. J. (2017). *Rice Flour and Starch Functionality. Starch in Food: Structure, Function and Applications* (2da. edición). Elsevier Ltd.
- Bekhit, A. , Shavandi, A., Jodjaja, T., Birch, J., Teh, S., Mohamed Ahmed, I. A. y Bekhit, A. A. (2018). Flaxseed: Composition, detoxification, utilization, and opportunities. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 13(November 2017), 129–152.
- Benavides, V. (2017). *Determinación del umbral de diferencia del sabor salado en pan blanco de molde y su efecto sobre la calidad durante el almacenamiento*. (Trabajo Final de Graduación). Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Bewick, V., Cheek, L. y Ball, J. (2003). Statistics review 7: Correlation and regression. *Critical Care*, 7(6), 451–459.
- Bianchi, D. M., Adriano, D., Astergiano, S., Gallina, S., Caramelli, M. y Decastelli, L. (2016). Egg and Milk Proteins as Hidden Allergens in Food: 5-Year (2010 to 2014) Results of Food Allergen Monitoring in Piedmont, Italy. *Journal of Food Protection*, 79(9), 1583–1587.
- Bird, J. A., Jones, S. y Burks, W. (2015). Food Allergy. En *Clinical Immunology* (5ta. ed., pp. 625–631). Alabama, USA. Elsevier Ltd.
- Bolaños, J., Quesada, S., Nanne, C. I. y Gómez, G. (1998). Efecto del consumo de huevo y lecitina en los niveles séricos de colesterol y triglicéridos en ratas. *Revista Costarricense de Ciencias Médicas*, 19(1–2), 17–27.
- Borneo, R., Aguirre, A. y León, A. E. (2010). Chia (*Salvia hispanica* L) Gel Can Be Used as Egg or Oil Replacer in Cake Formulations. *Journal of the American Dietetic Association*, 110(6), 946–949.
- Busken, D. F. (2013). The Art of Building Structures in Baking. *Cereal Food World*, 58(2), 100–101.

- Campbell, L., Euston, S. R. y Ahmed, M. A. (2016). Effect of addition of thermally modified cowpea protein on sensory acceptability and textural properties of wheat bread and sponge cake. *Food Chemistry*, 194, 1230–1237.
- Capitani, M. I., Corzo-Rios, L. J., Chel-Guerrero, L. A., Betancur-Ancona, D. A., Nolasco, S. M., y Tomás, M. C. (2015). Rheological properties of aqueous dispersions of chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage. *Journal of Food Engineering*, 149, 70–77.
- Cauvain, S. P. (2016). Bread and other bakery products. En *The Stability and Shelf Life of Food* (pp. 432–459). Cambridge, Inglaterra. Woodhead Publishing.
- Cauvain, S. P. y Young, L. S. (Eds.). (2006). *Baked Products: Science, Technology and Practice*. Oxford, UK: Blackwell Publishing.
- Cauvain, S. P. y Young, L. S. (Eds.). (2007). *Baked Products: Science, Technology and Practice*. *Baked Products: Science, Technology and Practice*. Oxford, UK. Blackwell Publishing.
- Chacón-Villalobos, A. y Pineda-Castro, M. L. (2009). Características químicas, físicas y sensoriales de un queso de cabra adaptado del tipo “Crottin de Chavignol.” *Agronomía Mesoamericana*, 20(2), 297–309.
- Chan-Hee, K. y Myung-Soo, A. (2007). The Quality Characteristics of Sponge Cake with Varied Levels of Whey Protein Isolate. *Korean Journal of Food Cookery Science*, 23(1), 41–49.
- Chan, S. (2014). Dietetic Bakery Products. En *Bakery Products Science and Technology* (segunda edición). Nueva Zelanda. John Wiley & Sons, Ltd.
- Chavan, V. R., Gadhe, K. S. y Kale, R. V. (2017). Extraction and utilization of chia seed gel (salvia hispanica) in dairy and bakery product as a stabilizer and emulsifier. *Trends in Biosciences*, 10(20), 3986–3989.
- Cherian, G. (2005). Egg Biology. En *Handbook of Food Science, Technology, and Engineering - 4 Volume Set*. Boca Ratón, USA. CRC Press.
- Choubert, G., Blanc, J. M. y Vallée, F. (1997). Colour measurement, using the CIELCH colour space, of muscle of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), fed astaxanthin: Effects of family, ploidy, sex, and location of reading. *Aquaculture Research*, 28(1), 15–22.
- Cole-Parmer. (1997). Cole-Parmer 98936 Series Rotational Viscometers. Instructions and Operatiom Manual. Versión 3.1. Vernon Hills, IL.: Cole-Parmer Instrument Company.

- Crowley, P., Schober, T. J., Clarke, C. I. y Arendt, E. K. (2002). The effect of storage time on textural and crumb grain characteristics of sourdough wheat bread. *European Food Research and Technology*, 214(6), 489–496.
- Dhanapala, P., De Silva, C., Doran, T. y Suphioglu, C. (2015). Cracking the egg: An insight into egg hypersensitivity. *Molecular Immunology*. 66(2), 375-383.
- Díaz-Ramírez, M., Calderón-Domínguez, G., García-Garibay, M., Jiménez-Guzmán, J., Villanueva-Carvajal, A., Salgado-Cruz, M. de la P. y Del Moral-Ramírez, E. (2016). Effect of whey protein isolate addition on physical, structural and sensory properties of sponge cake. *Food Hydrocolloids*, 61, 633–639.
- Dodo, H. y Konan, K. (2011). Allergies: Food and Peanut Risk Reduction. En *Encyclopedia of Biotechnology in Agriculture and Food*. (pp. 11–17). Boca Ratón, FL. CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Dzuvor, C. K. O., Taylor, J. T., Acquah, C., Pan, S. y Agyei, D. (2018). Bioprocessing of functional ingredients from flaxseed. *Molecules*, 23(10), 1–18.
- EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food. (2011). Scientific Opinion on re-evaluation of calcium carbonate (E170) as a food additive. *EFSA Journal*, 9(7), 1–73.
- Elgeti, D., Jekle, M. y Becker, T. (2015). Strategies for the aeration of gluten-free bread - A review. *Trends in Food Science and Technology*, 46(1), 75–84.
- Everson, F. P. (2010). *Alergia e hipersensibilidad*. En Sheehy. *Manual de urgencia de enfermería* (Sexta ed.). (pp. 556-563) Illinois, USA. Elsevier Ltd.
- Fadda, C., Sanguinetti, A. M., Del Caro, A., Collar, C. y Piga, A. (2014). Bread staling: Updating the view. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 473–492.
- Falade, K. O. y Akingbala, J. O. (2011). Utilization of Cassava for food. *Food Reviews International*, 27(1), 51–83.
- Felisberto, M. H. F., Wahanik, A. L., Gomes-Ruffi, C. R., Clerici, M. T. P. S., Chang, Y. K. y Steel, C. J. (2015). Use of chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage gel to reduce fat in pound cakes. *LWT - Food Science and Technology*, 63(2), 1049–1055.
- Fellows, P. J. (2017). *Food Processing Technology*.(4ta. edición). Duxford, UK.

Woodhead Publishing.

- Fernandes, S. S. y Salas-Mellado, M. de las M. (2017). Addition of chia seed mucilage for reduction of fat content in bread and cakes. *Food Chemistry*, 227, 237–244.
- Ferrera-Guiné, R. de P. y Reis-Correira, P. M. (Eds.). (2014). *Engineering Aspects of Cereal and Cereal-based Products*. Boca Ratón, FL. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Ferrero, C. (2017). Hydrocolloids in wheat breadmaking: A concise review. *Food Hydrocolloids*, 68, 15–22.
- Fideos Precocidos de Costa Rica. (2019). *Harina de Arroz (etiqueta)*. San José, Costa Rica.
- Fiocchi, A. y Fierro, V. (2017). Food Allergy. Recuperado el 8 de agosto de 2019, de <https://www.worldallergy.org/education-and-programs/education/allergic-disease-resource-center/professionals/food-allergy>.
- Fizman, S. M., Sanz, T. y Salvador, A. (2013). *Instrumental Assessment of Food Sensory Quality*. En *Instrumental assessment of food sensory quality: A practical guide*. (pp. 374-402). Cambridge, UK. Woodhead Publishing Limited.
- Flax Council Canada y SaskFlax. (s.f.). *Recipes and Healthful Tips*. Canadá. Recuperado el 18 de enero de 2018 de <https://flaxcouncil.ca/resources/nutrition/general-nutrition-information/flax-a-healthy-food/>
- Food Allergy Canada. (2019). Food Allergens. Recuperado el 13 de enero de 2019, de <https://foodallergycanada.ca/about-allergies/food-allergens/>.
- Food Allergy Research & Education. (2019). Common Allergens. Recuperado el 13 de enero de 2019, from <https://www.foodallergy.org/common-allergens>.
- Food-Info.net. (2017). What are emulsifiers and why are they used? Recuperado el 20 de octubre de 2018, de <http://www.food-info.net/uk/qa/qa-fi63.htm>.
- Gaby, A. (2017). Food Allergy and Intolerance. En *Integrative Medicine* (4ta. edición, pp. 310–318). Elsevier Inc.
- Gallo, L. R. dos R., Assunção Botelho, R. B., Ginani, V. C., de Lacerda de Oliveira, L., Riquette, R. F. R. y Leandro, E. dos S. (2018). Chia (*Salvia hispanica* L.) Gel as Egg Replacer in Chocolate Cakes: Applicability and Microbial and Sensory Qualities After Storage. *Journal of Culinary Science and Technology*, 00(00), 1–11.

- García-Ara, M. C. (2013). Alergia al huevo en el niño. *Protocolos Diagnosticos y Terapéuticos En Pediatría*, 1, 37–50.
- Ghodke, S. K. (2009). Effect of guar gum on dough stickiness and staling in chapatti - An Indian unleavened flat bread. *International Journal of Food Engineering*, 5(3), artículo 7.
- Giannou, V., Lebesi, D. y Tzia, C. (2014). Packaging and Shelf-Life Prediction of Bakery Products. En *Bakery Products Science and Technology* (2da. Edición). (pp. 355-371). West Sussex, UK. John Wiley & Sons, Ltd.
- Gibson, M. y Newsham, P. (2018). *Food Science and the Culinary Arts*. Londres, UK. Elsevier Inc.
- Goesaert, H., Slade, L., Levine, H. y Delcour, J. A. (2009). Amylases and bread firming—an integrated view. *Journal of Cereal Science*, 50(3), 345-352.
- Gómez, M., Oliete, B., García-Álvarez, J., Ronda, F. y Salazar, J. (2008). Characterization of cake batters by ultrasound measurements. *Journal of Food Engineering*, 89(4), 408–413.
- Gómez, M., Ruiz-París, E., Oliete, B. y Pando, V. (2010). Modeling of texture evolution of cakes during storage. *Journal of Texture Studies*, 41(1), 17–33.
- Goranova, Z., Baeva, M., Stankov, S. y Zsivanovits, G. (2015). Sensory Characteristics and Textural Changes during Storage of Sponge Cake with Functional Ingredients. *Journal Food Physics*, 28, 70–79.
- Granato, D., de Araújo Calado, V. Ô. M. y Jarvis, B. (2014). Observations on the use of statistical methods in Food Science and Technology. *Food Research International*, 55, 137–149.
- Grizio, M. y Specht, L. (2018). *Plant-based egg alternatives: Optimizing for functional properties and applications*. The Good Food Institute. Recuperado de <https://www.gfi.org/>
- Gupta, R., Lau, C., Sita, E., Smith, B. y Greenhawt, M. J. (2013). Factors associated with reported food allergy tolerance among US children. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 111(3): 194–198.
- Hamdani, A. M., Wani, I. A. y Bhat, N. A. (2019). Sources, structure, properties and health benefits of plant gums: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135, 46–61.
- Han, J., Kamber, M., y Pei, J. (2012). *Cluster Analysis: Basic Concepts and*



*Methods. Data Mining: Concepts and Techniques*. (3ra. edición, pp. 443-495). Waltham, MA, USA. Morgan Kaufmann Publishers.

Hansstein, F. (2011). *Profiling the egg consumer: Attitudes, perceptions and behaviours*. En *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products: Egg Chemistry, Production and Consumption*. (pp.39-61). Cambridge, UK. Woodhead Publishing Limited.

Hasenhuettl, G. L. y Hartel, R. W. (Eds.). (2015). *Food Emulsifiers and Their Applications* (Segunda ed, Vol. 1). Nueva York, USA.: Springer.

He, H. y Hosene, R. (1990). Changes in bread firmness and moisture during long-term storage. *Cereal Chemistry*, 67(6), 603–605.

Hedayati, S. y Tehrani, M. (2018). Effect of total replacement of egg by soymilk and lecithin on physical properties of batter and cake. *Food Science and Nutrition*, 6(4), 1154–1161.

Henao, S. y Aristizábal, J. (2009). Influencia de la variedad de yuca y nivel de sustitución de harinas compuestas sobre el comportamiento reológico en panificación. *Revista Ingeniería e Investigación*, 29(1), 39–46.

Hesso, N., Loisel, C., Chevallier, S., Marti, A., Le-Bail, P., Le-Bail, A. y Seetharaman, K. (2015). The role of ingredients on thermal and rheological properties of cake batters and the impact on microcake texture. *LWT - Food Science and Technology*, 63(2), 1171–1178.

Hoi, A. Y., Ross, L., Day, J. y Buchanan, R. R. C. (2017). Immunotherapeutic strategies in antiphospholipid syndrome. *Internal Medicine Journal*, 47(3), 250–256.

Hu, X. y Liu, C. (1998, August 17). Method for dry process extract of flax gum from flax seed shell. Patente N° CN 98117335. China.

Huerta, R. E., Huerta, J. G. y Ortega, J. A. (2013). Actualidades en alergia a alimentos. *Alergia, Asma e Inmunología Pediátricas*, 22(2), 43–60.

Hui, Y. H. (Ed.). (2006). *Handbook of Food Science, Technology and Engineering*. Boca Ratón, FL: CRC Press.

Hussain, S., Anjum, F. M., Alamri, M. S., Mohamed, A. A. y Nadeem, M. (2013). Functional flaxseed in baking. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, 5(4), 375–385.

- Jensen, S., Skibsted, L. H., Kidmose, U. y Thybo, A. K. (2015). Addition of cassava flours in bread-making: Sensory and textural evaluation. *LWT - Food Science and Technology*, 60(1), 292–299.
- Jideani, V. A. (2019). *Bread Storage and Preservation*. En *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*. (pp.593-604). Bellville, Sudafrica: Elsevier.
- Jiménez, A. (2008). *Usos alternativos del chayote (Sechium edule SW.): Elaboración y aplicación de un puré de chayote como sustituto de grasa en alimentos*. (Trabajo Final de Graduación). Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Jinca Foods. (2019). Harina de Yuca (*etiqueta*). Alajuela, Costa Rica.
- Joyner, H. S. (2018). Explaining food texture through rheology. *Current Opinion in Food Science*, 21, 7–14.
- Jyotsna, R., Manohar, R. S., Indrani, D. y Rao, G. V. (2007). Effect of whey protein concentrate on the rheological and baking properties of eggless cake. *International Journal of Food Properties*, 10(3), 599–606.
- Kajla, P., Sharma, A. y Sood, D. R. (2015). Flaxseed—a potential functional food source. *Journal of Food Science and Technology*, 52(4), 1857–1871.
- Kankaanpaa-Anttila, B. y Anttila, M. (1996). *Flax preparation, its use and production*. Patente N° 5,925,401. Estados Unidos.
- Kaur, R. y Kaur, M. (2018). Microstructural, physicochemical, antioxidant, textural and quality characteristics of wheat muffins as influenced by partial replacement with ground flaxseed. *LWT - Food Science and Technology*, 91(January), 278–285.
- Khalloufi, S., Corredig, M., Goff, H. D. y Alexander, M. (2009). Flaxseed gums and their adsorption on whey protein-stabilized oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 611–618.
- Kilara, A. y Vaghela, M. N. (2017). *Whey proteins*. En *Proteins in Food Processing: (2da. Edición, pp. 93 – 126)*. Duxford, UK: Woodhead Publishing Limited.
- Kiosseoglou, V. y Paraskevopoulou, A. (2014). Eggs. En *Bakery products science and technology* (Segunda ed, pp. 243–258). West Sussex, UK.: John Wiley & Sons, Ltd.
- Kohajdová, Z., Karovičová, J. y Schmidt, Š. (2009). Significance of Emulsifiers and

- Hydrocolloids in Bakery Industry. *Acta Chimica Slovaca*, 2(1), 46–61.
- Kohrs, D., Herald, T. J., Aramouni, F. M. y Abughoush, M. (2010). Evaluation of egg replacers in a yellow cake system. *Ermir. Journal of Food Agric.*, 22(5), 340–352.
- Korus, J., Witczak, T., Ziobro, R. y Juszczak, L. (2015). Linseed (*Linum usitatissimum* L.) mucilage as a novel structure forming agent in gluten-free bread. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 257–264.
- Kusumayanti, H., Handayani, N. A. y Santosa, H. (2015). Swelling Power and Water Solubility of Cassava and Sweet Potatoes Flour. *Procedia Environmental Sciences*, 23(Ictcred 2014), 164–167.
- Lai, H.M. y Lin, T.C. (2005). Bakery Products. En *Handbook of Food Science, Technology, and Engineering - 4 Volume Set*. (Parte S, Cap. 148). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Larsen, D. S. (2018). The Structure and Properties of Eggs. En *Encyclopedia of Food Chemistry* (Vol. 3, pp. 27–32). Amsterdam, Países Bajos: Elsevier, Inc.
- Lawless, H. T. y Heymann, H. (2010). *Sensory Evaluation of Food. Elementary Food Science* (2da edición). New York, NY. Springer.
- Le-Bail, P., Hesso, N. y Le-Bail, A. (2017). *Starch in Baked Products. Starch in Food: Structure, Function and Applications*. (2da edición, pp. 595-632). Duxford, UK. Woodhead Publishing
- Lechevalier, V., Croguennec, T., Anton, M. y Nau, F. (2011). Processed egg products. En *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products* (pp. 538–581). Cambridge, UK.: Woodhead Publishing Limited.
- Lin, M., Tay, H., Yang, H., Yang, B. y Li, H. (2017). Replacement of eggs with soybean protein isolates and polysaccharides to prepare yellow cakes suitable for vegetarians. *Food Chemistry*, 229, 663–673.
- List, G. R. (2015). *Soybean Lecithin: Food, Industrial Uses, and Other Applications*. En *Polar Lipids: Biology, Chemistry, and Technology*. (pp. 1-33). Urbana, Illinois. AOCS Press.
- Liu, J., Shim, Y. Y., Shen, J., Wang, Y., Ghosh, S. y Reaney, M. J. T. (2016). Variation of composition and functional properties of gum from six Canadian flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) cultivars. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2313–2326.

- Liu, Y.X., Cao, M.J. y Liu, G.M. (2019). Texture analyzers for food quality evaluation. En *Evaluation Technologies for Food Quality* (pp. 441–463). Duxford, UK. Elsevier Inc.
- Loewe, R. (2011). Ingredient Selection for Batter and Breading Systems. En *Batters and Breadings in Food Processing* (2da. Edición pp. 9-23). Minnesota, USA. AACC International, Inc.
- Lopata, A. (Ed.). (2017). *Food Allergy Molecular and Clinical Practice*. Boca Raton, FL: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Lucca, P. A. y Tepper, B. J. (1994). Fat replacers and the functionality of fat in foods. *Trends in Food Science and Technology*, 5(1), 12–19.
- Luyts, A., Wilderjans, E., Van Haesendonck, I., Brijs, K., Courtin, C. M. y Delcour, J. A. (2013). Relative importance of moisture migration and amylopectin retrogradation for pound cake crumb firming. *Food Chemistry*, 141(4), 3960–3966.
- Ma, C.Y. (2004). Soybean: Soy Concentrates and Isolates. En *Encyclopedia of Food Grains* (1ra. Edición pp. 168–174). North Ryde, Australia: Elsevier, Inc.
- Ma, C.Y. (2015). Soybean: Soy Concentrates and Isolates. *Encyclopedia of Food Grains* (2da. Edición pp. 482–488). North Ryde, Australia: Elsevier, Inc.
- Martin, P. J., Chin, N. L., Campbell, G. M. y Marrant, C. J. (2004b). Aeration During Bread Dough Mixing. *Food and Bioproducts Processing*, 82(4), 282–290.
- Martin, P. J., Chin, N. L., Campbell, G. M. y Marrant, C. J. (2004a). Aeration during bread dough mixing: III. Effect of scale-up. *Food and Bioproducts Processing*, 82(4 C), 282–290.
- Majzoobi, M., Ghiasi, F., Habibi, M., Hedayati, S. y Farahnaky, A. (2013). Influence of Soy Protein Isolate on the Quality of Batter and Sponge Cake. *Journal of Food Processing and Preservation*.(2013). Wiley Periodicals, Inc.
- May, F. E. (1938). *An egg substitute and process of making same*. Patente No. 23646. Reino Unido.
- Medina Segura E, González Díaz SN, Arias Cruz A y Canseco González C. (2004). Clinical characteristics of atopic dermatitis in a group of patients attending to the Regional Center of Allergy and Clinical Immunology of Monterrey, Mexico. *Rev Alerg Mex*. 51, 45--8.
- MEIC. (1993). Decreto N° 22029. PAN. Clasificación.

- Milani, J. y Maleki, G. (2012). Hydrocolloids in food industry. En *Food industrial processes-methods and equipment*. InTech. Recuperado el 18 de enero de 2019 de [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com)
- Miller, F.G. (1957). *Baking Powder. Patente N° 2,933,396*. Oficina de Patentes de Estados Unidos.
- Miller, R. (2015). *Emulsifiers: Types and Uses. Encyclopedia of Food and Health* (1ra. edición. pp. 498-502). Oxford, UK. Elsevier Ltd.
- Mine, Y. (1995). Recent advances in the understanding of egg white protein functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 6, 225–232.
- Mine, Y. (Ed.). (2008). *Egg Bioscience and Biotechnology*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Incorporated.
- Miranda, J. M., Anton, X., Redondo-Valbuena, C., Roca-Saavedra, P., Rodriguez, J. A., Lamas, A. y Cepeda, A. (2015). Egg and egg-derived foods: Effects on human health and use as functional foods. *Nutrients*, 7(1), 706–729.
- Mojica, L., Dia, V. P. y De Mejía, E. G. (2011). Soy Proteins. En *Handbook of Food Proteins* (pp. 139–191). Fukushima, Japón: Woodhead Publishing Limited.
- Mondal, A. y Datta, A. K. (2008). Bread baking - A review. *Journal of Food Engineering*, 86(4), 465–474.
- Movahhed, M. K., Mohebbi, M., Koocheki, A. y Milani, E. (2016). The effect of different emulsifiers on the eggless cake properties containing WPC. *Journal of Food Science and Technology*, 53(11), 3894–3903.
- Myllymaki, O. (1999). Processing of flaxseed. Patente N° EP1161300B1. Oficina Europea de Patentes.
- Muñoz, L. A., Cobos, A., Diaz, O. y Aguilera, J. M. (2012). Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration. *Journal of Food Engineering*, 108(1), 216–224.
- Nielsen, S. S. (Ed.). (2017). *Food Analysis* (5ta. edición). Cham, Suiza. Springer.
- Obón, J. M., Castellar, M. R., Alacid, M. y Fernández-López, J. A. (2009). Production of a red-purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. *Journal of Food Engineering*, 90(4), 471–479.
- Odumeru, J. A. (2012). Food Safety and Food Allergens. En *Food Biochemistry and Food Processing* (pp. 787–876). Iowa, USA. Wiley Online Library.

- Oomah, B. D. (2001). Flaxseed as functional food. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, (81), 889–894.
- Ooms, N., Pareyt, B., Brijs, K. y Delcour, J. A. (2016). Ingredient Functionality in Multilayered Dough-margarine Systems and the Resultant Pastry Products: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(13), 2101–2114.
- Orgran ®. (2019). No Egg™ Egg Replacer. Recuperado el 28 de enero de 2019, de <http://www.orgran.com/products/no-egg-egg-replacer/>
- O'Sullivan, M. G. (2017a). Sensory Affective (Hedonic) Testing. En *A Handbook for Sensory and Consumer-Driven New Product Development* (pp. 39–57). Duxford, UK. Woodhead Publishing.
- O'Sullivan, M. G. (2017b). Sensory Properties of Bakery and Confectionary Products. *A Handbook for Sensory and Consumer-Driven New Product Development*, 305–324. Duxford, UK. Woodhead Publishing.
- Ötles, S. (Ed.). (2012). *Methods of Analysis of Food Components and Additives* (2da. edición). Boca Ratón, FL. CRC Press.
- Pająk, P., Habryka, C. y Fortuna, T. (2012). Changes in the Physical Properties of Bread During Storage. *Potravinarstvo*, 6(2), 42–45.
- Palav, T. S. (2015). Chemistry of Cake Manufacturing. En *Encyclopedia of Food Grains* (2nd edición, Vol. 3–4, pp. 367 – 374). Oxford, UK: Elsevier.
- Paraskevopoulou, A., Donsouzi, S., Nikiforidis, C. V. y Kiosseoglou, V. (2015). Quality characteristics of egg-reduced pound cakes following WPI and emulsifier incorporation. *Food Research International*, 69(1), 72–79.
- Pohjanheimo, T. A., Hakala, M. A., Tahvonen, R. L., Salminen, S. J. y Kallio, H. P. (2006). Flaxseed in breadmaking: Effects on sensory quality, aging, and composition of bakery products. *Journal of Food Science*, 71(4), s343–s348.
- Price, J. (2019). History of the Development and Application of Whey Protein Products. En *Whey Proteins* (pp. 51–95). Londres, UK. Elsevier, Inc.
- Puranik, D. B., y Gupta, S. K. (2017). Development of Egg-Less Cake Using Whey Protein Concentrate As Egg Substitute. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 6(4), 2343–2352.
- Purlis, E. (2014). Browning in Bakery Products: An Engineering Perspective. En *Bakery Products Science and Technology* (Segunda edición, pp. 417 – 430). West Sussex, UK. John Wiley & Sons, Ltd.
- Quirós, S. M. (2013). *Elaboración de quequitos libres de gluten a partir de harinas*

*de tiquisque , ñampí , arroz , yuca y sus mezclas.* (Trabajo Final de Graduación). Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

- Rahmati, N. F. y Tehrani, M. M. (2015). Replacement of Egg in Cake: Effect of Soy Milk on Quality and Sensory Characteristics. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 574–582.
- Ramcharitar, A., Badrie, N., Mattfeldt-Beman, M., Matsuo, H. y Ridley, C. (2005). Consumer Acceptability of Muffins with Flaxseed (*Linum usitatissimum*). *Journal of Food Science*, 70(7), 504–507.
- Ramos, O. L., Pereira, R. N., Rodrigues, R. M., Teixeira, J. A., Vicente, A. A. y Malcata, F. X. (2015). *Whey and Whey Powders: Production and Uses. Encyclopedia of Food and Health* (1ra. edición, pp. 498 – 505). Oxford, Uk. Elsevier Ltd.
- Ratnayake, W. S., Geera, B. y Rybak, D. A. (2012). Effects of egg and egg replacers on yellow cake product quality. *Journal of Food Processing and Preservation*, 36(1), 21–29.
- Ray, B. (1915). *Egg substitute and method of making it. Patente N°13688.* Alabama, USA: Oficina de patentes de Estados Unidos.
- Robayo, M. y German, C. (2016). *Evaluación del efecto de la Sustitución de huevos por el Mucilago de chíá (salvia hispánica) en la Tecnología de pan de camote.* (Trabajo Final de Graduación). Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador. Recuperado de <http://redi.uta.edu.ec/bitstream/123456789/22882/1/AL602.pdf>
- Ronda, F., Oliete, B., Gómez, M., Caballero, P. A. y Pando, V. (2011). Rheological study of layer cake batters made with soybean protein isolate and different starch sources. *Journal of Food Engineering*, 102(3), 272–277.
- Roy-Choudhury, A. K. (2014a). *Colour-difference assessment. Principles of Colour and Appearance Measurement* (Vol. 2). (pp. 55 – 116). Cambridge, Uk. Woodhead Publishing Limited.
- Roy-Choudhury, A. K. (2014b). *Using instruments to quantify colour. Principles of Colour and Appearance Measurement.* (pp. 270 – 317). Cambridge, Uk. Woodhead Publishing Limited.
- Saha, D. y Bhattacharya, S. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: A critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(6), 587–597.

- Sahi, S. S. y Alava, J. M. (2003). Functionality of emulsifiers in sponge cake production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(14), 1419–1429.
- Sahin, S. y Sumnu, S. G. (Eds.). (2006). *Physical properties of food. Physical Properties of Foods*. New York, NY Springer.
- Sahraiyani, B., Naghipoor, F., Bagher, M., Najafi, H., Karimi, M., Haddad, M. H. y Davoodi, M. G. (2015). Production of eggless cake. *ResearchGate*.
- Sánchez, A., Sánchez, J. y Cardona, R. (2019). Results and limitations of epidemiological studies on food allergy. Focus on tropical countries. *Revista Alergia Mexico*, 66(1), 9–17.
- Sánchez, I., Borroso, M. y Careche, M. (2011). Instrumental Texture. En *Sensory Analysis of Foods of Animal Origin*. Boca Raton. Taylor & Francis Group.
- Sánchez, J. y Sánchez, A. (2015). Epidemiology of food allergy in Latin America. *Allergologia et Immunopathologia*, 43(2), 185–195.
- Sánchez, J. y Sánchez, A. (2019). Epidemiologic studies about food allergy and food sensitization in tropical countries. Results and limitations. *Allergologia et Immunopathologia* 47(4), 401–408.
- Seweryn, E., Królewicz, E., Stach, K. y Kustrzeba-wójcicka, I. (2018). Nutritional and allergenic properties of hen eggs. *Postepy Hig Med Dosw*, (72), 205–214.
- Shah, M., Mishra, G. y Christian, N. (2014). Development of Nutritionally Superior and Eggless Vegetarian Cookies by Using Chiaseed Flour. *Journal of Grain Processing and Storage*. 1(2), 54–58.
- Shao, Y. Y., Lin, K. H. y Chen, Y. H. (2015). Batter and Product Quality of Eggless Cakes Made of Different Types of Flours and Gums. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 2959–2968.
- Singh, K. K., Mridula, D., Rehal, J. y Barnwal, P. (2011). Flaxseed: A potential source of food, feed and fiber. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(3), 210–222.
- Singh, R. y Geetanjali. (2016). Whey Proteins and Their Value-Added Applications. En *Protein Byproducts*. (pp. 303-313). Londres, UK. Elsevier, Inc.
- Sitorus, N. y Julianti, E. (2015). Physicochemical and Functional Characterization of Egg Replacer Based on Protein Isolate, Starch, and Hydrocolloid. *Ilmu Dan Teknologi Pangan*, 3(4), 434–440.
- Smith, J. P., Daifas, D. P., El-Khoury, W., Koukoutsis, J. y El-Khoury, A. (2004).



- Shelf Life and Safety Concerns of Bakery Products - A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(1), 19–55.
- Soto-Quiros, M., Gutierrez, I., Calvo, N., Araya, C., Karlberg, J. y Hanson, L.A. (1998). Allergen sensitization of asthmatic and nonasthmatic schoolchildren in Costa Rica. *Allergy*. 53, 1141–1147.
- Strixner, T. y Kulozik, U. (2011). Egg proteins. En *Handbook of Food Proteins*. (pp. 150–209) Cambridge, Uk. Woodhead Publishing.
- Sumnu, S. G. y Sahin, S. (Eds.). (2008). *Food Engineering Aspects of Baking Sweet Goods*. Boca Raton, USA: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13(4), 215–225.
- Thrane, M., Paulsen, P. V., Orcutt, M. W. y Krieger, T. M. (2016). *Soy Protein: Impacts, Production, and Applications*. En *Sustainable Protein Sources*. Cambridge, UK. Elsevier Inc.
- Tiefenbacher, K. F. (2017). *The Technology of Wafers and Wafflers II*. Londres, UK. Elsevier Inc.
- Timilsena, Y. P., Adhikari, R., Kasapis, S. y Adhikari, B. (2016). Molecular and functional characteristics of purified gum from Australian chia seeds. *Carbohydrate Polymers*, 136, 128–136.
- Torres, J., González, K. y Acevedo, D. (2015). Análisis del Perfil de Textura en Frutas, Productos Cárnicos y Quesos. *ReCiTeIA*, 14(2), 63–75.
- Tsai, C. L., Sugiyama, J., Shibata, M., Kokawa, M., Fujita, K., Tsuta, M. y Araki, T. (2012). Changes in the texture and viscoelastic properties of bread containing rice porridge during storage. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 76(2), 331–335.
- Turabi, E., Sumnu, G., y Sahin, S. (2008). Rheological properties and quality of rice cakes formulated with different gums and an emulsifier blend. *Food Hydrocolloids*, 22(2), 305–312.
- Ugalde, H. C. (2002). *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*. (Trabajo Final de Graduación). Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Vaclavik, V. A. y Christian, E. W. (2014). *Essentials of Food Science* (4ta. ed.). Nueva York, USA. Springer Science+Business Media.

- Van Nieuwenhuyzen, W. y Tomás, M. C. (2008). Update on vegetable lecithin and phospholipid technologies. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 110(5), 472–486.
- Verhoeckx, K. C. M., Vissers, Y. M., Baumert, J. L., Faludi, R., Feys, M., Flanagan, S. y Kimber, I. (2015). Food processing and allergenicity. *Food and Chemical Toxicology*, 80, 223–240.
- Villalobos, M. G. (2008). *Elaboración de un puré de papaya híbrido Pococí para sustituir grasa en quequitos y “cheese cake”*. (Trabajo Final de Graduación). Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Villanueva, N. D. M., Petenate, A. J. y Da Silva, M. A. A. P. (2005). Performance of the hybrid hedonic scale as compared to the traditional hedonic, self-adjusting and ranking scales. *Food Quality and Preference*, 16(8), 691–703.
- Wilderjans, E., Luyts, A., Brijs, K. y Delcour, J. A. (2013). Ingredient functionality in batter type cake making. *Trends in Food Science and Technology*, 30(1), 6–15.
- Witczak, M., Ziobro, R., Juszczak, L. y Korus, J. (2016). Starch and starch derivatives in gluten-free systems - A review. *Journal of Cereal Science*, 67, 46–57.
- Woodfolk, J. A., Commins, S. P., Schuyler, A. J., Erwin, E. A. y Platts-Mills, T. A. E. (2015). Allergens, sources, particles, and molecules: Why do we make IgE responses? *Allergology International*, 64(4), 295–303.
- Zakariaeeabkoo, R., Allen, K. J., Koplin, J. J., Vuillermin, P. y Greaves, R. F. (2014). Are vitamins A and D important in the development of food allergy and how are they best measured? *Clinical Biochemistry*, 47(9), 804–811.
- Zeidanloo, M. H., Ghavidel, R. A. y Afshar, S. E. (2014). The evaluation of egg replacement with soy flour and guar gum in oil cake. *Int. J. Biosci*, 6655(10), 222–227.
- Zettel, V., y Hitzmann, B. (2018). Applications of chia (*Salvia hispanica* L.) in food products. *Trends in Food Science and Technology*, 80, 43–50.
- Zhou, J., Liu, J. y Tang, X. (2018). Effects of whey and soy protein addition on bread rheological property of wheat flour. *Journal of Texture Studies*, 49(1), 38–46.
- 巴勇 张军. (2011). *Method for producing flaxseed mucilage*. Patente N° CN102532334A.

## 9. APÉNDICES

### APÉNDICE A. Pruebas preliminares

**Cuadro 25.** Formulaciones evaluadas para la definición del quequito control.

Ingredientes	Formulación 1 Porcentaje (%)	Formulación 2 Porcentaje (%)	Formulación 3 Porcentaje (%)
Margarina	22,3	16,70	14,9
Azúcar	19,0	17,63	19,4
Huevo	25,0	21,79	8,9
Harina	26,0	26,85	29,8
Polvo de hornear	0,7	1,31	1,5
Sal	-	0,44	0,4
Leche en polvo	-	0,76	2,1
Leche	-	-	-
Jugo de naranja	7,0	-	-
Agua	-	14,25	22,3
Vainilla	-	0,27	0,7
<b>Total</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>



**Figura 21..** Formulación 1, 2 y 3 respectivamente.







Se hicieron las siguientes pruebas de sustitución de huevo en los quequitos:

**Prueba N°1:**



1. SC “no egg” siguiendo las indicaciones del fabricante.
2. WPC (13% p/p), para asemejar el porcentaje promedio de proteína del huevo entero.
3. WPC (13% p/p) con la adición de lecitina, para evaluar el efecto de la esta sobre la apariencia y textura de los quequitos. Se utilizó lecitina en cápsula y se agregó 0,5% con base en la harina.
4. ML, preparado a partir de una solución de linaza al 1% p/v, la cual se llevó a ebullición y se refrigeró hasta su uso.
5. H (Cuadro 7).

Los parámetros de tiempo/ temperatura que se utilizaron son: 180°C durante 25 minutos. La cantidad de los sustitutos fue equivalente a la masa en gramos de huevo dentro de la formulación (a excepción del sustituto comercial, que se utilizó siguiendo las indicaciones del fabricante). Se utilizaron cápsulas para quequitos n° 4 y se trabajó con la formulación control original (sin mejoras). El Cuadro 26 muestra los resultados de la primera prueba de sustitución de huevo.

**Cuadro 26.** Resultados de la primera prueba de sustitución de huevo.

Prueba	Fotos		Comentarios
SC			Quequitos más claros que el control y de menor volumen.
WPC (13%p/p).			Características similares al control (miga, corteza, textura). Con la diferencia de que se percibió un ligero sabor característico de la proteína de suero (sabor lácteo).
WPC (13%p/p) + lecitina			No se observaron diferencias visuales en corteza y miga entre los quequitos con WPC y WPC + lecitina. Al probar el quequito con WPC + lecitina se percibió

un aroma extraño (a cápsula o medicamento).

Prueba	Fotos	Comentarios
H		Se percibieron mejores características en el quequito control con los cambios que se realizaron en la formulación.
ML (1%p/v)		Quequitos más claros y de menor volumen que el control. La miga se percibió con mayor humedad que los demás quequitos. También se observó que el mucílago de linaza a la concentración utilizada no mantiene la estructura del quequito.

## Prueba N°2

Se evaluaron las siguientes sustituciones de huevo:

1. ML extraído de una solución de linaza al 5% p/v. preparado bajo las mismas condiciones que la prueba anterior.
2. Puré de papaya. Se preparó licuando la pulpa, hasta obtener una pasta.

**Cuadro 27.** Resultados de la segunda prueba de sustitución de huevo.

Prueba	Fotos	Comentarios
ML (5% p/v)		Miga muy húmeda, no logró mantener la estructura del quequito, por lo que se produce un desboronamiento de estos. El ML le confiere un color más claro con respecto a la formulación control. El sabor y el olor se percibió diferente al quequito control.

Puré de  
papaya



Miga muy húmeda, no logró mantener la estructura del quequito, por lo que se produjo un desboronamiento en la miga y la corteza. El puré de papaya le confirió un color anaranjado a la miga. El sabor y el olor se percibió muy diferente al quequito control.

### Prueba N° 3











Se evaluaron las siguientes sustituciones:

1. Formulación H. Se preparó con el objetivo de comparar volumen entre las diferentes formulaciones.
2. Puré de papaya y agua (60:40, respectivamente).
3. ML. Se preparó considerando lo sugerido por Flax Council Canada y SaskFlax (s.f.), para sustituir un huevo (60g) se utilizaron 15 g de semillas de linaza mezcladas con 45 mL de agua. Se preparó suficiente volumen y de este se utilizó únicamente el mucílago extraído de las semillas. La masa utilizada fue equivalente a la masa de huevo de la formulación.
4. Puré de papaya y ML (preparado igual que la sustitución 3), en una combinación de 67:33 (mucílago:puré). De forma adicional se agregó lecitina al 0,5% con base en la harina.
5. ML (preparado igual que la sustitución 3) con la adición de lecitina al 0,5% con base en la harina.
6. Combinación de goma guar (0,5%) y pectina (1,5%). La goma guar se preparó en solución con agua a 80°C con agitación constante y la pectina se adicionó al azúcar (se utilizó pectina de alto metoxilo).

Los parámetros de tiempo/ temperatura que se utilizaron son: 170°C durante 25 minutos, la mezcla de ingredientes se aireó adicionalmente durante dos minutos (al finalizar la incorporación de los ingredientes). La cantidad de los sustitutos fue equivalente a la masa en gramos de huevo dentro de la formulación. Se cambió el tamaño de las capsulas de #4 a 4 ½. Se agregaron 75 g de masa a

cada cápsula. El Cuadro 28 muestra los resultados de la tercera prueba de sustitución de huevo.

**Cuadro 28.** Resultados de la tercera prueba de sustitución de huevo.

Prueba	Fotos		Comentarios
H			Sin comentarios.
Puré de papaya y agua (60:40)			La combinación del puré de papaya con agua logró reducir el color anaranjado de la prueba anterior; sin embargo, aún se percibió la miga muy húmeda y no logró mantener la estructura del quequito.
ML + puré de papaya (67:33) + lecitina			Miga muy húmeda y la combinación de estos dos ingredientes no logró mantener la estructura del quequito, por lo que la corteza y la miga se separaron y desboronaron.
ML			No se logró mejorar las características del quequito a esta concentración de mucílago, se percibió la miga muy húmeda, y no logró mantener la estructura del quequito, por lo que se produce un desboronamiento y separación de la corteza.
ML + lecitina			La adición de lecitina no ayudó a mejorar las características de la sustitución con ML.

Goma  
guar +  
pectina



La combinación de estos dos ingredientes logró mantener la estructura de los quequitos; sin embargo, no se lograron las características deseadas para sustituir el huevo; además se percibió un olor “extraño” en el quequito.

## Prueba N°4

Se evaluaron las siguientes sustituciones:

1. CPS (13% p/p), preparada de la misma forma que WPC.
2. HA (considerando 25% de sólidos en el huevo).
3. ML (extraído de 2% de semillas de linaza).

Condiciones de proceso: Se llenaron con 75 g de mezcla en cada cápsula, temperatura igual a la prueba anterior. Los resultados se resumen en el Cuadro 29.

**Cuadro 29.** Resultados de la cuarta prueba de sustitución de huevo.

Prueba	Fotos	Comentarios
CPS (13%p/p).		Color más claro que el control. Miga de buenas características; no obstante, se percibió más húmeda y de menos volumen que el control. Se observaron espacios de aire en la miga.
HA (25%)		Corteza muy dura, miga se percibe gomosa o chiclosa, se observó una división en la corteza (pero no se separó), poca humedad, se observaron algunas secciones con aparente falta de cocción y mayor crecimiento que los demás.



ML (2% p/v)		Miga con alto contenido de humedad y ligeramente masuda. Color más claro que el control. Se observaron mejores características que las demás concentraciones de linaza.
-------------	---	---

## Prueba N°5





Se realizaron las siguientes evaluaciones de sustitución:

1. WPC (13%p/p). Se evaluó para observar la respuesta de la formulación al cambio de temperatura.
2. HA, considerando 20% de sólidos.
3. HA, considerando 12% de sólidos.

Cambios en el proceso: se cambió la temperatura y el tiempo de horneado (150 °C durante 25 minutos y 10 minutos adicionales a 170°C, haciendo un total de 35 minutos de horneado). Excepción: la combinación de harinas al 12% se trabajó con los parámetros anteriores (25 minutos, 170°C). El Cuadro 30 resume los resultados obtenidos en esta prueba.

**Cuadro 30.** Resultados de la quinta prueba de sustitución de huevo.

Prueba	Fotos	Comentarios
WPC (13% p/p).		Sabor lácteo debidos al WPC, menor crecimiento que el control. Textura y miga similar al control, y respondió bien a los nuevos parámetros de tiempo y temperatura (menor oscurecimiento de la corteza).

HA (20% sólido s)			Corteza dura, miga se percibe gomosa o chiclosa. Se observó una mejor formación de la miga debido al cambio de temperatura, se observó una división en la corteza (pero no se separó), poca humedad. Menor crecimiento que el control. Espacios de aire presentes en la miga.
HA (12%)			Se observó mejora en la textura y miga en comparación con la prueba al 20% de sólidos; no obstante, aún se percibió textura gomosa y espacios de aire en la miga. Hubo una mejor distribución de calor en el interior del queque (menos espacios húmedos).

## Prueba N°6




Se hicieron las siguientes sustituciones

1. Mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán (considerando 12 % de sólidos) (HA).
2. Mucílago de chía (extraído de una solución al 2% p/v de semillas de chía).
3. Mucílago de chía (extraído de una solución al 5% p/v de semillas de chía) (MC).

Condiciones de proceso: temperatura y el tiempo de horneado (150 °C durante 25 minutos y 10 minutos adicionales a 170°C, haciendo un total de 35 minutos de horneado). Las cápsulas se llenaron con 50 gramos de mezcla. Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 31.

**Cuadro 31.** Resultados de la sexta prueba de sustitución de huevo.

Prueba	Fotos	Comentarios
--------	-------	-------------

HA (12%) corregido		La corrección en la cantidad de goma xantán mejoró considerablemente la textura, apariencia y sabor del quequito. Menos espacios de aire en comparación con las pruebas anteriores, miga suave al tacto.
MC (2% p/v)		Miga suave, se percibió más húmeda que el control, color claro, leve desprendimiento de la corteza (se observó en algunos quequitos).
MC (5% p/v)		Se observaron mejores características que la prueba con mucílago de semillas de chía al 2% p/v. El quequito mantiene mejor su estructura.

## APÉNDICE B. Análisis amilográfico.

**Cuadro 32.** Condiciones de las formulaciones para el análisis amilográfico.

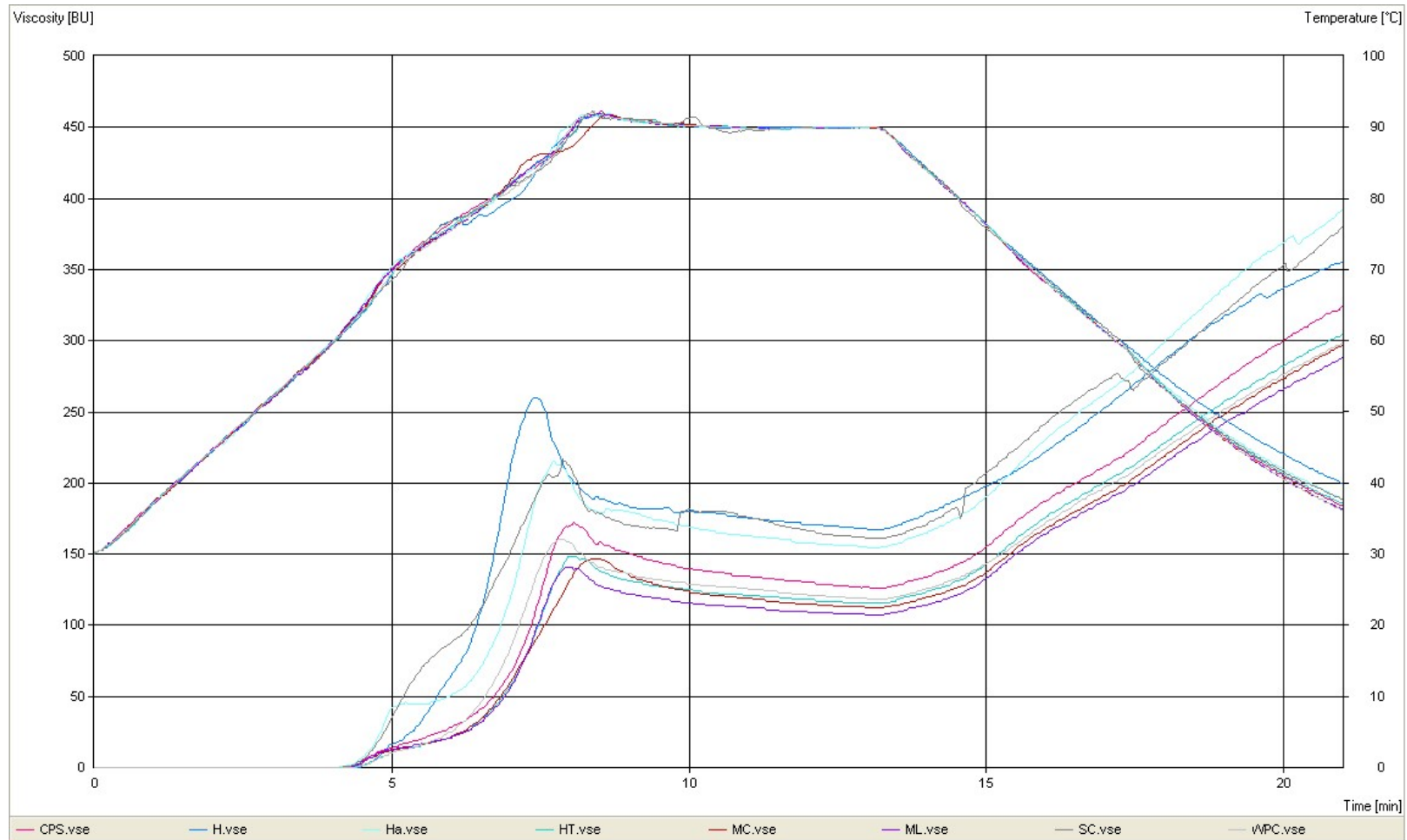
Huevo / sustituto	Masa huevo / sustituto (g)	Agua (ml)	Harina de trigo (g)
H	9,6	90,4	10
ML	9,6	90,4	10
MC	9,6	90,4	10
WPC	1,25	100	10
CPS	1,25	100	10
SC	1,60	100	10
HA	1,15	100	10

En la Figura B1 se observa el efecto del huevo y de los diferentes sustitutos evaluados en este estudio (HA, MC, ML, SC, WPC y CPS) sobre el perfil amilográfico de la harina de trigo (HT).

Se observa que el huevo (H) aumentó la viscosidad del amilograma de la harina de trigo (HT). Este efecto del huevo se reportó previamente por Abhay-Kumar *et al.* (2017). Y probablemente se debe a la coagulación de las proteínas del huevo, las cuales ejercen un trabajo sinérgico con el almidón durante el horneado, de tal manera que la estructura de los queques es resultado de la gelatinización del almidón y la coagulación de las proteínas del huevo (Hesso *et al.*, 2015).

Se destaca que el uso de HA y SC como sustitutos de huevo en la formulación aumentó la viscosidad, de tal manera que se acercaron a H. Esta similitud entre H, HA y SC coincide con lo observado en los parámetros físico-químicos y de textura, en los que HA se escogió como mejor sustituto debido a que se acercó en más parámetros a H que SC, como se discutió en la Sección 5.3.4.2.

Por otro lado, al sustituir el huevo por ML y MC se observa una disminución en la viscosidad de la formulación, lo que probablemente influyó en los resultados físico-químicos de estas dos formulaciones (discutidos en la Sección 5.1).



**Figura 22.** Perfil visco-amilográfico de las formulaciones. Harina de trigo (TH), Formulación con huevo (H), Mezcla de harinas de arroz-yuca y goma xantán (HA), Sustituto comercial “NO EGG” (SC), Concentrado de proteína de suero lácteo (WPC), Concentrado de proteína de soya (CPS), Mucílago de linaza (ML) y Mucílago de chía (MC).

## APÉNDICE C. Información nutricional de las harinas de arroz y yuca.

**Cuadro 33.** Información nutricional de la harina de arroz.

INFORMACIÓN NUTRICIONAL	
Tamaño por ración	50 g
Raciones por paquete	10
Energía (por ración)	785 kJ / 187 kcal
	Por ración:
	% valor diario:
<b>Grasa total</b> 1,5 g	2,5%
Grasa saturada 0 g	0%
Grasa trans 0 g	---
Grasa monoinsaturada 0 g	0%
Grasa poliinsaturada 0 g	0%
Colesterol 0 mg	0%
Sodio 6 mg	0,5%
<b>Carbohidratos totales</b> 40 g	13,5%
Fibra dietética 2 g	8%
Azúcares 0 g	0%
<b>Proteínas</b> 3 g	6%
<b>Vitamina A</b> 0%	Vitamina C 0%
Calcio 9%	Hierro 9%

Fuente: Fideos Precocidos de Costa Rica (2019).

**Cuadro 34.** Información nutricional de la harina de yuca.

INFORMACIÓN NUTRICIONAL	
Tamaño por ración	30 g
Raciones por paquete	15,1
Energía (por ración)	400 kJ / 100 kcal
	Por ración:
	% valor diario:
<b>Grasa total</b> 0 g	2%
Grasa saturada 0 g	
Grasa trans 0 g	
Colesterol 0 mg	0%
Sodio 0 mg	0%
<b>Carbohidratos totales</b> 24 g	8%
Fibra dietética 0g	0%
Azúcares 0 g	0%
<b>Proteínas</b> 1 g	
Fósforo 4%	Vitamina C 8%
Calcio 4%	Hierro 10%

Fuente: Jinca Foods (2019)

**APÉNDICE D.** Encuesta aplicada a los consumidores.

Encuesta N° \_\_\_\_\_

**DATOS PERSONALES****Sexo:** Femenino \_\_\_\_\_ Masculino \_\_\_\_\_**Edad:** 17 – 25  26 – 34  35 – 43  Mayor de 44 **Profesión:** \_\_\_\_\_**Lugar de residencia:** \_\_\_\_\_

**Indicaciones:** Conteste las siguientes preguntas marcando su respuesta con una “X”.

1. ¿Con qué frecuencia consume productos de repostería dulce (ejemplo: queques, galletas, budín, orejas, cachos, entre otros)?

Más de una vez a la semana

Una vez a la semana

Más de una vez al mes

Una vez al mes

Ocasionalmente

2. ¿Qué tipo de productos de repostería consume con mayor frecuencia?

Galletas

Quequitos

Pasteles

Otro: \_\_\_\_\_

3. ¿Usted padece alguna alergia alimentaria? ¿Cuál? Si su respuesta es no pase a la pregunta 4.

Gluten

- Leche
- Huevo
- Otra: \_\_\_\_\_

4. ¿Conoce a alguien con alergia al huevo?

- Si
- No

5. ¿En el mercado local ha visto productos de repostería con sustitutos de huevo?

- Si (indique cuál): \_\_\_\_\_
- No

6. Comentarios adicionales:

---

---

---

---

---

---

---