Evaluación del proceso de templado de chocolate en función de su composición y la temperatura del proceso

Danny Estyben Arciniegas Torres y Sofía Catalina Bohórquez Silva

Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniero Químico

Modalidad de Investigación.

Director

Luis Javier López Giraldo

Ing. Químico, PhD. Química Bioquímica y Ciencia de Alimentos

Codirector

Astrid Natalia González Morales

Ing. Química

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2026

Dedicatoria

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por permitirme contar con las facultades físicas y psicológicas necesarias para desarrollarlo hasta el final.

A mis padres, Alirio Arciniegas y Omaira Torres, por ser un pilar fundamental en mi vida, por su apoyo incondicional y por ayudarme a convertirme en la persona que soy hoy.

A mis hermanos, Johan Arciniegas y Fabián Arciniegas, por sus consejos y su respaldo constante en cada etapa de este proceso.

A mis amigos y compañeros de carrera, que caminaron junto a mí durante todos estos años de formación.

A todos ustedes, gracias por darme un pedacito de su apoyo.

Danny Arciniegas

Le dedico este logro a mi Padre Celestial, por ayudarme a superar cada obstáculo, por darme su fuerza, amor y gozo durante este lindo, pero al mismo tiempo difícil proceso. Por ser mi motor, mi guía y el amor más lindo de mi vida.

A mis padres, Willinthon Bohórquez y Rocio Silva, por hacer todo lo posible para ayudarme a cumplir esta gran meta, por su amor incondicional y por creer en mí, incluso cuando yo misma lo veía difícil. Este logro es por y para ustedes.

A mis demás familiares, por ayudarme a mantener la fe y la esperanza en los momentos en que sentía que el camino se volvía más largo.

A mis amigos, por escucharme siempre, por acompañarme y por ayudarme a sobrellevar el estrés y la angustia durante este proceso.

Y a todas las personas que se montaron en mi tren durante este recorrido por mi vida universitaria, gracias por dejarme tantas enseñanzas, aprendizajes y recuerdos que contribuyeron a convertirme en la gran mujer que soy.

Sofía Bohórquez

Agradecimientos

Agradecemos inicialmente a Dios, por permitirnos culminar esta etapa de nuestra formación académica y por brindarnos la sabiduría, la fortaleza y la resistencia necesaria para superar los obstáculos que se presentaron a lo largo de este camino.

A nuestros directores, el profesor Luis Javier López, la ingeniería Astrid Natalia Gonzále y el grupo de investigación CICTA, por permitirnos desarrollar esta investigación bajo su orientación, por su asesoría, acompañamiento y disposición por cada etapa de proyecto.

Asimismo, agradecemos a las personas que hacen parte del laboratorio, por brindarnos su apoyo, conocimiento y colaboración durante el desarrollo de la fase experimental.

A nuestros queridos padres y demás familiares y amigos, por su amor, fortaleza, compañía, motivación y enseñanzas; por escucharnos, apoyarnos en nuestros sueños durante esta larga trayectoria.

Finalmente, agradecemos a la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingeniería Química, por contribuir a nuestra formación no solo como profesionales, sino también como personas íntegras, brindándonos las herramientas y conocimientos necesarios para afrontar los desafíos de nuestra vida profesional.

Tabla de contenido

Introducción 6

1. Objetivos 9

1.1 Objetivo General 9

1.2 Objetivos Específicos 9

2. Estado del arte 10

3. Metodología 13

3.1 Metodología Experimental 13

3.1.1 Caracterización de materia prima 13

3.1.2 Elaboración de las muestras de chocolate 14

3.1.3 Moldeo, enfriamiento y desmoldeo 14

3.1.4. Determinación de las propiedades físicas 14

3.2 Desarrollo experimental 15

3.2.1 Fase I. Determinación de las condiciones de templado 15

3.2.2 Fase II: Evaluación del efecto de la adición de manteca de cacao 15

3.2.3 Evaluación sensorial Panel I 16

3.2.4 Fase III. Evaluación del efecto de la adición de azúcar y leche 17

3.2.4.1 Formulación de las mezclas de chocolate 18

3.2.5 Evaluación sensorial Panel II 19

3.3 Análisis estadístico 19

4.Resultados ***20***

4.1 Preliminar 20

4.1.1 Resultados del análisis de varianza y prueba de Tukey 21

4.2 Fase I. Determinación de las condiciones de templado 23

4.2.1 Resultados del análisis de varianza y prueba de Tukey 23

4.2.2 Discusión de las propiedades físicas 24

4.2.3 Reconfiguración de la Fase I 26

4.2.3.1 Resultados del análisis de varianza y prueba de Tukey 26

4.2.3.2 Discusión de las propiedades físicas 27

4.3 Fase II: Evaluación del efecto de la adición de manteca de cacao 28

4.3.1 Resultados del análisis de varianza y prueba de Tukey 28

4.3.2 Discusión de las propiedades físicas 28

4.4 Panel sensorial 1 30

4.4.1 Resultados del análisis de varianza y prueba de Tukey 30

4.4.2 Discusión de las propiedades sensoriales Panel I 31

4.4.3 Discusión de las propiedades físicas y sensoriales 33

4.5 Fase III. Evaluación del efecto de la adición de azúcar y leche 34

4.5.1 Resultados del análisis de varianza y prueba de Tukey 34

4.5.1.1 Formulación 1: 65 % licor de cacao (LC), 5 % manteca de cacao (MC), 30 % azúcar (A) 35

4.5.1.2 Formulación 2: 65 % licor de cacao (LC), 5 % manteca de cacao (MC), 20 % azúcar (A), 10 % leche en polvo (LP) 36

4.5.1.3 Formulación 3: 65 % licor de cacao (LC), 5 % manteca de cacao (MC), 10 % azúcar (A), 20 % leche en polvo (LP) 37

4.5.1.4 Formulación 4: 65 % licor de cacao (LC), 5 % manteca de cacao (MC), 30 % leche en polvo (LP) 38

4.6 Panel sensorial II 39

4.6.1 Resultados del análisis de varianza y prueba de Tukey 39

4.6.2 Discusión de las propiedades sensoriales Panel II 40

4.6.3 Discusión de las propiedades físicas y sensoriales 42

5. Conclusiones ***44***

6. Recomendaciones ***45***

Referencias bibliográficas ***47***

Apéndices ***55***

Lista de tablas

Tabla 1 Resultados del diseño experimental preliminar sobre sus variables de respuesta . 21

Tabla 2 Evaluación sensorial del Panel I paras las muestras de chocolate 31

Tabla 3 Evaluación de las propiedades físicas y sensoriales de la Fase I y II 33

Tabla 4 Evaluación sensorial del Panel II para las diferentes formulaciones de chocolate 39

Tabla 5 Consolidado de las propiedades físicas y sensoriales de la Fase III 43

Tabla 6 Condiciones de procesamiento operativo y control ambiental durante las pruebas de templado 44

Lista de Figuras

Figura 1 Efecto de la temperatura de recalentamiento (31, 32 y 33 °C) y el tiempo de cristalización (3, 5 y 8 min) sobre las propiedades físicas del chocolate (tiempo de reposo a temperatura ambiente de 5 min seguido de refrigeración durante 30 min) 23

Figura 2 Efecto de la temperatura de recalentamiento (31 y 32 °C) y el tiempo de recalentamiento (3, 5, y 8 min) en el diseño experimental de reconfiguración de la Fase I sobre las propiedades físicas del chocolate (tiempo de reposo a temperatura ambiente de 5 min seguido de refrigeración durante 30 min)..... 27

Figura 3 Efecto de la temperatura de cristalización (27, 28 y 29 °C) y el porcentaje de adición de manteca de cacao (5, 10, 15%) sobre las propiedades físicas de chocolate (tiempo de reposo a temperatura ambiente de 5 min de refrigeración durante 30 min) 29

Figura 4 Perfil sensorial comparativo de las formulaciones de chocolate (muestras R, 472, 517 y 901) en función de los atributos de brillo y apariencia, snap, fluidez y textura, amargor, astringencia y calificación global 32

Figura 5 Comparación de las propiedades físicas de la muestra control y las formulaciones F1–F4 sobre las propiedades físicas del chocolate (tiempo de reposo a temperatura ambiente de 5 min y refrigeración durante 30 min) 34

Figura 6 Registro fotográfico del comportamiento visual durante la solidificación de una muestra de chocolate en el equipo Minitemper 35

Figura 7 Perfil sensorial comparativo de las formulaciones de chocolate (muestras 109,362,658 y 847) en función de los atributos de brillo y apariencia, snap, fluidez y textura, amargor, astringencia y calificación global 40

Figura 8 Porcentaje de preferencia global de las formulaciones de chocolate por parte de panel sensorial 42

Lista de apéndices

Apéndice A Información metodológica complementaria ***55***

Apéndice B Diseños experimentales ***59***

Apéndice C. Material de evaluación sensorial y Documentación Ética ***62***

Apéndice D. Análisis estadísticos de Preliminar ***71***

Apéndice E. Análisis estadísticos Fase I ***73***

Apéndice F. Análisis estadísticos de Reconfiguración de la Fase I ***75***

Apéndice G. Análisis estadísticos de la Fase II ***77***

Apéndice H. Panel sensorial I ***79***

Apéndice I. Análisis estadísticos de la evaluación sensorial de Panel I ***82***

Apéndice J Análisis estadísticos de las propiedades físicas y sensoriales de Panel I ***84***

Apéndice K. Análisis estadísticos de la Fase III formulación 1 ..... ***85***

Apéndice L. Análisis estadísticos de la Fase III F2 ..... ***89***

Apéndice M. Análisis estadísticos de la Fase III F3 ..... ***93***

Apéndice N. Análisis estadísticos de la Fase III F4 ..... ***97***

Apéndice O. Panel sensorial II ***101***

Apéndice P. Análisis estadísticos de la evaluación sensorial de Panel II ***104***

Apéndice Q. Análisis estadísticos de las propiedades físicas y sensoriales de Panel II ***106***

Apéndice R. Registro fotográfico de proceso experimental ***107***

Resumen

Título: Evaluación del proceso de templado de chocolate en función de su composición y temperatura del proceso.*

Autor: Danny Estyben Arciniegas Torres, Sofía Catalina Bohórquez Silva.**

Palabras Clave: Templado, Chocolate, componentes, cristalización, formulación.

Descripción: El chocolate es una materia prima rica en manteca de cacao, cuya cristalización determina en gran medida la calidad final del chocolate. El templado es la etapa de pre cristalización dirigida que induce la formación de la forma polimórfica estable V (β2), responsable del brillo, la dureza y el "*snap*" característicos del producto, estas condiciones dependen tanto del proceso como de la composición de la formulación; por ello, este trabajo determinó las condiciones de temperatura y tiempo de templado de chocolate negro en función de su composición, evaluando el efecto de las rampas de templado, la adición de manteca de cacao, la adición de azúcar y leche en polvo. Las formulaciones se caracterizaron mediante punto de fusión (fusiómetro), brillo superficial (ImageJ), dureza (penetrómetro) y *snap* (sistema sonorizado con medición de decibeles), procesando los resultados en el software Statistica mediante ANOVA y prueba de Tukey. Las condiciones más favorables de templado correspondieron a fusión a 45 °C/5 min, enfriamiento a 27 °C/8 min y recalentamiento a 31 °C/8 min, con un *snap* de 35-40 dB y penetración de 1-2 mm. Bajo estas condiciones, la adición de un 5 % de manteca de cacao mejoró el desempeño global del producto, mientras que porcentajes superiores redujeron la dureza y el *snap*, aunque incrementaron levemente el brillo; asimismo, se evidenció que el azúcar incrementa la dureza del chocolate al aportar partículas sólidas cristalinas dispersas en la matriz grasa, mientras que la grasa láctea de la leche diluye la manteca de cacao y ralentiza su cristalización, otorgando mayor fluidez y suavidad al producto; en consecuencia, cada formulación enriquecida requirió condiciones de templados particulares, ajustadas según las materias primas incorporadas. En conclusión, las condiciones de proceso y la composición del chocolate influyen significativamente en la calidad estructural y sensorial del producto templado.

* Trabajo de grado.
** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.
Director: Luis Javier López Giraldo. Ingeniero Químico, Ph.D. en Bioquímica y Ciencia de Alimentos. Codirectora: Astrid Natalia González Morales. Ingeniera Química.

Abstract

Title: Evaluation of the chocolate tempering process as a function of composition and process temperature.*

Author: Danny Estyben Arciniegas Torres, Sofía Catalina Bohórquez Silva**

Keywords: Tempering, Chocolate, composition, crystallization, formulation.

Description: Chocolate is a raw material rich in cocoa butter, whose crystallization largely determines the final quality of the product. Tempering is a controlled precrystallization stage that promotes the formation of the stable polymorphic form V (β2), responsible for the characteristic gloss, hardness, and snap. These conditions depend on both the process and the formulation composition. Therefore, this study determined the temperature and time conditions for dark chocolate tempering ramps, the addition of cocoa butter, and the addition of sugar and powdered milk. The formulations were characterized in terms of melting point (melting point apparatus), surface gloss (ImageJ), hardness (penetrometer), and snap (sound-based system with decibel measurements). The results were processed in Statistica using analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test. The most favorable tempering conditions were melting at 45 °C for 5 min, cooling to 27 °C for 8 min, and reheating to 31 °C for 8 min, with a snap of 33-40 dB and a penetration of 1-2 mm. Under these conditions, adding 5 % of cocoa butter improved overall performance, whereas higher percentages reduced hardness and snap, although they slightly increased gloss. Likewise, sugar increases hardness by providing dispersed crystalline solid particles within the fat matrix, while milk fat dilutes the cocoa butter and slows its crystallization, resulting in greater fluidity and softness. Consequently, each enriched formulation required specific tempering conditions adjusted according to the raw materials incorporated. In conclusion, the processing conditions and the chocolate composition significantly influence the structural and sensory quality of the tempered product.

*Bachelor's thesis.

** Faculty of Physicochemical Engineering. School of Chemical Engineering. Advisor: Luis Javier López Giraldo. Chemical Engineer, Ph.D. in Biochemistry and Food Science.
Co-advisor: Astrid Natalia González Morales. Chemical Engineer.

Introducción

El chocolate es uno de los productos de confitería más consumidos a nivel mundial, y su calidad fina, brillo, dureza y fractura característica "*snap*" depende en gran medida del proceso de templado. Esta etapa consiste en una pre-cristalización dirigida de la manteca de cacao, que busca favorecer la formación de su forma polimórfica más estable, la forma V (β2), la cual presenta un punto de fusión entre 32 y 34 °C y le confiere al producto una textura y un comportamiento de fusión óptimos (Afoakwa & Paterson, 2011),(Stobbs et al., 2025). El templado se desarrolla en tres etapas: fusión completa de los cristales preexistentes (45-50 °C), enfriamiento controlado para promover la nucleación (26-29 °C) y un recalentamiento final (30-32 °C) que permite fundir los cristales inestables y conservar la forma deseada (Afoakwa et al., 2008a).

Un templado deficiente tiene consecuencias directas sobre la calidad y la vida útil del producto. Chocolates sometidos a regímenes de templado inadecuados presentan defectos físicos y mayor propensión al *fat bloom*, lo que se traduce en pérdida de brillo, cambios de textura y menor aceptación del producto por parte del consumidor (Afoakwa et al., 2008b). Por esta razón, el control preciso de la temperatura y el tiempo durante el templado ha sido ampliamente estudiado, y en años recientes se han explorado alternativas para optimizarlo, desde el uso de componentes lipídicos minoritarios que aceleran la cristalización y estabilizan la forma V (J. Chen et al., 2021) , hasta modelos de superficie de respuesta que permiten predecir el comportamiento térmico del chocolate a partir de la distribución del tamaño de partícula y el contenido graso (Afoakwa et al., 2008a).

Sin embargo, el templado no depende únicamente de las condiciones de proceso, sino también de la composición del chocolate. La manteca de cacao adicionada, el azúcar y la

leche en polvo modifican de forma significativa el comportamiento reológico y mecánico de la mezcla. La adición de equivalentes o de manteca de cacao adicional acelera la cinética de cristalización y modifica las propiedades físicas del producto, según la proporción empleada (Castro-Alayo et al., 2023). De forma similar, se ha demostrado que el azúcar incrementa la dureza y la tenacidad a la fractura del chocolate (mayor módulo de Young), mientras que la leche en polvo genera el efecto contrario, reduciendo estas propiedades mecánicas(Y. Chen et al., 2022); ambos ingredientes exigen así ajustes específicos en las condiciones de templado según su proporción en la formulación.

A pesar de que la relación entre el templado y la calidad del chocolate ha sido objeto de numerosos estudios, existen pocas investigaciones que aborden de manera integrada cómo el contenido de grasa particularmente la adición de manteca de cacao interactúa con otros componentes clave de la formulación, como el azúcar y la leche, para definir las condiciones óptimas de temperatura y tiempo durante el templado. La mayoría de los trabajos previos se han concentrado en el uso de grasas alternativas o de componentes minoritarios (como la lecitina de soya o saborizantes) para ajustar estos parámetros, dejando un vacío respecto al efecto combinado de la composición tradicional del chocolate sobre su comportamiento térmico y estructural. Esta escasez de investigaciones enfocadas en la adición de manteca de cacao resulta particularmente relevante en el contexto del desarrollo de alimentos funcionales que buscan evitar el uso de grasas sustitutas, dado que comprender su efecto individual y combinado con otros ingredientes permitiría formular productos de mayor calidad sin recurrir a este tipo de aditivos.

Con base en lo anterior, en este trabajo se evaluó el efecto de la composición del chocolate, en función del contenido de manteca de cacao adicionada, azúcar y leche, sobre las condiciones óptimas de temperatura y tiempo del proceso de templado, con el fin de

aportar criterios que permitan mejorar el control de esta etapa crítica en la producción de coberturas de chocolate. De acuerdo con este objetivo, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿cuáles son las condiciones más favorables de temperatura y tiempo de templado que permiten obtener un chocolate con unas propiedades físicas favorables (brillo, *snap*, punto de fusión y penetración), en función de la composición del chocolate?

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar las condiciones de templado de coberturas de chocolate en función de su composición y de la temperatura del proceso.

1.2 Objetivos Específicos

- Establecer las mejores condiciones de temperatura, tiempo de templado y maduración de coberturas de chocolate, evaluando su efecto sobre las propiedades físicas y sensoriales.
- Identificar la temperatura óptima de la fase de enfriamiento variando el porcentaje de manteca de cacao y evaluando su influencia sobre las propiedades físicas y sensoriales.
- Evaluar el efecto de la adición de azúcar y leche sobre las condiciones de templado y sobre las propiedades físicas y sensoriales del producto final.

2. Estado del arte

El templado es una etapa clave en la fabricación de chocolate, ya que define propiedades como el brillo, la textura, la resistencia al *fat bloom* y la vida útil. Este proceso depende del control de la temperatura y el tiempo, cuyas variaciones pueden afectar la calidad del producto, favoreciendo defectos o alterando sus propiedades. Por ello, su optimización ha sido ampliamente estudiada (Afoakwa & Paterson, 2011).

Se han desarrollado modelos computacionales para predecir la distribución de temperatura durante el templado, permitiendo optimizar el enfriamiento y la formación de cristales estables (Bettens et al., 2009; Debaste et al., 2008); asimismo, se han identificado condiciones óptimas para el chocolate oscuro tipo cobertura, como 45 °C en fundición y 32,5 °C en recalentamiento, que mejoran la dureza y el brillo, además de evidenciar la influencia del enfriamiento controlado en la calidad final (Grob et al., 2021; Rosmindari et al., 2023). Por otra parte, el contenido de grasa (30–35 %) y el tamaño de partícula afectan la cristalización, observándose mayor estabilidad a mayores contenidos grasos (Afoakwa et al., 2008a). En este contexto, la oleo gelación con cera de abejas y manteca de cacao ha surgido como alternativa para estructurar aceites, influyendo en la textura y el comportamiento de fusión (Ristanti et al., 2018). Finalmente, técnicas reológicas permiten monitorear la viscosidad y la cristalización durante el templado (Briggs & Wang, 2004; J. Hendrik et al., 2023) y equipos como el *melanger* representan opciones viables para producción a pequeña escala (Hinneh et al., 2019).

A pesar de ser un área ampliamente estudiada, existen pocas investigaciones que aborden cómo el contenido de grasa, particularmente la adición de manteca de cacao y su interacción con otros componentes clave de la formulación como el azúcar y la leche, influye

en las condiciones de templado del chocolate. En contraste, la mayoría de los estudios se han centrado en el uso de grasas alternativas para el ajuste de estos parámetros.

En el estudio realizado por Chen et al. (2021), se evaluó el efecto de la adición de componentes lipídicos menores (como fosfolípidos) en bajas concentraciones (~0.1 % p/p) sobre el proceso de cristalización de la manteca de cacao y el templado del chocolate. Los resultados evidenciaron que la incorporación de fosfatidilcolina y fosfatidiletanolamina, seguida de un enfriamiento rápido a 20 °C, permitió acelerar la cinética de cristalización y favorecer la aparición de la forma polimórfica estable V (β2), obteniendo chocolates con microestructura, brillo y resistencia mecánica comparables a productos correctamente templados. Además, se observó que estos componentes actúan como sitios de nucleación, modulando el crecimiento cristalino y estabilizando la red estructural, lo que sugiere que pequeñas variaciones en la composición lipídica pueden influir significativamente en las condiciones requeridas para el templado.

Castro-Alayo et al. (2023), estudiaron el efecto de diferentes condiciones de templado y la incorporación de equivalentes de manteca de cacao (mezclas con aceite de coco y aceite de sacha inchi en proporciones de 55/45 y 65/35) sobre la cinética de cristalización, el polimorfismo y las propiedades físicas del chocolate oscuro. Los resultados evidenciaron que tanto la formulación lipídica como el régimen de templado influyen significativamente en la velocidad de cristalización, reduciéndola hasta aproximadamente 7 minutos, y favoreciendo la formación de la forma polimórfica estable β2 en más del 90% de los cristales; asimismo, se observó que las propiedades reológicas, texturales y de fusión se mantuvieron dentro de rangos aceptables, lo que sugiere que la modificación de la fase grasa, junto con un adecuado control del templado, permite obtener chocolates con características de calidad comparables a los convencionales.

Por otro lado, Quast et al. (2013), identificó cómo la adición de grasas alternativas (CBR “Cocoa Butter Replacer - Reemplazo de manteca de cacao” y CBS “Cocoa Butter Substitute - Sustituto de manteca de cacao”) en concentraciones del 5 % al 30 % y la aplicación de un proceso de pre cristalización (enfriamiento a 23–24 °C y recalentamiento a 31 °C) afectaban las propiedades físicas de la manteca de cacao. Se evidenció que el CBR es compatible con la manteca de cacao hasta en un 20 %, manteniendo perfiles de sólidos y dureza adecuados, mientras que el CBS genera efectos eutécticos (incompatibilidad cristalina que reduce el punto de fusión de la mezcla) que reducen drásticamente el contenido de grasa sólida y la resistencia mecánica (*snap*) de las barras. A pesar de estas diferencias, los resultados de difracción de rayos X confirmaron que el proceso de templado indujo con éxito la forma polimórfica estable β2 en todas las mezclas evaluadas.

También Torbica et al. (2016), en la adición de análogos de manteca de cacao (dos equivalentes y un mejorador) en concentraciones del 3, 5 y 7 %, variando la temperatura de cristalización entre 25, 27 y 29 °C, evidenciaron como esta afectaba las propiedades del chocolate; se constató que, mientras los equivalentes (CBE "Cocoa Butter Equivalents - Equivalentes de manteca de cacao”) mantuvieron una calidad sensorial y dureza similar al control, el mejorador (CBI “Cocoa Butter Improvers - Mejoradores de manteca de cacao”) incrementó significativamente la dureza del producto, determinándose que la temperatura de 25 °C proporciona los parámetros de textura más uniformes.

En el estudio realizado por Chen et al. (2022), se evaluó cómo la adición de azúcar y leche en polvo afecta las propiedades mecánicas y la textura del chocolate sólido mediante pruebas de compresión uniaxial y de fractura de cuña. Se evidenció que la adición de azúcar incrementa el módulo de Young y la tenacidad, produciendo un chocolate más duro y resistente a las grietas; por el contrario, la leche en polvo disminuye la dureza y aumenta la

fragilidad del producto. Además, los resultados demostraron que en formulaciones mixtas el azúcar tiene una influencia predominante en la dureza, mientras que la leche en polvo afecta mayormente la elasticidad y la susceptibilidad a deformaciones permanentes.

En conjunto, los estudios revisados evidencian que tanto las condiciones de templado como la composición del chocolate, especialmente el contenido y tipo de grasa, influyen significativamente en la formación de la estructura cristalina y en las propiedades finales del producto; sin embargo, la escasez de investigaciones enfocadas en la adición de manteca de cacao resulta particularmente relevante en el contexto del desarrollo de alimentos funcionales que buscan evitar el uso de grasas sustitutas. En este sentido, persiste la necesidad de estudiar de manera integrada la influencia del contenido de manteca de cacao, junto con la adición de azúcar y leche, y las variables de proceso sobre la calidad del chocolate. Bajo este contexto, el presente estudio se orienta a determinar las condiciones óptimas de templado de coberturas de chocolate en función de su composición y de la temperatura del proceso, evaluando el efecto del porcentaje de manteca de cacao, así como de la incorporación de azúcar y leche, sobre las propiedades físicas y sensoriales del producto.

3. Metodología

3.1 Metodología Experimental

3.1.1 Caracterización de materia prima

Se recopiló el análisis bromatológico del licor de cacao proveniente de Boyacá, previamente realizado por el grupo de investigación CICTA. Para la elaboración de las formulaciones de chocolate, las materias primas empleadas (Licor de cacao, la manteca de cacao, el azúcar y la leche en polvo) fueron suministradas por el grupo de investigación para el desarrollo del proyecto.

3.1.2 Elaboración de las muestras de chocolate

Para la elaboración de chocolate se empleó la metodología propuesta por Pirouzian et al. (2020) donde se favorecen parámetros como la temperatura, el tiempo y las proporciones de los ingredientes para lograr el sabor, la textura y la apariencia deseados, con modificaciones de acuerdo con los objetivos del presente estudio. Para cada corrida experimental se prepararon 100 g de licor de cacao, los cuales fueron pesados en una balanza analítica. Posteriormente, el licor fue fragmentado para ser introducido en la templadora (MiniTemper, Pavoni Italia, Italia), donde se realizó el proceso de templado.

El proceso de templado constó de tres etapas, la primera correspondió a la fundición, en la cual el licor de cacao se calentó hasta 45 °C durante 5 minutos. Posteriormente, se realizó la etapa de enfriamiento, reduciendo la temperatura hasta 27 °C, donde el chocolate permaneció durante un tiempo determinado, según el diseño experimental (Quiñones-Muñoz et al., 2011). Finalmente, se llevó a cabo la etapa de recalentamiento, incrementando nuevamente la temperatura hasta el valor establecido para cada tratamiento experimental y manteniéndola durante el tiempo defino en el diseño experimental (Chire et al., 2024; Giacomozzi, 2021).

3.1.3 Moldeo, enfriamiento y desmoldeo

Una vez finalizado el proceso de templado, el chocolate fue sometido a un proceso de moldeo, enfriamiento y desmoldeo. El procedimiento detallado de estas fases se ejecutó siguiendo el protocolo estandarizado descrito en el Apéndice A.

3.1.4. Determinación de las propiedades físicas

Las propiedades físicas del chocolate fueron evaluadas mediante las metodologías descritas en el Apéndice A. Se evaluaron el brillo por el método de reflectancia en una cabina para fotos (Gutiérrez, 2017), el *snap* en una cabina aislada con medición de decibeles (J.

Hendrik et al., 2023), el punto de fusión con un fusiómetro Hannon (Bikos et al., 2023) y la penetración con un penetrómetro Anton Paar (Marangoni, 2004). Cada una de estas propiedades fue evaluada en las diferentes etapas de la investigación. Todas las mediciones se realizaron por duplicado.

3.2 Desarrollo experimental

3.2.1 Fase I. Determinación de las condiciones de templado

Siguiendo los protocolos descritos en los incisos 3.1.2, 3.1.3 y 3.1.4, se desarrolló la primera Fase de la investigación, cuyo objetivo fue determinar las condiciones de templado que permitieran obtener las mejores propiedades físicas del licor de cacao al 100 %. Las muestras se sometieron a una etapa de fundición a 45 °C durante 5 min y a una etapa de enfriamiento a 27 °C.

Se empleó un diseño factorial 3^2, considerando como factores el tiempo de cristalización (3, 5 y 8 min) y la temperatura de recalentamiento (31, 32 y 33 °C). Los niveles evaluados para cada factor se presentan en la Tabla B1 (Apéndice B).

Con base en los resultados obtenidos en las propiedades físicas, se seleccionaron las dos condiciones de templado con mejor desempeño. Sobre estas dos condiciones se desarrolló un segundo diseño experimental 2 x 3, en el cual se evaluó el efecto de tiempo de recalentamiento (3, 5 y 8 min) sobre las dos condiciones previamente seleccionadas.

3.2.2 Fase II: Evaluación del efecto de la adición de manteca de cacao

Una vez determinada la condición de templado en la Fase I, se desarrolló la segunda Fase de la investigación, cuyo objetivo fue evaluar el efecto de la adición de manteca de cacao sobre las propiedades físicas del chocolate.

Para ello, se utilizó el mismo procedimiento de elaboración descrito en la sección 3.1.2, incorporando manteca de cacao en proporciones 5 %, 10 % y 15 % (p/p) con respecto

a la masa total de la formulación. Las muestras fueron elaboradas empleando el tiempo de cristalización y el tiempo de recalentamiento determinado en la Fase I, mientras que la temperatura de cristalización se evaluó en tres niveles (27, 28 ,29°C), de acuerdo con el diseño experimental presentando en la Tabla B2 (Apéndice B).

Las formulaciones fueron evaluadas mediante las propiedades físicas descritas en la sección 3.1.4. Posteriormente, se seleccionaron las formulaciones con mejor desempeño para ser evaluadas mediante el Panel Sensorial I, descrito en la sección 3.2.3.

3.2.3 Evaluación sensorial Panel I

Con el fin de complementar la evaluación de las propiedades físicas, se realizó un panel sensorial utilizando como muestras de chocolate elaborada bajo la condición elegida determinada en la Fase I (Muestra de control) y las tres formulaciones con adición de manteca de cacao (5 %, 10% y 15 %) obtenidas en la Fase II. La evaluación tuvo un enfoque cuantitativo, de carácter descriptivo y experimental, bajo un diseño de bloques completos al azar.

El panel estuvo conformado por 15 jueces semientrenados, tamaño representativo conforme a la norma ISO 6658 (International Organization for Standardization, 2017) para pruebas sensoriales con evaluadores capacitados. Este número permitió obtener información confiable sobre la percepción de las muestras. Participaron profesionales y/o estudiantes de Ingeniería Química, Química o áreas afines, que desarrollan actividades académico-administrativas en el Parque Tecnológico Guatiguará de la Universidad Industrial de Santander, quienes manifestaron su disponibilidad para participar y cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión establecidos y avalados por el CEINCI de la UIS.

Las sesiones se llevaron a cabo en las instalaciones del laboratorio 405, garantizando un ambiente tranquilo, con iluminación natural y temperatura controlada. Cada juez dispuso

de un puesto individual equipado con un vaso de agua potable, galletas de sabor neutro, servilletas, un formulario digital y su glosario para la calibración de los atributos sensoriales (Apéndice C). Antes de iniciar la evaluación, los investigadores explicaron a los jueces los objetivos de la investigación, el procedimiento de la sesión y el significado de cada uno de los atributos evaluados. Posteriormente, los participantes leyeron y firmaron el consentimiento informado.

Los jueces evaluaron los atributos sensoriales de las muestras distribuidos en cuatro fases: fase visual (brillo y apariencia), fase auditiva (*snap*), fase bucal (fluidez y textura) y fase gustativa (amargor y astringencia), además de una evaluación global de chocolate. Cada atributo fue calificado mediante una escala hedónica de diez puntos. La información obtenida en esta evaluación se utilizó como criterio complementario a las propiedades físicas para seleccionar la formulación que continuó a la Fase III de la investigación.

3.2.4 Fase III. Evaluación del efecto de la adición de azúcar y leche

Una vez seleccionada la formulación con mejor desempeño en la Fase II, se desarrolló la tercera Fase de la investigación, cuyo objetivo fue evaluar el efecto de la adición de azúcar y leche sobre las propiedades físicas y sensoriales del chocolate.

Para la elaboración de las formulaciones se empleó la metodología descrita en la Fase I, complementada con el procedimiento propuesto por Sarfarazi (2020), con algunas modificaciones. A diferencia de las etapas anteriores, fue necesario incorporar un proceso de refinado y conchado previo al templado con el fin de obtener una mezcla homogénea y reducir el tamaño de partícula.

Inicialmente, el licor de cacao, la manteca de cacao, el azúcar previamente refinado y la leche en polvo fueron incorporados en un molino refinador de piedras (Melanger CocoaTown 12SLTA, Estados Unidos). El licor de cacao se fundió mediante la fricción

generada por el equipo y el apoyo de una pistola de calor evitando temperaturas elevadas. Posteriormente, se adicionó la manteca de cacao sólida, seguida del azúcar previamente refinado y, finalmente la leche en polvo.

El proceso de refinado-conchado continuó hasta obtener un tamaño de partícula inferior a 30 μm, determinado mediante un micrómetro digital de alta precisión (Mitutoyo 293-765-30, Japón). Este instrumento cuenta con un rango de medición de 0-1 pulgada (0-25 mm), con lectura dual en pulgadas y milímetros, una resolución de 0,00005" / 0,001 mm, y funciones de ajuste de origen (ORIGIN) y conversión de unidades (in/mm), además de protección IP65 contra agua, aceite y refrigerante. Una vez alcanzado este tamaño de partícula, las mezclas fueron sometidas al proceso de templado empleando las condiciones establecidas en las fases anteriores.

3.2.4.1 Formulación de las mezclas de chocolate

Las formulaciones se establecieron de acuerdo con los requisitos mínimos de composición definidos en la (RESOLUCION 1511 DE 2011, n.d.) (6 de mayo), expedida por el Ministerio de la Protección Social de Colombia. Es el reglamento técnico que establece los requisitos sanitarios que debe cumplir el chocolate y productos de chocolate como chocolate de mesa, coberturas y sucedáneos, nacionales e importados destinados al consumo humano en Colombia, manteniendo un contenido total de cacao del 70 %, distribuido entre el licor de cacao y la manteca de cacao seleccionada en la Fase II. Los porcentajes de azúcar y leche en polvo se variaron de acuerdo con el diseño experimental (F1: 70 % LC y 30 % A, F2: 70 % LC, 20 % A y 10 % LP, F3: 70 % LC, 10 % a y 20 % LP, F4: 70 % LC y 30 % LP) presentado en la (Tabla B3, Apéndice B). Todos los porcentajes se expresaron con respecto a la masa total del chocolate.

Inicialmente, todas las formulaciones fueron sometidas a las condiciones de templado seleccionadas en la Fase II. Sin embargo, debido a las diferencias en la composición de las mezclas, dichas condiciones no permitieron obtener un adecuado templado. Por esta razón, fue necesario desarrollar diseños experimentales aplicables para cada formulación, con el fin de establecer las condiciones de templado más apropiadas.

El diseño se evaluó en dos etapas secuenciales (Tabla B4, Apéndice B), para cada formulación. En la primera Fase, se analizó la etapa de enfriamiento mediante un diseño factorial de dos factores (temperatura y tiempo de cristalización) (27 y 28 °C) (3, 5 y 8 min), manteniendo fijas las condiciones de recalentamiento a 31 °C durante 8 min. Posteriormente, una vez seleccionadas las condiciones de la etapa, se procedió a evaluar la Fase de recalentamiento mediante un segundo diseño factorial de dos factores (temperatura y tiempo de recalentamiento) (31 y 32 °C) (3, 5 y 8 min). (Tabla B5, Apéndice B).

3.2.5 Evaluación sensorial Panel II

Se realizó una segunda evaluación sensorial utilizando los cuatros formulaciones desarrolladas en la Fase III, elaboradas con la mejor condición de templado de cada una. Para este nuevo panel se siguió la misma metodología descrita en el inciso 3.2.3.

Adicionalmente, se incorporó una prueba de preferencia entre las formulaciones, con el propósito de evaluar el efecto de la adición de azúcar y leche en polvo sobre las propiedades sensoriales del chocolate y determinar la formulación de mayor aceptación por parte de los jueces.

3.3 Análisis estadístico

El procesamiento de los datos se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) en cada fase de la investigación, con el fin de identificar diferencias significativas entre las condiciones de templado y las formulaciones evaluadas. Se trabajó con un nivel de

significancia de 0,05 (95 % de confianza), considerando resultados significativos cuando $p < 0,05$. Cuando el análisis de varianza evidenció diferencias significativas entre los tratamientos, se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para identificar los tratamientos que presentaron diferencias entre sí. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software Statistica versión 14 (TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, EE. UU.).

Los datos correspondientes a las propiedades físicas (brillo, penetración, punto de fusión y *snap*), obtenidos por duplicado, así como los resultados de la evaluación sensorial registrados mediante un formulario digital por 15 jueces semientrenados, fueron analizados estadísticamente con el fin de determinar el efecto de las variables de formulación y de las condiciones de templado. Finalmente, la selección de la formulación con mejor desempeño se realizó mediante la integración de las propiedades físicas y los resultados de la evaluación sensorial, empleando una función de deseabilidad en el mismo software.

Con el fin de identificar la combinación más adecuada de templado del chocolate que favoreciera simultáneamente las cuatro propiedades físicas evaluadas (brillo, *snap*, punto de fusión y penetración), se aplicó la función de deseabilidad de Derringer y Suich mediante el software Statistica. Este enfoque permite integrar respuestas con diferentes criterios de optimización en un único índice de deseabilidad global (D): maximización para brillo, *snap* y punto de fusión, y minimización para penetración. El valor de D oscila entre 0, correspondiente a una respuesta completamente no deseable, y 1, que representa la condición de máxima deseabilidad.

4.Resultados

4.1 Preliminar

El chocolate utilizado en los ensayos correspondió a una cobertura de chocolate oscuro (Boyacá), cuyas características fisicoquímicas fueron determinadas mediante análisis

bromatológico (Apéndice R). Este presentó un contenido de grasa de 58,22 g/100 g y una humedad de 3,02 g/100 g, valores característicos de una cobertura de chocolate oscuro con alto contenido de manteca de cacao.

4.1.1 Resultados del análisis de varianza y prueba de Tukey

En la Tabla 1 se presentan los resultados del diseño experimental preliminar aplicado a la etapa de desmoldeo, evaluando el efecto del tiempo de permanencia a temperatura ambiente y el tiempo de refrigeración sobre el brillo, la propiedad acústica (*snap*), la facilidad de desmoldeo y la ausencia de defectos superficiales.

Tabla 1

Resultados del diseño experimental preliminar sobre sus variables de respuesta

Tratamiento	**Tiempo a temperatura ambiente (min)**	**Tiempo de refrigeración a 8 °C (min)**	**Brillo (M± DE)**	**Propiedad acústica: *Snap* (dB) (M±DE)**	**Desmoldeo**	**Defectos superficiales**
Trat.1	5	20	38,52 ± 0,81 [a]	21,74 ± 5,48 [a]	2,50 ± 0,70 [a]	3,00 ± 0,00 [a]
Trat.2	5	30	46,33 ± 6,11 [a]	30,61 ± 2,58 [a]	4,50 ± 0,70 [a]	5,00 ± 0,00 [a]
Trat.3	10	20	43,92± 3,90 [a]	31,10 ± 0,48 [a]	4,50 ± 0,70 [a]	3,50 ± 0,70 [a]
Trat.4	10	30	42,51±4,52 [a]	28,17 ±5,14 [a]	4,00 ± 0,00 [a]	4,50 ± 0,70 [a]

Nota. Los datos se expresan como media ± desviación estándar (M ± DE). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de Tukey.

El análisis de varianza reveló que, de las cuatro variables evaluadas, únicamente los defectos superficiales se vieron afectados de manera estadísticamente significativa por el tiempo de refrigeración ($p = 0,035$), mientras que el tiempo de reposo a temperatura ambiente no tuvo un efecto significativo sobre ninguna de las variables de respuesta ($p > 0,05$ en todos

los casos), y tampoco se identificaron interacciones significativas entre ambos factores. A pesar de la ausencia de significancia estadística en el brillo y el *snap*, se observó una tendencia relevante: el Trat.1 (5 min ambiente/20 min refrigeración) registró los valores más bajos en brillo 38,52 ± 0,81, *snap* 21,74 ± 5,48 dB y desmoldeo 2,50 ± 0,70, lo que sugiere que un tiempo de estabilización insuficiente puede afectar el desarrollo de la estructura cristalina. Según, Grob et al. (2021), el chocolate requiere de un tiempo determinado para que los cristales de manteca de cacao, particularmente en su forma polimórfica βV, maduren y se estabilicen, proceso crucial para el desarrollo del brillo y el sonido característico al romper del producto.

Por su parte, el aumento del tiempo de refrigeración de 20 a 30 min incrementó de forma consistente los defectos superficiales, tanto al comparar Trat.1 con Trat.2 como Trat.3 con Trat.4, siendo este el único efecto observado estadísticamente (p = 0,035), lo que sugiere que una refrigeración prolongada favorece la aparición de defectos, posiblemente asociados a un choque térmico más pronunciado durante el enfriamiento (Le Révérend et al., 2009).

Finalmente, el análisis simultáneo de perfiles de respuesta y deseabilidad (Apéndice D) permitió identificar que el protocolo de maduración más adecuado corresponde a un tiempo de reposo a temperatura ambiente de 5 minutos, seguido de 30 minutos de refrigeración (Trat.2), condición que maximizó el brillo y el *snap* sin comprometer excesivamente el desmoldeo ni generar un número de defectos considerablemente mayor al de las demás condiciones evaluadas. Si bien el efecto del tiempo de reposo sobre el desmoldeo ha sido documentado en la literatura, principalmente en relación con el proceso de enfriamiento y la contracción del chocolate previa al desmoldeo, no se encontraron estudios que evalúen específicamente una secuencia de reposo a temperatura ambiente seguida de refrigeración, como la empleada en este trabajo. Estudios similares han utilizado

protocolos de enfriamientos en el orden inverso, es decir, refrigeración inmediata seguida de un periodo de estabilización a temperatura ambiente (Schroeder et al., 2024), lo que sugiere que la secuencia específica de las etapas de enfriamiento post-moldeo es un aspecto poco explorado y que podría representar un aporte de este trabajo.

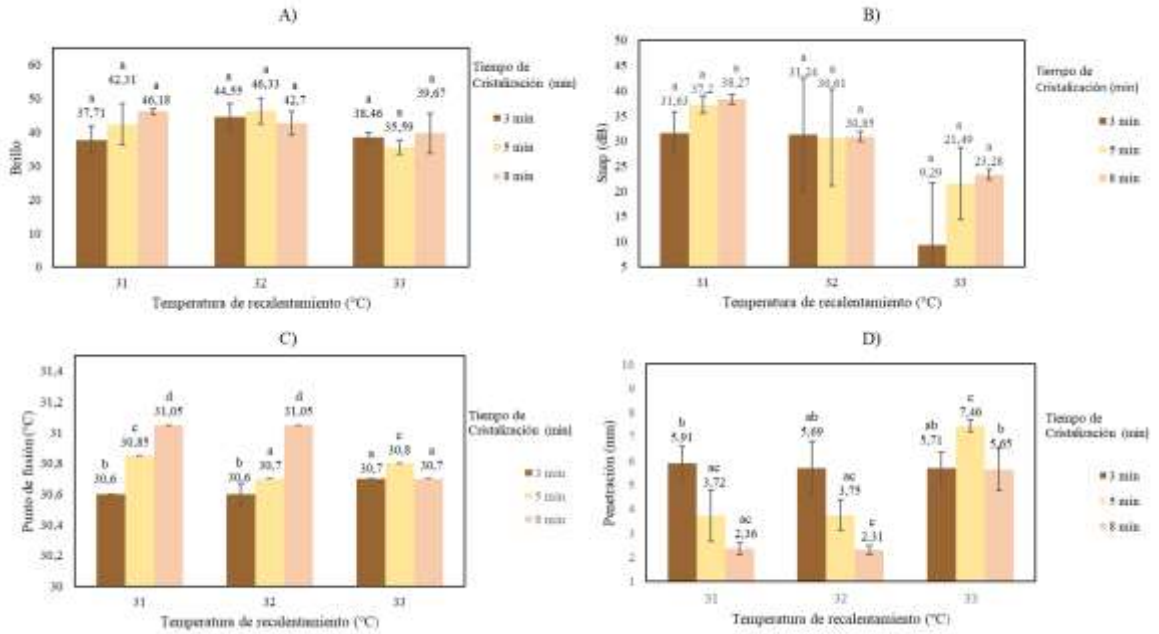
4.2 Fase I. Determinación de las condiciones de templado

4.2.1 Resultados del análisis de varianza y prueba de Tukey

En la Figura 1 se presentan los resultados del diseño experimental de la Fase I, evaluando el efecto de la temperatura de recalentamiento y tiempo de cristalización sobre el brillo, la propiedad acústica (*snap*), el punto de fusión y la penetración.

Figura 1

Efecto de la temperatura de recalentamiento (31, 32 y 33 °C) y el tiempo de cristalización (3, 5 y 8 min) sobre las propiedades físicas del chocolate (tiempo de reposo a temperatura ambiente de 5 min seguido de refrigeración durante 30 min)



Nota. (A) Brillo, (B) Propiedad acústica (*snap*), (C) Punto de fusión, (D) Penetración. Los datos se expresan como media ± desviación estándar (M ± DE). Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de Tukey.

4.2.2 Discusión de las propiedades físicas

El análisis de varianza mostró que la temperatura de recalentamiento tuvo un efecto significativo sobre el brillo ($p < 0,05$), mientras que el tiempo de cristalización y la interacción de ambos factores no presentaron efectos significativos ($p > 0,05$). No obstante, a nivel descriptivo, se observaron variaciones en los valores de respuesta según la combinación de ambos factores. A 3 y 5 min de cristalización, el brillo aumentó al pasar de 31 a 32 °C y posteriormente disminuyó a 33 °C, mientras que a 8 min presentó una disminución progresiva con el incremento de la temperatura. El mayor valor observado correspondió a 46,18 ± 0,78, obtenido a 31 °C y 8 min de cristalización. El comportamiento del brillo puede relacionarse con el desarrollo de la estructura cristalina durante el recalentamiento, particularmente con la formación de la fase polimórfica βV, asociada con superficies lisas y reflectantes características del chocolate correctamente templado (Ghazani & Marangoni, 2021).

De manera similar, el *snap* (Figura 1b) no presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ($p > 0,05$). A pesar de ello, se observó descriptivamente una disminución del *snap* con el incremento de la temperatura de recalentamiento, siendo este comportamiento más evidente a 33 °C. Los mayores valores se obtuvieron a 31 °C, con 38,27 ± 2,58 dB a 8 min y 37,20 ± 1,72 dB a 5 min. En particular, a 33 °C el incremento del tiempo de cristalización produjo un aumento del *snap* de 9,29 ± 12,37 dB a 23,28 ± 6,71 dB. El desarrollo del *snap* se relaciona con la formación y consolidación de una red cristalina suficientemente estructurada durante la cristalización (Stobbs et al., 2025).

El punto de fusión, contrario con el brillo y el *snap*, sí presentó diferencias significativas en el tiempo de cristalización, en la temperatura de recalentamiento y la

interacción ($p < 0,05$). En general, se observó que el incremento del tiempo de cristalización favoreció mayores valores de punto de fusión, particularmente a 31 y 32 °C. A ambas temperaturas de recalentamiento, el punto de fusión aumentó desde 30,60 ± 0,00 °C y 30,60 ± 0,07 °C respectivamente, hasta alcanzar el mismo valor máximo de 31,05 ± 0,00 °C al pasar de 3 a 8 min. Este comportamiento puede asociarse con un mayor desarrollo y organización de la red cristalina durante la cristalización. De acuerdo con Ghazani & Marangoni (2021), un mayor tiempo de residencia durante esta etapa puede favorecer la organización de los triacilglicéridos hacia estructuras correspondientes a la forma βV, caracterizada por una mayor estabilidad térmica y, consecuentemente, una mayor temperatura de fusión.

En cuanto a la penetración, también presentó un comportamiento dependiente de las condiciones de recalentamiento y cristalización (Figura 1d), con diferencias significativas confirmadas mediante ANOVA. Los menores valores de penetración, que corresponden a una mayor dureza, se obtuvieron a 31 °C y 8 min (2,36 ± 0,66 mm) y 32 °C y 8 min (2,31 ± 0,19 mm). Estos resultados indican que un mayor tiempo de cristalización favoreció el desarrollo de una estructura más resistente a la penetración en las temperaturas de 31 y 32 °C. En contraste, a 33 °C se observó un comportamiento no monótono, ya que la penetración aumentó de 5,71 ± 0,66 mm a 7,46 ± 0,24 mm al pasar de 3 a 5 min y posteriormente disminuyó hasta 5,65 ± 0,88 mm a 8 min. Este comportamiento evidencia que la respuesta de la penetración no siguió una tendencia exclusivamente creciente o decreciente bajo esta condición. Alvis et al. (2011) reportaron valores de 2 mm a 4 mm de penetración para tabletas de chocolate amargo, rango dentro del cual se encuentran los valores obtenidos a 31 y 32 °C con 8 min de cristalización. Asimismo, (Svanberg et al., 2013) relacionaron una elevada dureza con el desarrollo de una red cristalina densa y estructurada.

En conjunto, la temperatura de recalentamiento de 33 °C presentó valores menos favorables de las propiedades físicas, particularmente en términos de penetración, esto concuerda lo dicho por Kurniasari et al. (2019) las altas temperaturas de recalentamiento pueden derretir estos cristales, impidiendo su correcta formación y dando lugar a formas inestables, que afectan negativamente a la textura y la apariencia**,** mientras que las condiciones de 31 y 32 °C mostraron un comportamiento más estable, conduciendo a características físicas más favorables. Finalmente, el análisis simultáneo de los perfiles de respuesta y la función de deseabilidad (Apéndice E) permitió identificar a las temperaturas de recalentamiento de 31 °C y 32 °C (ambas con 8 min de cristalización) como las dos condiciones que mejor satisface los criterios establecidos, alcanzando valores de deseabilidad global de 0,90 y 0,78, respectivamente.

4.2.3 Reconfiguración de la Fase I

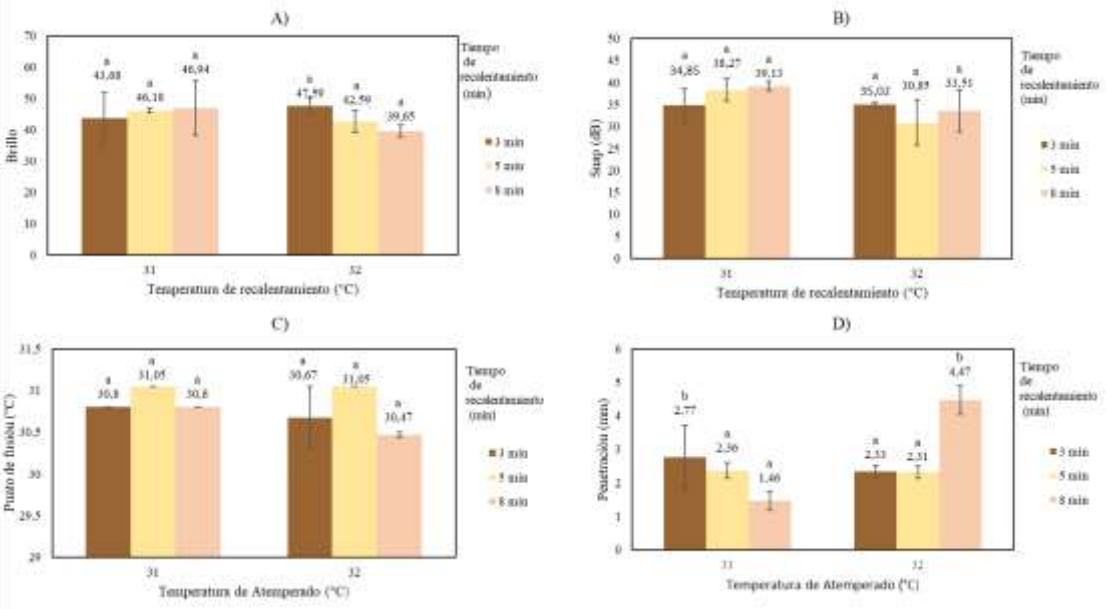
Se seleccionaron las dos mejores condiciones de temperatura de recalentamiento obtenidas en la Fase I (31 y 32 °C), descartando 33 °C por su desempeño desfavorable en las propiedades físicas evaluadas. Sobre estas dos condiciones se evaluó el efecto de variar el tiempo de recalentamiento (3, 5 y 8 min), con el fin de determinar si un ajuste adicional en este parámetro permite mejorar aún más el proceso.

4.2.3.1 Resultados del análisis de varianza y prueba de Tukey

En la Figura 2 se presentan los resultados del diseño experimental de reconfiguración de la Fase I, evaluando el efecto del tiempo de recalentamiento con la temperatura de recalentamiento.

Figura 2

Efecto de la temperatura de recalentamiento (31 y 32 °C) y el tiempo de recalentamiento (3, 5, y 8 min) en el diseño experimental de reconfiguración de la Fase I sobre las propiedades físicas del chocolate (tiempo de reposo a temperatura ambiente de 5 min seguido de refrigeración durante 30 min)



Nota. (A) Brillo, (B) Propiedad acústica (*snap*), (C) Punto de fusión, (D) Penetración. Los datos se expresan como media ± desviación estándar (M ± DE). Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de Tukey.

4.2.3.2 Discusión de las propiedades físicas

El análisis de varianza evidenció que ni el tiempo de recalentamiento, ni la temperatura de recalentamiento, ni su interacción tuvieron un efecto significativo sobre el brillo (Figura 2a) y el *snap* (Figura 2b) ($p > 0,05$), manteniéndose en rangos estrechos y cercanos. Esto indica que, para estas dos propiedades, ni la temperatura ni el tiempo de recalentamiento generaron variaciones relevantes. En cuanto al punto de fusión, el tiempo de recalentamiento presentó diferencias significativas ($p < 0,05$), mientras que la temperatura de recalentamiento no mostró un efecto significativo ($p > 0,05$), observándose únicamente una ligera tendencia al incremento (Figura 2c). En contraste, la penetración (Figura 2d) sí

evidenció un efecto estadísticamente significativo ($p < 0,05$) en función de la temperatura de recalentamiento, mientras que el tiempo de recalentamiento y la interacción de ambos factores no presentaron efectos significativos ($p > 0,05$). El menor valor de penetración observado correspondió a 1,46 ± 0,29 mm, obtenido a 31 °C y 8 min de tiempo de recalentamiento. En contraste, a 32 °C y un tiempo de recalentamiento de 8 min se obtuvo un valor alto de 4,47 ± 0,43 mm. Finalmente, el análisis simultáneo de perfiles de respuesta y deseabilidad (Apéndice F) determinó que la condición que satisface con mejor ajuste los parámetros de calidad corresponde a una temperatura de recalentamiento 31 °C y un tiempo de recalentamiento de 8 min, alcanzando un valor de deseabilidad global de 0,82.

4.3 Fase II: Evaluación del efecto de la adición de manteca de cacao

4.3.1 Resultados del análisis de varianza y prueba de Tukey

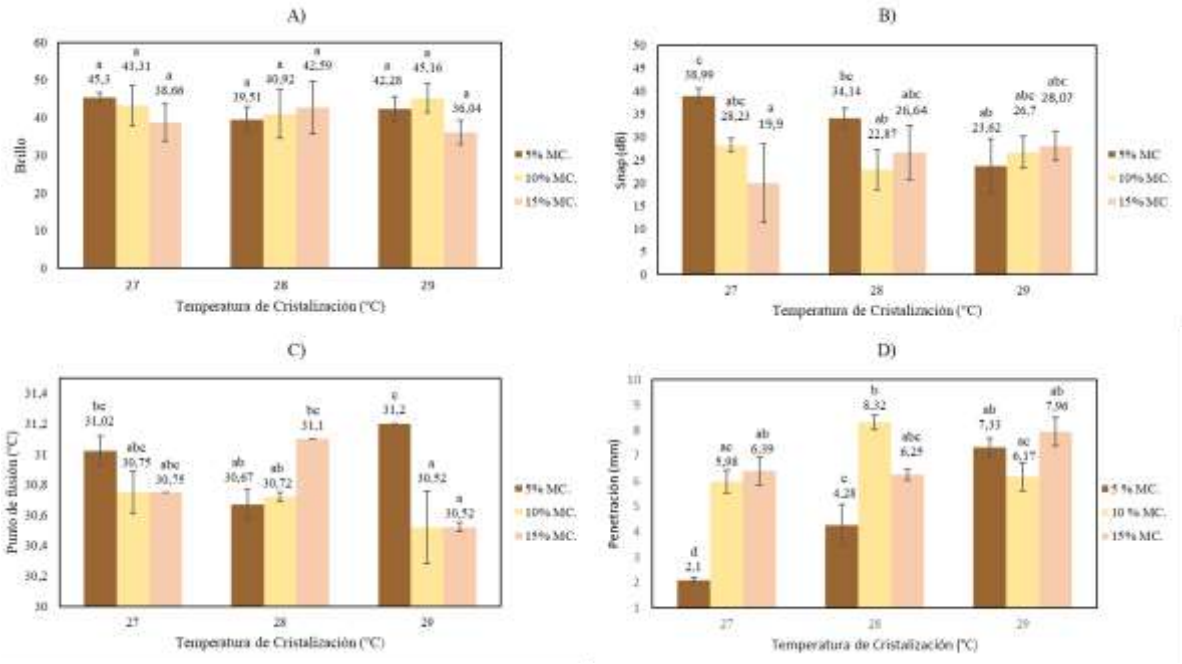
En la Figura 3 se presentan los resultados del diseño experimental de reconfiguración de la Fase II, evaluando el efecto de la adición de manteca de cacao y la temperatura de cristalización sobre las propiedades físicas del chocolate.

4.3.2 Discusión de las propiedades físicas

El análisis de varianza mostró que la adición de manteca de cacao no tuvo un efecto significativo sobre el brillo (Figura 3a) ($p > 0,05$), lo que demuestra que al mantener fija la temperatura de recalentamiento, el parámetro no presentó variaciones estadísticas. No obstante, el valor numérico más alto registrado fue de 45,30 ± 1,29 para la formulación con 5 % de manteca cacao a una temperatura de cristalización de 27 °C. Este resultado contradice a Torbica et al. (2016), quien menciona que, una mayor concentración de grasa promueve mayor brillo. Dicho comportamiento sólo se observó a una temperatura de cristalización de 28 °C.

Figura 3

Efecto de la temperatura de cristalización (27, 28 y 29 °C) y el porcentaje de adición de manteca de cacao (5, 10, 15%) sobre las propiedades físicas de chocolate (tiempo de reposo a temperatura ambiente de 5 min de refrigeración durante 30 min)



Nota. (A) Brillo, (B) Propiedad acústica (*snap*), (C) Punto de fusión, (D) Penetración. Los datos se expresan como media ± desviación estándar (M ± DE). Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de Tukey.

Por su parte, para las propiedades de respuesta acústica (*snap*) (Figura 3b) y penetración (Figura 3d) se observó una tendencia, a medida que se incrementó la adición de manteca de cacao, se evidenció un aumento directo en los valores de penetración, generando un chocolate más blando. Afoakwaet al. (2008b) señala que un mayor contenido de grasa no garantiza una estructura más estable, ya que el exceso de triglicéridos actúa plastificando la red cristalina y reduciendo su rigidez mecánica. Esta pérdida estructural impide la acumulación de tensión necesaria para generar el sonido característico de fractura (*snap* o "Crack"). Este comportamiento concuerda con lo reportado por Quast et al. (2013), quienes atemperaron mezclas de manteca de cacao con CBR (Cocoa Butter Replacer) y CBS (*Cocoa*

Butter Substitute) (5-30 % p/p) fundiéndolas a 40 °C, enfriándolas a 2.0 °C/min hasta 24 °C (mezclas < 20 %) o 23 °C (mezclas ≥20 %), y recalentándolas a 31 °C donde observaron que a concentraciones de grasa (5, 10, 15, 20, 25 y 30 %) disminuyen el contenido de grasa sólida y, en consecuencia, la resistencia mecánica del producto. En este sentido, la combinación de 5 % de manteca de cacao a 27 °C favoreció ampliamente las propiedades mecánicas del chocolate, alcanzado el mayor *snap* 38,99 ± 1,71 dB y la menor penetración de 2,10 ± 0,11 mm. El punto de fusión (Figura 3c) también se vio afectado significativamente ($p < 0,05$) por el porcentaje de manteca de cacao a 29 °C, el cual registró el valor más alto de fusión 31,2 ± 0,00 °C, seguido cercanamente por la condición a 27 °C con el mismo porcentaje de manteca 31,02 ± 0,10 °C. Asimismo, la tendencia general reveló que, a temperaturas de cristalización de 27 °C y 29 °C, incrementos en el porcentaje de manteca de cacao provocaron una reducción en el punto de fusión.

Finalmente, el análisis simultáneo de perfiles de respuesta y deseabilidad (Apéndice G) arrojó que la condición que satisface los estándares de calidad establecidos corresponde a una temperatura de cristalización de 27 °C y una adición de 5 % de manteca de cacao, alcanzando un valor de deseabilidad global de 0,89, lo cual confirma un alto nivel de cumplimiento técnico.

4.4 Panel sensorial 1

4.4.1 Resultados del análisis de varianza y prueba de Tukey

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en la evaluación sensorial de las cuatro muestras de chocolate mediante un panel conformado por 15 jueces semientrenados. Los datos individuales registrados para cada participante y para cada muestra se presentan en el Apéndice H.

Tabla 2

Evaluación sensorial del Panel I paras las muestras de chocolate

Muestra	A	B	C	D	E	F
R	$6,66 \pm 2,22^{ab}$	$7,93 \pm 2,31^{a}$	$4,66 \pm 2,31^{a}$	$7,33 \pm 1,71^{a}$	$5,73 \pm 2,25^{a}$	$8,20 \pm 0,86^{a}$
472	$5,53 \pm 1,92^{a}$	$7,40 \pm 1,88^{a}$	$4,73 \pm 2,18^{a}$	$7,53 \pm 1,95^{a}$	$5,86 \pm 2,44^{a}$	$7,66 \pm 1,11^{a}$
517	$7,40 \pm 2,09^{ab}$	$7,46 \pm 2,19^{a}$	$5,60 \pm 2,41^{a}$	$7,06 \pm 1,27^{a}$	$5,46 \pm 2,50^{a}$	$8,13 \pm 0,83^{a}$
901	$7,86 \pm 1,59^{b}$	$4,46 \pm 2,53^{b}$	$4,06 \pm 2,60^{a}$	$6,33 \pm 1,95^{a}$	$4,93 \pm 2,52^{a}$	$7,53 \pm 0,91^{a}$

Nota. A: Brillo y Apariencia; B: *Snap*; C: Fluidez y Textura; D: Amargor; E: Astringencia; F: Calificación Global. Los datos se expresan como media ± desviación estándar (M ± DE). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de Tukey.

El análisis estadístico reveló diferencias significativas ($p < 0,05$) únicamente para los atributos sensoriales Brillo y Apariencia (Atributo A) y *snap* (Atributo B). En contraste, para los atributos de fluidez y textura, amargor, astringencia y la calificación global, no se detectaron diferencias significativas, lo que indica que las formulaciones presentaron una percepción sensorial similar para los atributos.

4.4.2 Discusión de las propiedades sensoriales Panel I

Como se aprecia en el perfil sensorial de la Figura 4, la muestra 901 (15 % de Manteca de cacao añadida) destacó con una puntuación de 7,86 ± 1,59 en brillo y apariencia, pero sufrió un descenso en el *snap* obteniendo un resultado de 4,46 ± 2,53 dB, perdiendo su sonido característico. Este comportamiento coincide con los hallazgos de la Fase II, confirmando que un contenido elevado de grasa favorece el brillo, pero perjudica las demás propiedades físicas del chocolate. Además, esto también concuerda con lo reportado por Ewens et al. (2021) quien señala que la reducción del contenido de manteca de cacao incrementa la dureza del chocolate, evidenciando la relación inversa entre el contenido graso y las propiedades mecánicas relacionadas con el *snap*.

Figura 4

Perfil sensorial comparativo de las formulaciones de chocolate (muestras R, 472, 517 y 901) en función de los atributos de brillo y apariencia, snap, fluidez y textura, amargor, astringencia y calificación global



La muestra R (sin adición de manteca de cacao) exhibió un desempeño sensorial sobresaliente, manteniendo valores elevados y equilibrados en todos los atributos. Al comparar la Muestra R con la Muestra 517 (adición de 10 % de manteca de cacao), se observó que la incorporación moderada de manteca de cacao contribuyo en la percepción del amargor y la astringencia, además mejoró la fluidez y textura en boca, aspecto reportado por Brown et al. (2023), debido a que niveles crecientes de grasa reducen significativamente la percepción de amargor y la sensación de sequedad en boca (astringencia), al tiempo que se mejoran la fluidez y textura.

Finalmente, para determinar la condición con mejor desempeño, se ejecutó el análisis mediante la función de deseabilidad, buscando maximizar los atributos de brillo y apariencia, *snap*, fluidez y textura, y la calificación global, mientras se minimizaba la percepción de Amargor y la Astringencia. A partir de estos criterios, se obtuvo una deseabilidad global de 0,57 (Apéndice I). De acuerdo con el modelo, la condición correspondiente a la muestra 517

(10 % de manteca de cacao) presentó el mejor desempeño entre las diferentes respuestas sensoriales.

4.4.3 Discusión de las propiedades físicas y sensoriales

En la Tabla 3 se presentan los resultados consolidados de las propiedades físicas y sensoriales evaluadas. Los análisis estadísticos individuales para las propiedades físicas arrojaron que la muestra 472 (5 % de adición de manteca de cacao) exhibió el desempeño más favorable. Sin embargo, la evaluación sensorial del Panel I indicó una mayor preferencia por la muestra 517 (10 % de manteca de cacao), seguida de la muestra de referencia R (sin adición de manteca de cacao).

Tabla 3

Evaluación de las propiedades físicas y sensoriales de la Fase I y II

Muestra	Brillo (M± DE)	Propiedad acústica: *Snap* (dB) (M±DE)	Punto de fusión (°C) (M±DE)	Penetración (mm) (M±DE)	Panel Sensorial (M±DE)
R	46,94 ± 8,67 ^{a}	39,13 ± 1,05 ^{a}	30,80 ± 0,00 ^{a}	1,46 ± 0,29 ^{a}	6,75 ± 1,35 ^{a}
472	45,30 ± 1,92 ^{a}	38,99 ± 1,71 ^{c}	31,02 ± 0,10 ^{bc}	2,10 ± 0,11 ^{d}	6,45 ± 1,23 ^{a}
517	43,31 ± 5,33 ^{a}	28,23 ± 1,48 ^{abc}	30,75 ± 0,14 ^{abc}	5,98 ± 0,44 ^{ac}	6,85 ± 1,08 ^{a}
901	42,59 ± 7,01 ^{a}	26,64 ± 5,89 ^{abc}	31,10 ± 0,00 ^{bc}	6,25± 0,21 ^{abc}	5,86 ± 1,61 ^{a}

Nota. Los datos se expresan como media ± desviación estándar (M ± DE). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de Tukey. Las letras en cursiva (*a*) corresponden a la evaluación estadística independiente mediante la prueba de Tukey aplicada a la puntuación de panel sensorial.

El análisis simultáneo de perfiles de respuesta y deseabilidad (Apéndice J) determinó que la condición de mejor equilibrio entre las propiedades físicas y sensoriales corresponde a la muestra 472 (5 % de adición de manteca de cacao), alcanzando un valor de deseabilidad global de 0,75. En consecuencia, esta formulación fue seleccionada como la condición más deseable para el desarrollo de la última Fase de la investigación.

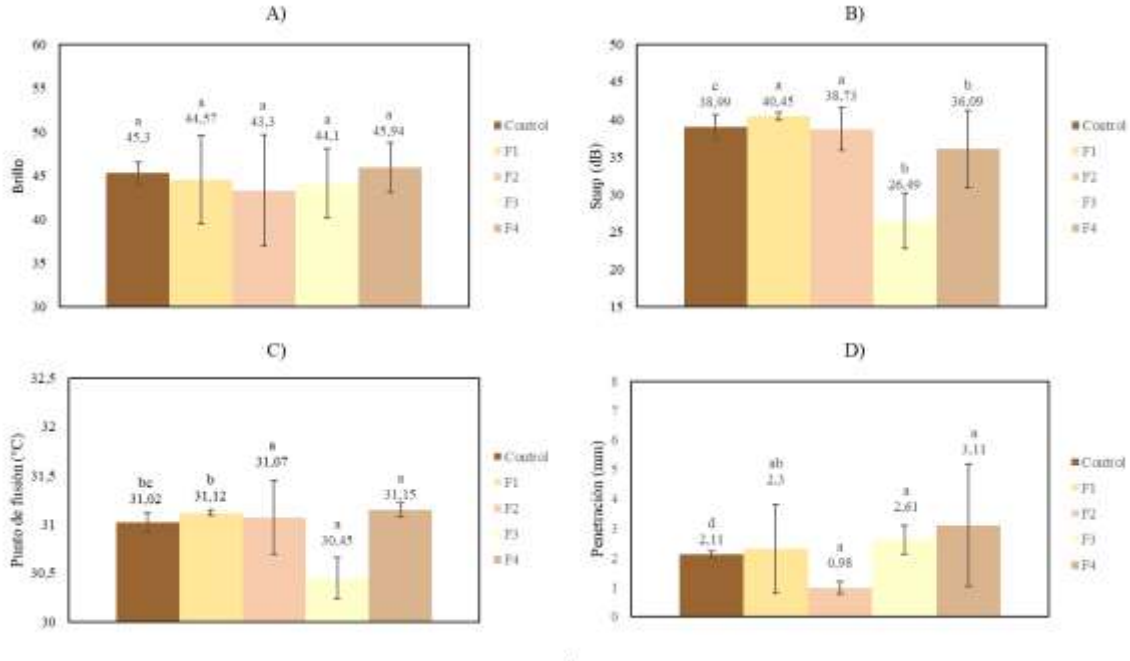
4.5 Fase III. Evaluación del efecto de la adición de azúcar y leche

4.5.1 Resultados del análisis de varianza y prueba de Tukey

En la Figura 5 se presentan los resultados de la evaluación comparativa de las propiedades físicas entre la muestra Control y las cuatro formulaciones. Este análisis permitió evaluar el impacto de la variación de los ingredientes sobre las propiedades.

Figura 5

Comparación de las propiedades físicas de la muestra control y las formulaciones F1–F4 sobre las propiedades físicas del chocolate (tiempo de reposo a temperatura ambiente de 5 min y refrigeración durante 30 min)



Nota. (A) Brillo; (B) Propiedad acústica (*snap*); (C) Punto de fusión; (D) Penetración. Los datos se expresan como media ± desviación estándar (M ± DE). Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de Tukey. La muestra Control corresponde a la matriz de chocolate sin adición de azúcar ni sólidos lácteos, constituida por 95 % de licor de cacao (LC) y 5 % de manteca de cacao (MC). Por su parte, las formulaciones F1, F2, F3 y F4 contienen una base constituida por 65 % de LC y 5 % de MC, equivalente al 70 % de la formulación total, y el 30% restante corresponde a diferentes proporciones de azúcar (A) y leche en polvo (LP): F1 (30 % de A), F2 (20 % de A y 10 % de LP), F3 (10 % de A y 20 % de LP) y F4 (30 % de LP).

4.5.1.1 Formulación 1: 65 % licor de cacao (LC), 5 % manteca de cacao (MC), 30 % azúcar (A)

La condición de enfriamiento previamente determinada para la muestra control generó inconvenientes al aplicarse en la formulación 1 debido a los sólidos agregados (30 % de A). Al ejecutar el diseño a una temperatura de 27 °C, se produjo la solidificación del chocolate en el equipo (Figura 6). De acuerdo con Simoes et al. (2021) el azúcar puede afectar la cinética de la cristalización de la manteca de cacao, en particular la nucleación (formación inicial de cristales) y las tasas de crecimiento, la presencia de azúcar, tiende a acelerar la nucleación y el crecimiento de los cristales, lo que conduce a una solidificación más rápida. Por lo tanto, se evidenció que la temperatura de cristalización debía ajustarse; no obstante, los factores evaluados (Tiempo y temperatura de cristalización) no afectaron de manera estadísticamente significativa las cuatro propiedades evaluadas. A través del análisis simultáneo de perfiles de respuesta y deseabilidad, se confirmó que la condición de enfriamiento se establece a una temperatura de 28 °C con un tiempo de 5 min de cristalización.

Figura 6

Registro fotográfico del comportamiento visual durante la solidificación de una muestra de chocolate en el equipo Minitemper



Posteriormente, en la etapa de reconfiguración, donde se fijó la rampa de enfriamiento (28 °C y 5 min) y se varió la última condición (31, 32 °C y 3, 5, 8 min), el análisis estadístico mostró que las variaciones en las condiciones no afectaron significativamente el brillo ni el *snap* de la formulación1. Sin embargo, se observó un efecto significativo en la interacción para el punto de fusión ($p< 0,05$), así como en la penetración con respecto al tiempo de recalentamiento. De esta manera, el perfil de respuesta y deseabilidad determinó que la combinación de 31 °C y 8 min de recalentamiento ofreció el mejor desempeño, alcanzando una deseabilidad de 0,83 Apéndice K.

4.5.1.2 Formulación 2: 65 % licor de cacao (LC), 5 % manteca de cacao (MC), 20 % azúcar (A), 10 % leche en polvo (LP)

La condición previamente seleccionada (45 °C por 5 min, 27 °C por 5 min y 31 °C por 8 min) para la muestra control (5 % de MC) no requirió modificaciones en los niveles de temperatura, aunque el ajuste en los tiempos de las rampas térmicas permitió mejorar las propiedades físicas, demostrando que las proporciones combinadas de azúcar y leche en polvo de la formulación 2 no alteraron drásticamente el proceso. No obstante, un tiempo de cristalización de 8 min a 27 °C causó una solidificación del chocolate debido a que el tiempo prolongado a esta temperatura permitió una formación excesiva de núcleos y cristales estables de manteca de cacao, incrementando la viscosidad de la masa más allá de lo requerido para un templado adecuado (Kurniasari et al., 2019). Este inconveniente se eliminó al reducir dicho tiempo.

Al ejecutar el diseño establecido, el análisis estadístico indicó que las variaciones de tiempo no afectaron significativamente el brillo. En contraste, para el *snap* y la penetración, una temperatura de cristalización de 28 °C arrojó resultados no deseados, debido posiblemente a que la red cristalina no logró consolidarse lo suficiente. De acuerdo con

Koizumi et al. (2024) la presencia de partículas finas sólidas (cristales de azúcar, sólidos lácteos) dispersas dentro de la matriz grasa (manteca de cacao) interrumpen la continuidad y uniformidad de la red cristalina grasa, lo que dificulta que la manteca de cacao forme cristales estables y bien organizados durante el templado.

Mediante el análisis de perfil de deseabilidad se determinó que la condición para la rampa de enfriamiento fue de 27 °C durante 5 min, favoreciendo el posible desarrollo de los cristales, con un valor de deseabilidad de 0,94. En la etapa de reconfiguración, se observó que la temperatura de recalentamiento afectaba las variables de *snap* y penetración, en particular la elevación de la temperatura a 32 °C disminuyendo el quiebre e incrementando la penetración. Mediante la función de deseabilidad, se estableció que una temperatura de recalentamiento de 31 °C durante 3 min obtenía los mejores resultados en las propiedades evaluadas, alcanzando una deseabilidad de 0,84 Apéndice L.

4.5.1.3 Formulación 3: 65 % licor de cacao (LC), 5 % manteca de cacao (MC), 10 % azúcar (A), 20 % leche en polvo (LP)

La condición de enfriamiento previamente determinada para la muestra control logró generar un adecuado proceso de templado, obteniendo valores deseables en las propiedades físicas evaluadas. Sin embargo, al desarrollar el diseño experimental, se evidenció que 28 °C no constituía una temperatura de cristalización adecuada para esta mezcla, ya que se producía un *snap* sin quiebre y una penetración elevada, lo que indicó probablemente una formación incompleta o inestable de la red cristalina (Ewens et al., 2021). Por medio del perfil de deseabilidad con un valor 0,69, se determinó que la mejor condición para la rampa de enfriamiento correspondió a 27 °C durante 3 min.

Durante la etapa de reconfiguración, se observó un efecto crítico asociado a la temperatura de recalentamiento: al elevar la temperatura a 32 °C, se obtuvo un *snap*

prácticamente nulo y valores altos de penetración debido quizás a una ruptura de los cristales previamente formados. Rousseau (2016) afirma que cuando se rompen los cristales previamente formados, la red cristalina resultante puede volverse menos continua y menos capaz de transmitir la fuerza de manera eficiente, lo que conduce a una estructura más débil. Por esta razón, el análisis de deseabilidad confirmó que la condición óptima de reconfiguración correspondió a una temperatura de recalentamiento de 31 °C durante 8 min, con una deseabilidad global de 0,83. Es importante mencionar que esta formulación al tener más porcentaje de leche que de azúcar, redujo el *snap* y la dureza, y afectó el punto de fusión del chocolate en comparación a las formulaciones anteriores (Apéndice M).

4.5.1.4 Formulación 4: 65 % licor de cacao (LC), 5 % manteca de cacao (MC), 30 % leche en polvo (LP)

La condición de enfriamiento evaluada para la formulación 4 proporcionó un brillo equilibrado; sin embargo, debido a la adición total de leche en polvo. La formulación 4, presentó mayor complejidad durante el proceso de templado. Según Sonwai & Rousseau (2010) los sólidos lácteos y la grasa láctea modifican la cristalización de la fase grasa, lo que provoca cambios en la distribución espacial y el tamaño de los cristales de manteca de cacao. La grasa láctea puede reducir la incidencia de cristales grandes y promover una estructura más fina y amorfa, lo que puede dificultar la formación de una red cristalina completamente consolidada; por consiguiente, el control del *snap* y de la penetración resultó más complejo, obteniéndose un chocolate más blando que aquellas formulaciones que tenían azúcar. Asimismo, al seguir el diseño experimental, se evidenció que tanto el *snap* y el punto de fusión disminuyeron en función de la temperatura y tiempo de cristalización. A través de análisis del perfil de deseabilidad, se estableció que una temperatura de cristalización de 27 °C durante 5 min era la condición más equilibrada con una deseabilidad de 0,76.

Posteriormente, en la etapa de reconfiguración, la temperatura de recalentamiento afectó el *snap* y la penetración, concluyendo mediante la función de deseabilidad que la combinación de 31 °C durante 8 min ofreció mejores condiciones de las variables evaluadas (Apéndice N).

4.6 Panel sensorial II

4.6.1 Resultados del análisis de varianza y prueba de Tukey

En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos en la evaluación sensorial de las cuatro muestras de chocolate mediante un panel conformado por 15 jueces semi entrenados. Los datos individuales registrados para cada participante y para cada muestra se presentan en el Apéndice O.

Tabla 4

Evaluación sensorial del Panel II para las diferentes formulaciones de chocolate

Muestra	A	B	C	D	E	F
109	7,73 ± 1,53[a]	7,60 ± 2,99[a]	5,20 ± 2,73[a]	4,73 ± 1,90[a]	3,93 ± 1,86[a]	7,06 ± 1,33[a]
362	6,53 ± 2,09[a]	7,66 ± 2,02[a]	6,00 ± 2,97[a]	4,00 ± 1,81[a]	3,73 ± 2,43[a]	7,53 ± 1,40[a]
658	8,06 ± 1,98[a]	6,73 ± 1,90[a]	6,53 ± 2,55[a]	5,06 ± 2,52[a]	3,80 ± 2,17[a]	7,46 ± 1,40[a]
847	7,46 ± 1,99[a]	6,80 ± 2,11[a]	5,26 ± 2,81[a]	7,66 ± 1,49[b]	5,06 ± 2,40[a]	6,40 ± 1,45[a]

Nota. A: Brillo y Apariencia; B: *Snap*; C: Fluidez y Textura; D: Amargor; E: Astringencia; F: Calificación Global. Los datos se expresan como media ± desviación estándar (M ± DE). Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de Tukey.

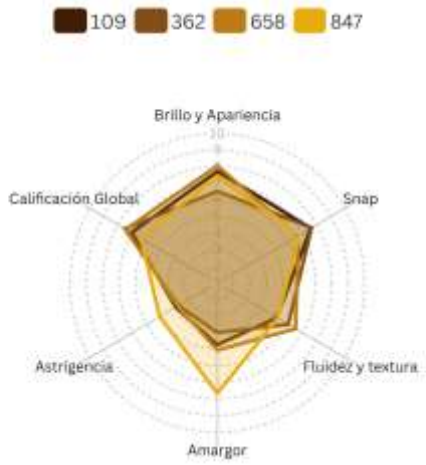
El análisis estadístico reveló diferencias significativas con un valor $p < 0,05$ únicamente para el amargor (Atributo D). En contraste, para los atributos de brillo y apariencia, *snap*, fluidez y textura, astringencia y la calificación global, no se detectaron diferencias significativas, lo que indica que las formulaciones presentaron una percepción sensorial similar para estos atributos.

4.6.2 Discusión de las propiedades sensoriales Panel II

Como se aprecia en el perfil sensorial de la Figura 7 la muestra 658 (Formulación 3) destacó con una puntuación de 8,06 ± 1,98 en brillo y apariencia. Asimismo, las muestras 109 (Formulación 1) y 847 (Formulación 4) obtuvieron valoraciones favorables respecto a este atributo. En contraste, las muestras 658 (Formulación 3) y 847 (Formulación 4) sufrieron un descenso en la evaluación de *snap*, registrando puntuaciones de 6,73 ± 1,90 y 6,80 ± 2,11, respectivamente, perdiendo el sonido característico al quiebre. Este comportamiento coincide con los hallazgos de la Fase III, confirmando que un contenido elevado de leche en polvo perjudica la textura y el *snap* debido a la interferencia que no favorece la red cristalina.

Figura 7

Perfil sensorial comparativo de las formulaciones de chocolate (muestras 109,362,658 y 847) en función de los atributos de brillo y apariencia, snap, fluidez y textura, amargor, astringencia y calificación global

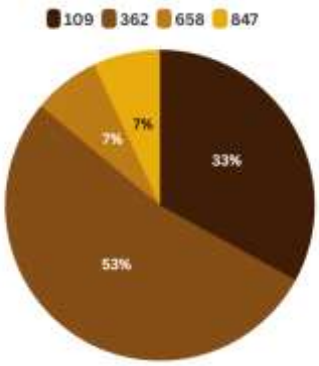


Esto concuerda con lo reportado por Ewens et al. (2021) quien señala que la presencia de leche también afecta a las propiedades mecánicas y el aspecto del chocolate, como el brillo y la textura crujiente, que están directamente relacionadas con la calidad de la red cristalina formada durante el templado. Por otro lado, todas las muestras presentaron un desempeño neutral respecto al atributo de fluidez y textura. Sin embargo, se evidenció que las

formulaciones con mayor proporción de leche en polvo y menor cantidad de azúcar incrementaron la percepción de amargor (Mellor et al., n.d.). Este comportamiento se atribuye principalmente a la disminución del contenido de azúcar, lo cual reduce el efecto enmascarador sobre el amargor y la astringencia propios de los polifenoles y alcaloides nativos del cacao. En particular, la muestra 847 (formulación 4) fue calificada como la más amarga y astringente por parte de los jueces, atributos que reciben puntajes elevados y generaron una sensación menos agradable al paladar, según Stewart et al. (2017) un mayor contenido de leche en polvo favorece la generación de compuestos derivados de la reacción de Maillard durante el procesamiento (refinado y conchado), los cuales están asociados con un incremento en la percepción de sabores más intensos e incluso de amargor. La muestra 847 (Formulación 4; 65 % LC, 5 % MC y 30 % LP) obtuvo la menor calificación global de 6,40 ± 1,45, posicionándola como la menos preferida. En contraposición, los jueces evaluaron de manera más favorable a la muestra 362 (Formulación 2; 65 % LC, 5 %MC, 20 % A, 10 % LP), la cual alcanzó la calificación global de 7,53 ± 1,40, consolidándose como la preferida con un 53 % de aceptación (Figura 8). A esta le siguió la muestra 109 (formulación 1) con un 33 % de preferencia y una aceptación global de 7,06 ± 1,33 (Apéndice P).

Figura 8

Porcentaje de preferencia global de las formulaciones de chocolate por parte de panel sensorial



Finalmente, para determinar la condición con mejor desempeño sensorial global, se ejecutó la función de deseabilidad. El modelo se configuró para maximizar los atributos de brillo y apariencia, *snap*, fluidez y textura, y la calificación global, mientras se minimizaba la percepción de amargor y la astringencia. A partir de estos criterios, se obtuvo una deseabilidad global de 0,61, lo que reflejó un grado de cumplimiento intermedio de los criterios establecidos para los atributos sensoriales evaluados. De acuerdo con el modelo, la muestra 658 (formulación 3; 65 % LC, 5 % MC, 10 % A y 20 % LP) alcanzó la puntuación más alta entre las opciones evaluadas, posicionándose como la fórmula con mejor desempeño sensorial; sin embargo, la muestra 109 (Formulación 1) y la muestra 362 (Formulación 2), obtuvieron buenos resultados similares a la muestra 658 (Formulación 3).

4.6.3 Discusión de las propiedades físicas y sensoriales

En la Tabla 5 se presentan los resultados consolidados de las propiedades físicas y sensoriales evaluadas. Los análisis estadísticos individuales para las propiedades sensoriales arrojaron que la muestra 658 (Formulación 3) exhibió el desempeño más favorable. Sin embargo, el análisis simultáneo de perfiles de respuesta y deseabilidad determinó que la condición de mejor equilibrio entre las propiedades físicas y sensoriales corresponde a la

muestra 109 (Formulación 1), alcanzando un valor de deseabilidad global de 0,57 (Apéndice Q).

Tabla 5

Consolidado de las propiedades físicas y sensoriales de la Fase III

Muestra	Brillo (M± DE)	Propiedad acústica: *Snap* (dB) (M±DE)	Punto de fusión (°C) (M±DE)	Penetración (mm) (M±DE)	Panel Sensorial (M±DE)
109	44,57 ± 5,01 ^{a}	40,45 ± 0,49 ^{b}	31,12 ± 0,03 ^{a}	2,30 ± 1,50 ^{ab}	6,04 ± 1,62 ^{a}
362	43,30 ± 6,38 ^{a}	38,73 ± 2,83 ^{a}	31,07 ± 0,38 ^{a}	0,98 ± 0,21 ^{a}	5,91 ± 1,70 ^{a}
658	44,10 ± 3,96 ^{a}	26,49 ± 3,70 ^{a}	30,45 ± 0,21 b	2,61 ± 0,50 ^{a}	6,27 ± 1,58 ^{a}
847	45,94 ± 2,82 ^{a}	36,09 ± 5,15 ^{a}	31,15 ± 0,07 b	3,11 ± 2,08 ^{a}	6,44 ± 1,09 ^{a}

Nota. Los datos se expresan como media ± desviación estándar (M ± DE). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p<0,05$), según la prueba de Tukey. Las letras en cursiva (*a*) corresponden a la evaluación estadística independiente mediante la prueba de Tukey aplicada a la puntuación de panel sensorial.

Las condiciones operativas de templado obtenidas para las distintas formulaciones evaluadas (chocolate puro, chocolate con 5 % MC, y las formulaciones con azúcar y leche en polvo) se determinaron bajo las condiciones particulares de ambiente y refrigeración de laboratorio. Cabe resaltar que las condiciones ambientales durante la ejecución del templado sí afectan el proceso, según Chire et al. (2024) la temperatura de la sala donde se realiza el templado debe estar en el rango de 18 °C a 20 °C, con una humedad relativa de 50 al 60 %. Aunque durante la ejecución se registraron ligeras variaciones ambientales frente a esta referente ideal, se permitió alcanzar resultados favorables. De esta manera, en la Tabla 6 se consolidan las condiciones de proceso de templado junto con el registro de las variables ambientales y la refrigeración registrada durante las pruebas.

Tabla 6

Condiciones de procesamiento operativo y control ambiental durante las pruebas de templado

	Fundición		Enfriamiento		Recalentamiento		Ambiente		Refrigeración	
	T	t	T	t	T	t	T	HR %	T	HR %
Chocolate 100%	45	5	27	8	31	8	19,0-20,5	60-65	8	36
Chocolate con 5% MC	45	5	27	8	31	8	20,0-21,0	55-60	7,7	38-41
F1 (65% LC, 5% MC, 30% A)	45	5	28	5	31	8	21,0-22,3	62-64	8	35
F2 (65% LC, 5% MC, 20% A, 10% LP)	45	5	27	5	31	3	20,0-20,5	54	9,0	38-46
F3 (65% LC,5% MC, 10% A, 20% LP)	45	5	27	3	31	8	21,5-22,0	53-54	10	32-33
F4 (65% LC, 5% MC, 30% LP)	45	5	27	5	31	8	21,0-21,5	53	10,3	39

Nota. T: temperatura (°C); t: tiempo (min).HR: humedad relativa (%); LC: licor de cacao; MC: manteca de cacao; A: azúcar: LP: leche en polvo.

Como soporte del trabajo experimental realizado, en el Apéndice R se presenta el registro fotográfico asociado al desarrollo de la investigación, incluyendo los equipos utilizados, las formulaciones, la evaluación de las propiedades y las características visuales de las muestras obtenidas durante el estudio.

5. Conclusiones

- Las mejores condiciones de templado para la cobertura 100% cacao fueron fusión a 45 °C por 5 min, enfriamiento a 27 °C por 8 min y recalentamiento a 31 °C por 8 min, con una maduración de 5 min a temperatura ambiente seguida de 30 min de refrigeración. Estas condiciones no son generalizables a todos los chocolates 100% cacao,

ya que el comportamiento de cristalización depende de la composición de cada cobertura y de las condiciones de proceso.

- La mejor condición al variar la manteca de cacao fue una adición del 5% con una temperatura de enfriamiento de 27 °C. Los porcentajes mayores (10% y 15%) ablandaron el chocolate y redujeron su *snap.*

- El azúcar y la leche en polvo modificaron el templado y tuvieron efectos opuestos, el azúcar aumentó la dureza y el *snap,* mientras que la leche los redujo. Por ello, cada formulación requirió condiciones de templado propias. El azúcar y la leche también influyeron en la percepción sensorial, las formulaciones con más leche fueron más amargas y menos preferidas.

- No existe una condición de templado universal, esta debe ajustarse según la composición del chocolate. La adición de manteca de cacao, azúcar y leche en polvo modifica el comportamiento de cristalización y las propiedades físicas y sensoriales del producto, por lo que cada formulación requiere sus propias condiciones de templado.

6. Recomendaciones

- Todos los resultados sobre la formación de la forma βV se infirieron indirectamente a partir de brillo, *snap*, punto de fusión y penetración. Se recomienda emplear DSC (Calorimetría diferencial de barrido) o difracción de rayos X para verificar directamente que forma polimórfica se obtuvo en cada condición.

- El estudio caracterizó las propiedades inmediatamente después del templado; se recomienda un seguimiento a través del tiempo (*fat Bloom*, cambios de brillo y dureza) para validar si las condiciones seleccionadas mantienen su calidad durante la vida útil del producto.

- Controlar o registrar de forma más estricta la temperatura ambiente durante el proceso de templado, dado su efecto observado sobre el desempeño del proceso y la calidad del producto final; se recomienda trabajar en un espacio climatizado o incluir esta variable como covariable en el análisis estadístico.
- En la fase III cada formulación se evaluó de forma independiente y secuencial; se recomienda en un futuro trabajo evaluar simultáneamente las proporciones de azúcar y leche mediante un diseño factorial conjunto, que permita cuantificar estadísticamente su efecto de interacción, no solo los extremos de formulación.

Referencias bibliográficas

Afoakwa, E. O., & Paterson, A. (2011). Tempering, polymorphism and fat crystallization during industrial chocolate manufacture: Regimes, behaviours and their effects on finished chocolate quality. In New Topics in Food Engineering.

Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., & Vieira, J. (2008a). Effects of tempering and fat crystallisation behaviour on microstructure, mechanical properties and appearance in dark chocolate systems. Journal of Food Engineering, 89(2), 128–136. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.04.021

Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., & Vieira, J. (2008b). Modelling tempering behaviour of dark chocolates from varying particle size distribution and fat content using response surface methodology. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 9(4), 527–533. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2008.02.002

Alvis, A., Pérez, L., & Arrazola, G. (2011). Determinación de las Propiedades de Textura de Tabletas de Chocolate Mediante Técnicas Instrumentales. Información Tecnológica, 22(3), 11–18. https://doi.org/10.4067/S0718-07642011000300003

Bettens, D., Kegelaers, Y., Haut, B., Halloin, V., & Debaste, F. (2009). Modeling temperature in chocolate mass to predict tempering quality. European Journal of Lipid Science and Technology, 111(3), 273–279. https://doi.org/10.1002/ejlt.200800290

Bhattacharyya, T., & Joshi, Y. M. (2022). Effect of thermal and mechanical rejuvenation on the rheological behavior of chocolate. Physics of Fluids, 34(3). https://doi.org/10.1063/5.0083335

Bikos, D., Samaras, G., Cann, P., Masen, M., Hardalupas, Y., Vieira, J., Hartmann, C., Huthwaite, P., Lan, B., & Charalambides, M. N. (2023). Destructive and non-destructive mechanical characterisation of chocolate with different levels of porosity under various modes of deformation. Journal of Materials Science, 58(11), 5104–5127. https://doi.org/10.1007/s10853-023-08324-7

Briggs, J. L., & Wang, T. (2004). Influence of shearing and time on the rheological properties of milk chocolate during tempering. Journal of the American Oil Chemists' Society, 81(2), 117–121. https://doi.org/10.1007/s11746-004-0868-9

Brown, A. L., Warren, E. R., Ingraham, B. W., Ziegler, G. R., & Hopfer, H. (2023). The effect of fat content on sensory perception and consumer acceptability of 70% cacao dark chocolate made from reconstituted cocoa liquor. Journal of Sensory Studies, 38(5). https://doi.org/10.1111/joss.12864

Castro-Alayo, E. M., Balcázar-Zumaeta, C. R., Torrejón-Valqui, L., Medina-Mendoza, M., Cayo-Colca, I. S., & Cárdenas-Toro, F. P. (2023). Effect of tempering and cocoa butter equivalents on crystallization kinetics, polymorphism, melting, and physical properties of dark chocolates. LWT, 173, 114402. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114402

Chen, J., Ghazani, S. M., Stobbs, J. A., & Marangoni, A. G. (2021). Tempering of cocoa butter and chocolate using minor lipidic components. Nature Communications, 12(1), 5018. https://doi.org/10.1038/s41467-021-25206-1

Chen, Y., Zhou, X., Qian, S., & Yu, J. (2022). Effect of Sugar and Milk Powder Addition on the Mechanical Properties and Texture of Chocolate. Journal of Oleo Science, 71(11), ess22148. https://doi.org/10.5650/jos.ess22148

Chire, G., Carpio, R., Yepez, X., & Deering, A. (2024). Procesamiento del cacao: Temperado. Food Science.

Congreso de la República de Colombia. (2012). Ley Estatutaria 1581 de 2012.

Debaste, F., Kegelaers, Y., Liégeois, S., Amor, H. Ben, & Halloin, V. (2008). Contribution to the modelling of chocolate tempering process. Journal of Food Engineering, 88(4), 568–575. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.03.019

Ewens, H., Metilli, L., & Simone, E. (2021). Analysis of the effect of recent reformulation strategies on the crystallization behaviour of cocoa butter and the structural properties of chocolate. Current Research in Food Science, 4, 105–114. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.02.009

Ghazani, S. M., & Marangoni, A. G. (2021). Molecular Origins of Polymorphism in Cocoa Butter. Annual Review of Food Science and Technology, 12(1), 567–590. https://doi.org/10.1146/annurev-food-070620-022551

Giacomozzi, A. S. , C. M. E. , D. L. H. M. , & M. S. (2021). Elaboración de chocolate: funcionalidad de la manteca de cacao y los efectos de su reemplazo por grasas alternativas.

Grob, L., Papadea, K., Braun, P., & Windhab, E. J. (2021). Influence of local convective heat flux on solidification, contraction and wall detachment behavior of molded chocolate

during air cooling. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 68. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102629

Gutiérrez, T. J. (2017). State-of-the-Art Chocolate Manufacture: A Review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 16(6), 1313–1344. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12301

Hinneh, M., Van de Walle, D., Haeck, J., Abotsi, E. E., De Winne, A., Saputro, A. D., Messens, K., Van Durme, J., Afoakwa, E. O., De Cooman, L., & Dewettinck, K. (2019). Applicability of the melanger for chocolate refining and Stephan mixer for conching as small-scale alternative chocolate production techniques. Journal of Food Engineering, 253, 59–71. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.02.016

International Organization for Standardization. (2017). Sensory analysis — Methodology — General guidance (ISO 6658:2017).

J. Hendrik, N., H. Marchesini, F., Van de Walle, D., & Dewettinck, K. (2023). Chocolate Tempering in a Rheometer: Monitoring Rheological Properties During and After Crystallization of Cocoa Butter. Food Analytical Methods, 16(9–10), 1555–1570. https://doi.org/10.1007/s12161-023-02522-4

Koizumi, H., Ueno, S., & Sato, K. (2024). Roles of Powder Technology in Manufacturing Processes and Expression of Deliciousness of Chocolate. Journal of the Society of Powder Technology, Japan, 61(12), 61.755. https://doi.org/10.4164/sptj.61.755

Kurniasari, J., Cahyani, A., Nafingah, R., Rahayoe, S., Harmayani, E., & Saputro, A. D. (2019). The use of oven as a device to temper molten Dark Chocolate. IOP Conference Series:

Earth and Environmental Science, 355(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/355/1/012042

Le Révérend, B. J. D., Fryer, P. J., & Bakalis, S. (2009). Modelling crystallization and melting kinetics of cocoa butter in chocolate and application to confectionery manufacturing. Soft Matter, 5(4), 891–902. https://doi.org/10.1039/B809446B

Marangoni, A. (2004). The Functionality of Milk Fat Fractions in Confectionery and Plastic Fats (pp. 463–480). https://doi.org/10.1201/9781420030549.ch14

Mellor, D. D., Amund, D., Georgousopoulou, E., Naumovski, N., & Mellor, D. (n.d.). Sugar and Cocoa: Sweet Synergy or Bitter Antagonisms. Formulating Cocoa and Chocolate Products for Health: A Narrative Review.

Meyer, J. (2009). Manufacturing processes: deposition of fillings. En Science and Technology of Enrobed and Filled Chocolate, Confectionery and Bakery Products (Elsevier, Ed.).

Ministerio de salud. (1993). Resolución 8430 de 1993 .

Pirouzian, H. R., Konar, N., Palabiyik, I., Oba, S., & Toker, O. S. (2020). Pre-crystallization process in chocolate: Mechanism, importance and novel aspects. Food Chemistry, 321, 126718. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126718

Presidencia de la República de Colombia. (2013). Decreto 1377 de 2023.

Quast, L. B., Luccas, V., Ribeiro, A. P. B., Cardoso, L. P., & Kieckbusch, T. G. (2013). Physical properties of tempered mixtures of cocoa butter, <scp>CBR</scp> and <scp>CBS</scp> fats. International Journal of Food Science & Technology, 48(8), 1579–1588. https://doi.org/10.1111/ijfs.12127

Quiñones-Muñoz, T., Gallegos-Infante, J. A., Rocha-Guzmán, N. E., Ochoa-Martinez, L. A., Morales-Castro, J., González-Laredo, R. F., & Medina-Torres, L. (2011). Mixing and tempering effect on the rheological and particle size properties of dark chocolate coatings Efecto del mezclado y temperado sobre las propiedades reológicas y de tamaño de partícula de coberturas de chocolate oscuro. CyTA - Journal of Food, 9(2), 109–113. https://doi.org/10.1080/19476337.2010.482748

RESOLUCION 1511 DE 2011 . (n.d.).

Ristanti, E. Y., Loppies, J. E., Ramlah, S., Wahyuni, & Ariyanti, M. (2018). Preparation of restructured palm oil for industrial specialty fat using beeswax-cocoa butter as oleogelator. AIP Conference Proceedings, 2049. https://doi.org/10.1063/1.5082417

Rosmindari, S., Saputro, A. D., & Bintoro, N. (2023). Changes of Dark Couverture Chocolate Hardness During Storage Tempered Using Automatic Tempering Machine with Tank and Tempering Temperature as Variables. BIO Web of Conferences, 80. https://doi.org/10.1051/bioconf/20238004002

Rousseau, D. (2016). Microstructural Imaging of Chocolate Confectionery (pp. 311–333). https://doi.org/10.1007/978-3-319-24735-9_10

Sarfarazi, M. M.-T. M. A. (2020). Production of aerated chocolate and application of X-ray computed tomography and image processing in evaluating the bubbles features. Iranian Food Science and Technology Research Journal.

Schneider, C. A., Rasband, W. S., & Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. Nature Methods, 9(7), 671–675. https://doi.org/10.1038/nmeth.2089

Schroeder, S., Beiner, A. N., Bindrich, U., Dewettinck, K., Franke, K., Heinz, V., Walle, D. Van de, & Middendorf, D. (2024). Influencing chocolate gloss inhomogeneities by the choice of surface-active substance and contact material. Food Structure, 40, 100373. https://doi.org/10.1016/j.foostr.2024.100373

Simoes, S., Lelaj, E., & Rousseau, D. (2021). The presence of crystalline sugar limits the influence of emulsifiers on cocoa butter crystallization. Food Chemistry, 346, 128848. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128848

Sonwai, S., & Rousseau, D. (2010). Controlling fat bloom formation in chocolate – Impact of milk fat on microstructure and fat phase crystallisation. Food Chemistry, 119(1), 286–297. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.06.031

Stewart, A., Grandison, A. S., Ryan, A., Festring, D., Methven, L., & Parker, J. K. (2017). Impact of the Skim Milk Powder Manufacturing Process on the Flavor of Model White Chocolate. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 65(6), 1186–1195. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04489

Stobbs, J. A., Ghazani, S. M., Donnelly, M.-E., & Marangoni, A. G. (2025). Chocolate Tempering: A Perspective. Crystal Growth & Design, 25(9), 2764–2783. https://doi.org/10.1021/acs.cgd.5c00269

Svanberg, L., Ahrné, L., Lorén, N., & Windhab, E. (2013). Impact of pre-crystallization process on structure and product properties in dark chocolate. Journal of Food Engineering, 114(1), 90–98. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.06.016

Torbica, A., Jambrec, D., Tomić, J., Pajin, B., Petrović, J., Kravić, S., & Lončarević, I. (2016). Solid Fat Content, Pre-Crystallization Conditions, and Sensory Quality of Chocolate

with Addition of Cocoa Butter Analogues. International Journal of Food Properties, 19(5), 1029–1043. https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1052881

Universidad Industrial de Santander. (2013). Resolución de Rectoría No. 1277 de 2013.

Apéndices

Apéndice A

Información metodológica complementaria

A1 Protocolo de moldeo, enfriamiento y desmoldeo del chocolate

Una vez finalizado el proceso de templado, el chocolate fue vertido en moldes de policarbonato y sometido a una vibración manual suave para eliminar las burbujas de aire y favorecer la uniformidad de las muestras (Meyer, 2009).

Antes de desarrollar los ensayos correspondientes a los diferentes diseños experimentales, se realizó un estudio preliminar con el propósito de establecer el protocolo de tiempo de maduración y desmoldeo que sería utilizado durante todo el estudio. Para ello se empleó la condición central del diseño experimental, correspondiente a una temperatura de recalentamiento de 32°C y un tiempo de cristalización de 5 minutos. A partir de esta condición se evaluó un diseño factorial 2^2, considerando como factores el tiempo de permanencia a temperatura ambiente (5 y 10 min) y el tiempo de refrigeración (20 y 30 min), con el fin de seleccionar el procedimiento que permitiera obtener un desmoldeo adecuado y conservar las propiedades físicas del chocolate.

Tabla A1

Diseño experimental para la sección del protocolo de enfriamiento y desmoldeo

Ensayo	Tiempo de permanencia a temperatura Ambiente [min]	Tiempo de refrigeración [min]
1	5	20
2	5	30
3	10	20
4	10	30

Las muestras permanecieron inicialmente a temperatura ambiente durante el tiempo correspondiente a cada tratamiento y posteriormente fueron almacenadas a 8°C durante el tiempo de refrigeración establecido. Finalizado este periodo, las muestras reposaron 5 minutos a temperatura ambiente antes de realizar el desmoldeo, de acuerdo con (Bhattacharyya & Joshi, 2022) una reducción repentina de la temperatura desde un estado fundido puede provocar cambios indeseables en la estructura del chocolate, similares al envejecimiento físico en los vidrios poliméricos, lo que puede afectar la textura y la apariencia.

Finalmente, se evaluaron las propiedades físicas de brillo y *snap* definidas en la investigación. Adicionalmente, se incorporaron dos variables evaluadas mediante una escala ordinal de 1 a 5: facilidad de desmoldeo y la ausencia de defectos superficiales, considerando como defectos la presencia de grietas, fisuras y fracturas en los bordes. Para la facilidad de desmoldeo, se asignó un valor de 5 a un desmoldeo espontáneo y un valor de 1 a aquellas que presentaron alta adherencia al molde y dificultad para su extracción. Para la ausencia de defectos superficiales, se asignó un valor de 5 a las muestras que no presentaron defectos visibles y un valor de 1 aquellas que presentaron una presencia severa de defectos visuales. Con el fin de seleccionar el protocolo de enfriamiento y desmoldeo más adecuado. El protocolo seleccionado fue utilizado en la elaboración de todas las muestras desarrolladas durante la investigación.

A2 Determinación de las propiedades físicas

A21 Brillo

Se determinó mediante el método de reflectancia utilizando una cámara digital Canon EOS Rebel T6 y análisis de imagen se utilizó el software ImageJ (versión 1.54r, Estados Unidos). Este software, permite el procesamiento y análisis de imágenes digitales,

siendo ampliamente utilizado en investigaciones científicas para la cuantificación de propiedades visuales, tal como se describe en (Schneider et al., 2012). Las imágenes fueron capturadas bajo condiciones controladas de iluminación, distancia y fondo, para lo cual se empleó una cabina diseñada para garantizar las condiciones de adquisición de las imágenes, se utilizó una configuración de 8 bits para el análisis de la imagen.

A22 *Snap*

Se evaluó mediante el análisis de la amplitud de onda sonora generada durante la fractura del chocolate. Para ello, se empleó una cabina acústica improvisada que permitió aislar el ruido externo, un micrófono inalámbrico y se utilizó el software phyphox, (versión 1.2.1, Alemania) con el fin de registrar la amplitud de la señal asociada al característico sonido de fractura “Crack” del chocolate.

A23 Punto de fusión

Se determinó utilizando un fusiómetro Hanon MP420 (China), la determinación se llevó a cabo siguiendo las condiciones de operación establecidas para este equipo, empleando capilares de vidrio de 10 cm de largo por 0.8 mm de diámetro.

A24 Penetración

Se determinó utilizando un penetrómetro. El equipo utilizado fue un penetrómetro (Anton Paar, PNR 12, 2014, Austria). Se empleó una aguja de betún de 2.5 g, fabricada en latón/acero inoxidable (P/N 106912), junto con un émbolo sensor de 97.5 g para detección automática de superficie (P/N 106905), conforme a las normas ASTM D5 y EN 1426. El equipo se configuró a una temperatura de 25°C y una velocidad de 27 mm/s). Este equipo mide automáticamente la resistencia que ofrece un material al ser penetrado por un cuerpo de prueba de geometría y peso definidos, expresando el resultado en unidades de penetración (PU) o en décimas de milímetro (1/10 mm). Esta prueba permitió evaluar la dureza del

chocolate, considerando que una menor profundidad de penetración está asociada con una mayor formación de cristales.

Apéndice B

Diseños experimentales

Tabla B1

Diseño experimental de la Fase I

Ensayo	Tiempo de cristalización [min]	Temperatura de recalentamiento [°C]
1	3	31
2	5	31
3	8	31
4	3	32
5	5	32
6	8	32
7	3	33
8	5	33
9	8	33

Tabla B2

Diseño experimental Fase II

Ensayo	Manteca de cacao [%]	Temperatura de cristalización [°C]
1	5	27
2	10	27
3	15	27
4	5	28
5	10	28

6	15	28
7	5	29
8	10	29
9	15	29

Tabla B3

Diseño experimental Fase III

Formulación	% Cacao	% Azúcar	% leche en polvo
1	70	30	0
2	70	20	10
3	70	10	20
4	70	0	30

Tabla B4

Diseño experimental de la Fase III rampa de enfriamiento

Ensayo	Tiempo de cristalización [min]	Temperatura de cristalización [°C]
1	3	27
2	5	27
3	8	27
4	3	28
5	5	28

Tabla B5

Diseño experimental de la Fase III rampa de recalentamiento

Ensayo	Tiempo de recalentamiento [min]	Temperatura de recalentamiento [°C]
1	3	31
2	5	31
3	8	31
4	3	32
5	5	32
6	8	32

Apéndice C

Material de evaluación sensorial y Documentación Ética

Tabla C1

Escala de evaluación para Brillo y Apariencia del chocolate

Escala de intensidad	Significado
1 a 2	Completamente opaco, sin brillo; manchas blancas.
3 a 5	Brillo presente parcial; presencia de escasas manchas.
6 a 8	Brillo pronunciado y completo, aunque con posible variación en intensidad en algunas partes; color uniforme y libre de manchas.
9 a 10	Brillo reluciente y uniforme en toda la superficie; color totalmente uniforme.

Tabla C2

Escala de evaluación para *Snap* del chocolate

Escala de intensidad	Significado
1 a 2	Muy blando, se dobla con las manos o el cuchillo sin hacer ruido.
3 a 5	Quiebre blando, sonido sordo o débil.
6 a 8	Quiebre firme, sonido nítido y claro.
9 a 10	*Snap* excelente, "crack" fuerte, seco y limpio.

Tabla C3

Escala de evaluación para la Fluidez y Textura del chocolate

Escala de intensidad	Significado
1	No se derrite, hay partículas grandes masticables o notable demora / textura granulosa.
2	Se derrite lento o tiene una textura ligeramente áspera.
3 a 5	Se derrite sin problemas o tiene una textura fina.
6 a 8	Se derrite rápido o tiene una textura cremosa.
9 a 10	Máximo. Se derrite de inmediato y tiene una textura totalmente fluida.

Tabla C4

Escala de evaluación para el amargor del chocolate

Escala de intensidad	Significado
1 a 2	Amargor muy bajo, casi imperceptible / sabor muy suave o dulce.
3 a 5	Amargor leve a moderado, balanceado.
6 a 8	Amargor pronunciado, fuerte sabor a cacao puro.
9 a 10	Extremadamente amargo / amargor intenso y dominante.

Tabla C5

Escala de evaluación para la Astringencia del chocolate

Escala de intensidad	Significado
1 a 2	Sin astringencia, sensación totalmente lubricada y suave.
3 a 5	Astringencia baja, ligera sensación de sequedad que desaparece rápido.
6 a 8	Astringencia pronunciada, sequedad y aspereza evidente en la boca.
9 a 10	Extremadamente astringente / sensación muy áspera, seca y persistente.

Tabla C6

Escala de evaluación global del chocolate

Escala de intensidad	Significado
1 a 3	Defectos importantes en la mayoría de los atributos sensoriales, que afectan significativamente la aceptación global de la muestra.
4	Defectos en varios atributos sensoriales, con un marcado desequilibrio en la percepción global.
5	Defectos de baja intensidad en algunos atributos sensoriales, con una aceptación global limitada.
6	Defectos leves en uno o más atributos sensoriales. Calidad aceptable, aunque sin características sobresalientes.
7	Ausencia de defectos importantes. Los atributos sensoriales presentan un desempeño adecuado, con ligero desequilibrio.
8	Buena calidad sensorial. Los atributos presentan un adecuado equilibrio y una percepción global favorable.
9	Muy buena calidad sensorial. Los atributos evaluados muestran un alto nivel de equilibrio y una aceptación global elevada.
10	Excelente calidad sensorial. Los atributos evaluados presentan un equilibrio sobresaliente y una aceptación global excelente.

Consentimiento Informado para Evaluación Sensorial

Consentimiento informado

Proyecto de investigación Evaluación del proceso de templado de chocolate en función de su composición y de la temperatura del proceso

Investigador(a) principal: Sofia Catalina Bohorquez Silva, Estudiante de Ingeniería Química, sofia2212409@correo.uis.edu.co y Danny Estyben Arciniegas Torres, Estudiante de Ingeniería Química, danny2204671@correo.uis.edu.co.

Coinvestigadores: Astrid Natalia González Morales, Profesional de Investigación UIS, Astrid.gonzalez@correo.uis.edu.co.

Director de la investigación: Luis Javier López Giraldo, Ingeniero Químico, PhD. en Química, Bioquímica y Ciencia de Alimentos, Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, ljlopez@uis.edu.co.

Le invitamos a participar en el estudio *"*Evaluación del proceso de templado de chocolate en función de su composición y de la temperatura del proceso*"*. Antes de decidir si desea participar, lea este documento con cuidado y haga todas las preguntas que necesite. El objetivo de esta investigación es evaluar sensorialmente diferentes formulaciones de chocolate sometidas a distintas condiciones de templado, con el propósito de analizar el efecto del proceso sobre atributos sensoriales como el brillo, la apariencia, el snap, la textura, la fluidez, el amargor, la astringencia y la aceptación global. Usted ha sido invitado(a) a participar porque es mayor de edad, pertenece al Parque Tecnológico Guatiguará de la Universidad Industrial de Santander, es consumidor habitual de chocolate, cumple con los criterios de selección establecidos para participar como juez semientrenados en el panel sensorial y ha aceptado participar voluntariamente en esta investigación.

Si acepta participar en este estudio, inicialmente se le asignará un número de juez con fines de codificación. Se le solicitará su carrera o profesión actual, con el único propósito de caracterizar a la población evaluadora y analizar si el área de formación influye en la percepción sensorial. Posteriormente, evaluará sensorialmente cuatro (4) muestras de chocolate de aprox. 7 g cada una (Consumo total aprox. de 28 g de producto) siguiendo el orden indicado. Registrará sus calificaciones en un formulario digital en Google Forms mediante un código QR desde su celular. La evaluación durará entre 15 a 20 minutos. Las preguntas están redactadas en un lenguaje claro y no existen respuestas correctas o incorrectas; se espera que cada participante registre su percepción sensorial de manera objetiva.

La participación conlleva un riesgo mínimo asociado a la ingesta de alimentos. Debido a la degustación de las muestras de chocolate, podrían presentarse una ligera fatiga sensorial o saturación del paladar. Asimismo, existe la posibilidad de presentar una reacción alérgica o intolerancia a alguno de los ingredientes presentes en las muestras, las cuales contienen chocolate, manteca de cacao, azúcar y leche en polvo. Para disminuir la fatiga sensorial, se dispondrá de tiempos de descanso entre las muestras, así como de agua potable y galletas de sabor neutro para la limpieza del paladar. Antes de iniciar la evaluación, se informará a los participantes sobre los ingredientes presentes y se verificará que no presenten antecedentes conocidos de alergia o intolerancia. En caso de que un participante presente una reacción alérgica u otra molestia durante la evaluación, el equipo investigador suspenderá inmediatamente su participación, le brindará los primeros auxilios básicos disponibles en el sitio, y contactará a los servicios de emergencia y/o trasladará al participante al centro de salud más cercano para su atención. El equipo informará del evento a la Universidad a través de los canales institucionales correspondientes. El participante podrá retirarse en cualquier momento sin que ello genere consecuencias.

Su participación no le generará beneficios personales directos. Sin embargo, contribuirá al desarrollo de conocimiento científico sobre las características sensoriales del chocolate y apoyará la obtención de información para el desarrollo de formulaciones con mejores características de calidad y aceptación por parte del consumidor. Además, hacer parte del estudio no implica ningún costo económico para usted y no se otorgará ningún pago o compensación económica por participar.

La información recolectada será almacenada y custodiada en la nube institucional OneDrive, vinculada a la cuenta de correo institucional del director del proyecto, profesor Luis Javier López Giraldo, protegida mediante contraseña, siendo este el único medio de almacenamiento utilizado, con acceso restringido a los integrantes de la investigación. Los datos serán conservados durante cinco (5) años contados a partir de la finalización de la investigación; cumplido este plazo, serán eliminados de forma segura: se eliminarán permanentemente los archivos y carpetas correspondientes de OneDrive, incluyendo su eliminación de la papelera de reciclaje, y de cualquier copia de respaldo local que se haya generado, quedando así imposibilitada su recuperación. Los datos serán utilizados únicamente para el desarrollo de esta investigación y la presentación de sus resultados de forma grupal, sin identificar individualmente a los participantes, de conformidad con la Ley 1581 de 2012 sobre protección de datos personales.

Su participación en este estudio es completamente voluntaria. Usted tiene el derecho de decidir si desea participar o no, y puede retirarse en cualquier momento del panel sin dar explicaciones y sin que esto afecte su relación con la Universidad. Mientras sea posible relacionar el número de juez con su identidad, podrá solicitar el retiro y eliminación de sus datos

individuales de respuesta. Una vez que los datos hayan sido consolidados para el análisis y ya no sea posible establecer dicha relación, no será posible identificar ni eliminar individualmente sus respuestas.

Los resultados de esta investigación se divulgarán únicamente de forma colectiva y estadística, sin identificar a los participantes individuales. Podrán presentarse en el trabajo de grado de Ingeniería Química, en informes o artículos científicos, así como en eventos académicos y publicaciones de la Universidad Industrial de Santander. Para dudas o inquietudes, puede comunicarse con el equipo investigador a los correos electrónicos: sofia2212409@correo.uis.edu.co y danny2204671@correo.uis.edu.co

Declaración de consentimiento

He leído esta información sobre el estudio. He recibido explicaciones claras sobre sus objetivos, procedimientos, riesgos, beneficios y el manejo de mis datos. He tenido la oportunidad de hacer preguntas y todas han sido respondidas satisfactoriamente. Entiendo que mi participación es voluntaria y que puedo decidir no participar o retirarme de la evaluación en cualquier momento, sin ninguna consecuencia. Entiendo que mis respuestas serán registradas mediante un código de juez y que mi identidad será manejada de manera confidencial. Al aceptar participar, no renuncio a ninguno de mis derechos como participante de investigación.

Autorización para Repositorios de Datos Abiertos:

☐ SÍ autorizo que los datos de la prueba, desvinculados de mi identidad, sean depositados en repositorios de datos abiertos para futuras investigaciones científicas.

☐ NO autorizo el depósito de mis datos en repositorios de datos abiertos.

Firmas

Participante
Firma: _____
Nombres y apellidos _____CC: _____
Tel/Cel._____Dirección: _____

Persona que obtiene el consentimiento
Firma: _____
Nombres y apellidos _____CC: _____
Cargo/Rol_____
Tel/Cel._____Dirección: _____

Testigo 1
Firma: _____
Nombres y apellidos _____CC: _____
Relación de parentesco_____
Tel/Cel._____Dirección: _____

Testigo 2
Firma: _____
Nombres y apellidos _____CC: _____
Relación de parentesco_____
Tel/Cel._____Dirección: _____

Si usted tiene alguna pregunta acerca de sus derechos como participante en este estudio, usted puede contactar al Comité de Ética en Investigación Científica (CEINCI) de la Universidad Industrial de Santander al número telefónico 6076344000, extensión 3808, o al correo electrónico comitedetica@uis.edu.co.

Consideraciones éticas

Principios éticos

Principio de respeto y autonomía

En esta investigación, el principio de respeto y autonomía se concretó mediante el reconocimiento de la dignidad de los jueces sensoriales y de su capacidad para tomar decisiones de manera libre. Dado que los jueces que participaron en el proyecto pertenecían al Parque Tecnológico Guatiguará, se reconoció la posible existencia de relaciones laborales o académicas con la institución. Para evitar cualquier presión explícita o implícita, la invitación a participar se realizó de manera pública y voluntaria, garantizando que la decisión de participar o no participar no generara consecuencias de ninguna índole en los ámbitos laboral, académico o personal.

Antes de iniciar las evaluaciones, cada participante recibió información clara sobre los objetivos del estudio, los procedimientos, los posibles riesgos y beneficios, así como sobre el tratamiento confidencial de la información. Posteriormente, quienes aceptaron participar firmaron el consentimiento informado. Además, pudieron solicitar el retiro del estudio y de sus datos hasta antes de que estos fueran consolidados para el análisis estadístico, momento a partir del cual no sería posible asociar los resultados con su identidad. La información obtenida fue tratada de manera confidencial mediante códigos de identificación, con el fin de proteger la privacidad de los participantes.

Principio de beneficencia

En esta investigación, el beneficio indirecto radicó en la generación de conocimiento científico sobre la influencia de las condiciones de templado y la composición del chocolate en sus características sensoriales. Los resultados obtenidos contribuyeron al conocimiento relacionado con la calidad del chocolate. Los participantes no obtuvieron beneficios directos

de carácter económico ni otro tipo de beneficio personal derivado de su participación. Por lo tanto, medidas como la capacitación previa a los participantes, el suministro de agua potable y galletas de sabor neutro, los periodos de descanso y la prevención de posibles molestias no se consideran beneficios directos, sino medidas establecidas para garantizar el adecuado desarrollo de la evaluación sensorial y el bienestar de los participantes.

Principio de no maleficencia

En esta investigación, el principio de no maleficencia se concretó mediante la identificación, prevención y mitigación de los posibles riesgos asociados con la participación en la evaluación sensorial de las muestras de chocolate. Aunque el proyecto no contempló procedimientos invasivos y se clasificó como de riesgo mínimo, el consumo de las muestras podría generar algunas molestias.

Los posibles riesgos contemplados corresponden a reacciones alérgicas o intolerancias a los ingredientes presentes de las muestras, fatiga sensorial, saturación del paladar o incomodidad durante la evaluación. La posibilidad de presentar estos riesgos podría variar según las condiciones particulares de cada participante. Por ello, antes de iniciar la evaluación, se informó a los participantes sobre los ingredientes presentes en las muestras y se verificó que no presentaran antecedentes de alergias o intolerancias. Asimismo, se limitaron a cuatro muestras evaluadas durante cada sesión, se proporcionó agua potable y galletas de sabor neutro para la limpieza del paladar y se estableció dos minutos de descanso entre las muestras, con el fin de reducir la posibilidad de fatiga sensorial. En caso de presentarse una reacción inesperada o alguna molestia durante la evaluación, se contempló la suspensión inmediata de la participación del juez y la notificación al director o a la codirectora del proyecto, con el fin de aplicar el procedimiento institucional establecido.

Principio de justicia

En esta investigación, el principio de justicia se concretó mediante una selección equitativa de los participantes, evitando cualquier forma de discriminación, favoritismo o exclusiones injustificada. La selección de los jueces se realizó dentro del parque Tecnológico Guatiguará, ubicado en el municipio de Piedecuesta, debido a su cercanía con el laboratorio donde se llevaron a cabo las sesiones de evaluación sensorial, lo que permitió garantizar condiciones logísticas adecuadas y minimizar el desplazamiento de los participantes. El reclutamiento se realizó mediante convocatoria abierta a toda la comunidad del parque tecnológico, sin restricciones por cargo, área de formación, género u otra condición, garantizando que cualquier persona que cumpliera los criterios de elegibilidad pudiera postularse a participar. Todos los participantes recibieron la misma capacitación y participaron bajo las mismas condiciones experimentales. De esta manera, se garantizó un trato igualitario y condiciones equivalente para todos los jueces.

Clasificación del riesgo

La presente investigación se clasificó como una investigación con riesgo mínimo, de acuerdo con la Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia (Ministerio de salud, 1993), ya que se contempló la participación voluntaria de personas sanas en una evaluación sensorial de alimentos. La participación consistió en la degustación de muestras de chocolate elaboradas con chocolate, manteca de cacao, azúcar y leche en polvo, seguida de su evaluación sensorial mediante un formulario. Las actividades que no implican riesgos significativos en las condiciones físicas o psicológicas de los participantes. (Ministerio de salud, 1993).

Tratamiento de datos

El tratamiento de los datos personales durante el desarrollo de esta investigación se realizó conforme a lo establecido en la Ley Estatutaria 1581 de 2012, el Decreto Reglamentario 1377 de 2013 y la resolución de Rectoría 1227 de 2013 de la Universidad Industrial de Santander, garantizando la confidencialidad, el uso adecuado y la protección de la información suministrada por los participantes.(Congreso de la República de Colombia, 2012; Presidencia de la República de Colombia., 2013; Universidad Industrial de Santander, 2013).

Los datos personales fueron recolectados únicamente en el consentimiento informado. Esta información tuvo como finalidad registrar la participación voluntaria en la investigación y dejar constancia de la aceptación del consentimiento. Durante la evaluación sensorial, el formulario de recolección de información no solicitó datos personales que permitieran la identificación directa de los participantes.

Con el fin de proteger la identidad de los participantes, se implementó un procedimiento de seudonimización mediante la asignación de un código a cada juez, el cual fue utilizado para el registro y análisis de la información obtenida durante la evaluación sensorial.

La custodia de los datos estuvo a cargo del director del proyecto, Luis Javier López Giraldo, mientras que los investigadores fueron responsables de la recolección organización y análisis de la información durante el desarrollo del estudio.

La información recolectada, fue almacenada y custodiada en la nube institucional OneDrive, vinculada a la cuenta de correo institucional del director del proyecto, profesor Luis Javier López Giraldo, protegida mediante contraseña, siendo este el único medio de almacenamiento utilizado. Tuvieron acceso a la información únicamente los integrantes del

equipo investigador. Los datos serán conservados de la investigación; cumplido este plazo, serán eliminados de forma segura: se eliminarán permanentemente los archivos y carpetas correspondiente de OneDrive, incluyendo su eliminación de la papelera de reciclaje, y de cualquier copa de respaldo local que se haya generado, quedando así imposibilitada su recuperación.

Apéndice D

Análisis estadísticos de Preliminar

Tabla D1

Análisis de varianza (ANOVA) para el Brillo de Preliminar

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	14670,77	1	14670,77	812,3459	0,000095
Réplica	16,12	1	16,12	0,8923	0,414532
Tiempo de P. Temp.Ambiente	1,25	1	1,25	0,0694	0,809271
Tiempo de Refrigeración.	20,45	1	20,45	1,1322	0,365365
Interacción	42,54	1	42,54	2,3554	0,222407
Error	**54,18**	**3**	**18,06**		

Tabla D2

Análisis de varianza (ANOVA) para el Snap de Preliminar

Fuente	SS	Df	MS	F	P
Intercepto	6230,619	1	6230,619	94,86011	0,002299
Réplica	33,323	1	33,323	0,50734	0,527691
Tiempo de P. Temp.Ambiente	23,969	1	23,969	0,36492	0,588409
Tiempo de Refrigeración.	17,630	1	17,630	0,26841	0,640186
Interacción	69,646	1	69,646	1,06035	0,378889
Error	197,047	3	65,682		

Tabla D3

Análisis de varianza (ANOVA) para el Desmoldeo Preliminar

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	120,1250	1	120,1250	262,0909	0,000513
Réplica	0,1250	1	0,1250	0,2727	0,637618
Tiempo de P. Temp.Ambiente	1,1250	1	1,1250	2,4545	0,215170
Tiempo de Refrigeración.	1,1250	1	1,1250	2,4545	0,215170
Interacción	3,1250	1	3,1250	6,8182	0,079605
Error	**1,3750**	**3**	**0,4583**		

Tabla D4

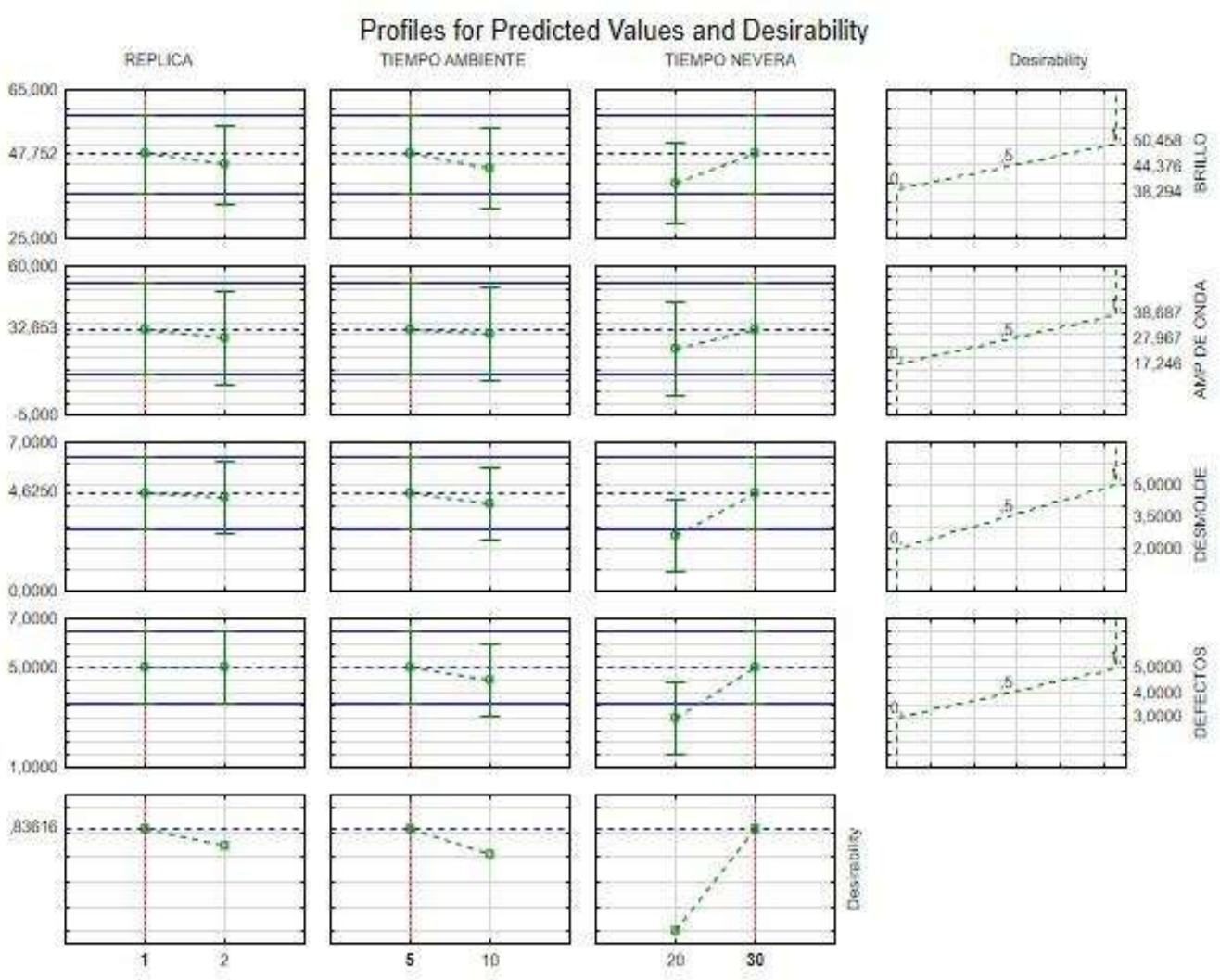
Análisis de varianza (ANOVA) para los Defectos de Preliminar

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	128,0000	1	128,0000	384,0000	0,000290

Réplica	0,0000	1	0,0000	0,0000	1,000000
Tiempo de P. Temp.Ambiente	0,0000	1	0,0000	0,0000	1,000000
Tiempo de Refrigeración.	4,5000	1	4,5000	13,5000	0,034897
Interacción	0,5000	1	0,5000	1,5000	0,308068
Error	**1,0000**	**3**	**0,3333**		

Figura D1

Perfiles de valores predichos y deseabilidad para las repuestas evaluadas en función del tiempo de reposo en el ambiente y refrigeración



Apéndice E

Análisis estadísticos Fase I

Tabla E1

Análisis de varianza (ANOVA) para el brillo de la Fase I

Fuente	SS	Df	MS	F	P
Intercepto	31005,69	1	31005,69	2078,851	0,000000
Réplica	0,00	1	0,00	0,000	0,996861
Tiemp. de cristalización	20,55	2	10,27	0,689	0,529632
Temp. de recalentamiento	134,47	2	67,24	4,508	0,048857
Interacción	82,16	4	20,54	1,377	0,323633
Error	**119,32**	**8**	**14,91**		

Tabla E2

Análisis de varianza (ANOVA) para el snap de la Fase I

Fuente	SS	Df	MS	F	P
Intercepto	14325,95	1	14325,95	190,0161	0,000001
Réplica	9,90	1	9,90	0,1313	0,726452
Tiemp. de cristalización	158,50	2	79,25	1,0512	0,393253
Temp. de recalentamiento	1003,18	2	501,59	6,6529	0,019877
Interacción	124,64	4	31,16	0,4133	0,794844
Error	**603,15**	**8**	**75,39**		

Tabla E3

Análisis de varianza (ANOVA) para el punto de fusión de la Fase I

Fuente	SS	Df	MS	F	P
Intercepto	17050,89	1	17050,89	30691600	0,000000
Réplica	0,00	1	0,00	1	0,346594
Tiemp. de cristalización	0,30	2	0,15	271	0,000000
Temp. de recalentamiento	0,03	2	0,02	28	0,000244
Interacción	0,18	4	0,04	80	0,000002
Error	**0,00**	**8**	**0,00**		

Tabla E4

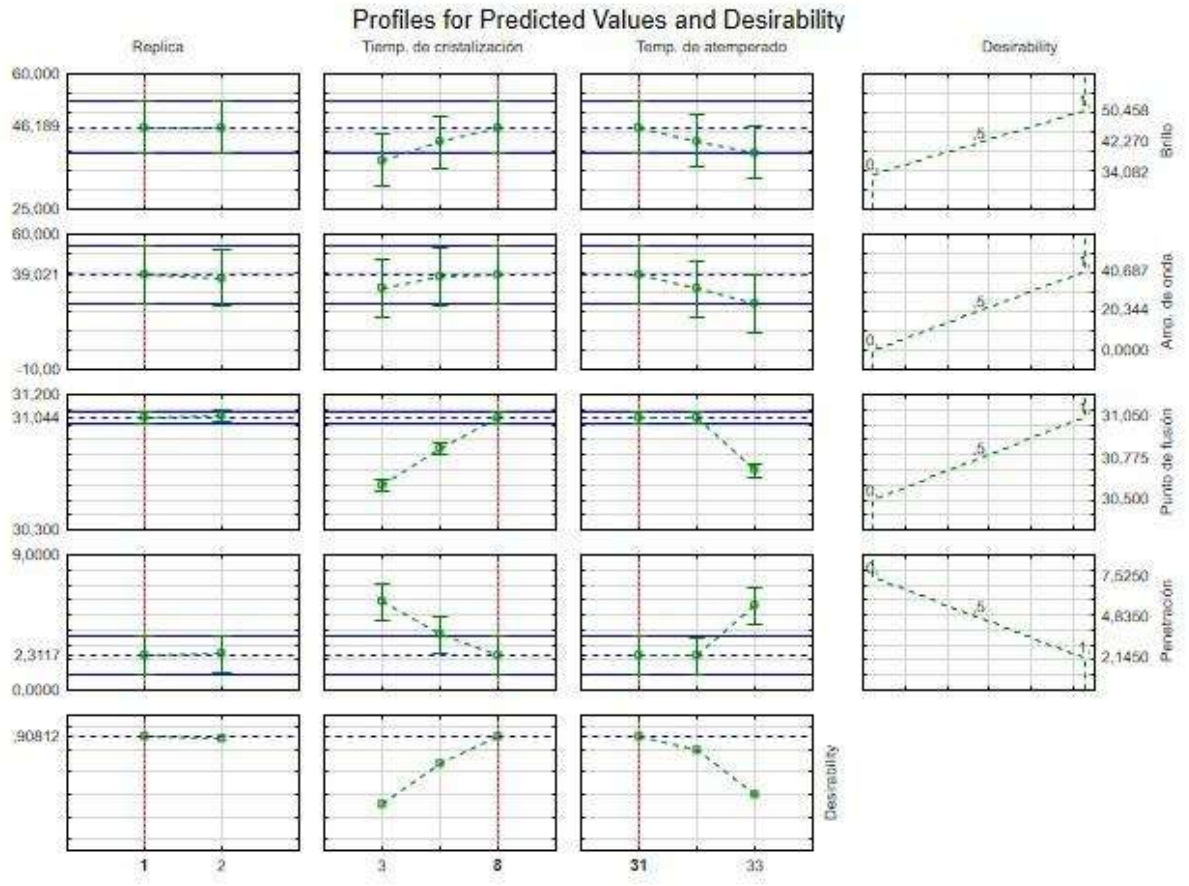
Análisis de varianza (ANOVA) para la penetración de la Fase I

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	403,3747	1	403,3747	769,8541	0,000000

Réplica	0,0421	1	0,0421	0,0803	0,784146
Tiemp. de cristalización	16,8859	2	8,4429	16,1136	0,001564
Temp. de recalentamiento	21,4634	2	10,7317	20,4818	0,000713
Interacción	11,7003	4	2,9251	5,5826	0,019093
Error	**4,1917**	**8**	**0,5240**		

Figura E1

Perfiles de valores predichos y deseabilidad para las repuestas evaluadas en función del tiempo de cristalización y la temperatura de recalentamiento



Nota. La gráfica ilustra la condición de mayor deseabilidad global (0,90) correspondiente a 31 °C de temperatura de recalentamiento y 8 min de cristalización. Para la condición de 31 °C (8 min), la función de deseabilidad global (0,78).

Apéndice F

Análisis estadísticos de Reconfiguración de la Fase I

Tabla F1

Análisis de varianza (ANOVA) para el brillo de Reconfiguración de la Fase I

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	23689,68	1	23689,68	2053,629	0,000000
Réplica	14,82	1	14,82	1,285	0,300277
Tiemp. de recalentamiento	10,06	2	5,03	0,436	0,665588
Temp. de recalentamiento	67,27	2	33,64	2,916	0,130413
Interacción	69,21	6	11,54		
Error					

Tabla F2

Análisis de varianza (ANOVA) para el snap de Reconfiguración de la Fase I

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	14934,48	1	14934,48	1446,338	0,000000
Réplica	55,18	1	55,18	5,344	0,060134
Tiemp. de recalentamiento	6,86	2	3,43	0,332	0,729608
Temp. de recalentamiento	31,46	2	15,73	1,523	0,291764
Interacción	61,95	6	10,33		
Error					

Tabla F3

Análisis de varianza (ANOVA) para el punto de fusión de Reconfiguración de la Fase I

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	11389,84	1	11389,84	448124,9	0,000000
Réplica	0,07	1	0,07	2,7	0,154299
Tiemp. de recalentamiento	0,37	2	0,19	7,3	0,024803
Temp. de recalentamiento	0,05	2	0,03	1,1	0,404229
Interacción	0,15	6	0,03		
Error	**0,00**	**8**	**0,00**		

Tabla F4

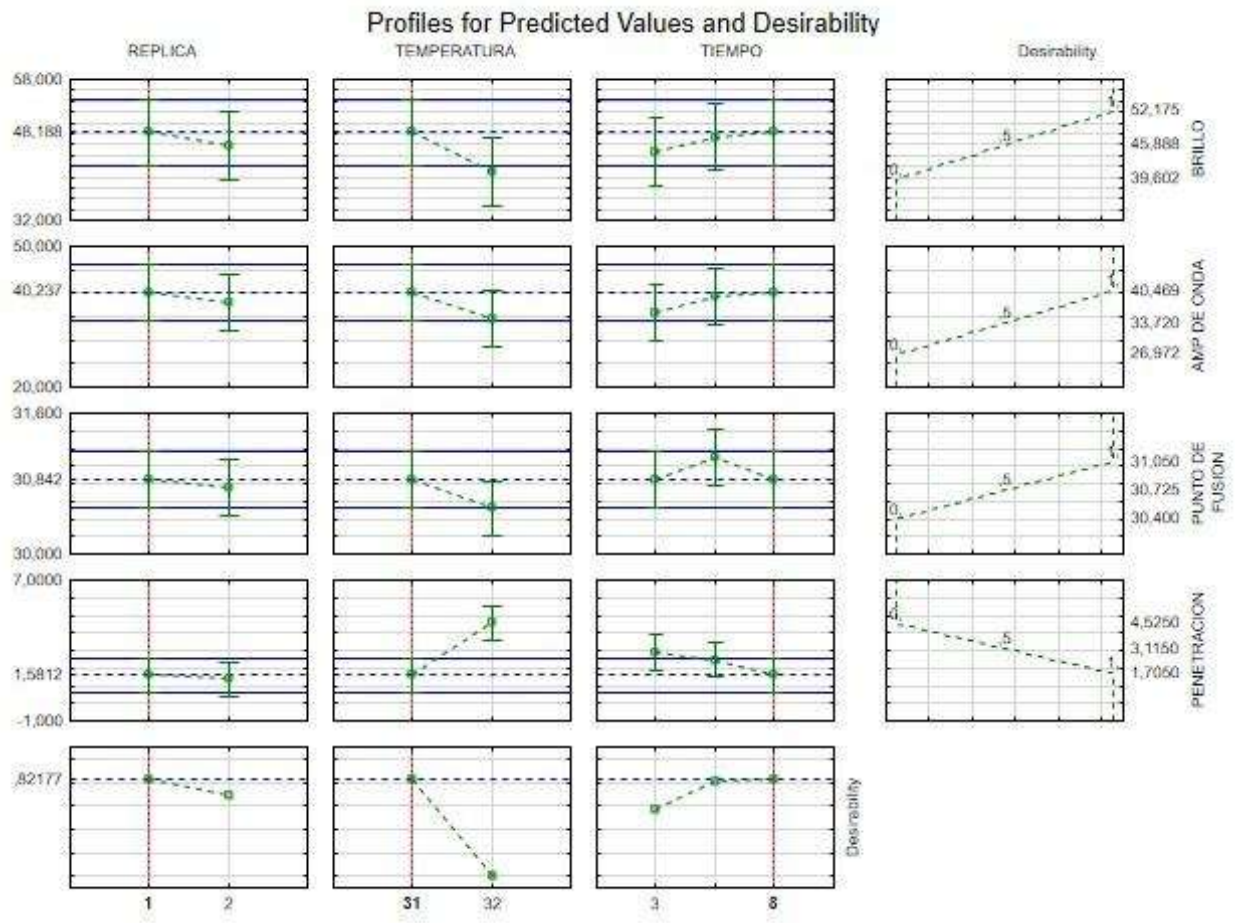
Análisis de varianza (ANOVA) para la penetración de Reconfiguración de la Fase I

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	82,34660	1	82,34660	345,6039	0,000002

Réplica	2,10422	1	2,10422	8,8313	0,024901
Tiemp. de recalentamiento	0,82395	2	0,41198	1,7290	0,255296
Temp. de recalentamiento	7,11084	2	3,55542	14,9219	0,004690
Interacción	1,42961	6	0,23827		
Error					

Figura F1

Perfiles de valores predichos y deseabilidad para las repuestas evaluadas en función del tiempo de recalentamiento y temperatura de recalentamiento



Apéndice G

Análisis estadísticos de la Fase II

Tabla G1

Análisis de varianza (ANOVA) para el brillo de la Fase II

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	31051,19	1	31051,19	3112,427	0,000000
Réplica	6,24	1	6,24	0,626	0,451772
Temp. de Cristalización.	7,24	2	3,62	0,363	0,706652
% de MC.	55,03	2	27,52	2,758	0,122722
Interacción	87,73	4	21,93	2,198	0,159366
Error	**79,81**	**8**	**9,98**		

Tabla G2

Análisis de varianza (ANOVA) para el snap de la Fase II

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	13802,91	1	13802,91	1419,349	0,000000
Réplica	16,87	1	16,87	1,735	0,224276
Temp. de cristalización	25,76	2	12,88	1,325	0,318503
% de MC.	191,10	2	95,55	9,825	0,007007
Interacción	327,75	4	81,94	8,426	0,005732
Error	**77,80**	**8**	**9,72**		

Tabla G3

Análisis de varianza (ANOVA) para el punto de fusión de la Fase II

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	17084,76	1	17084,76	1301696	0,000000
Réplica	0,00	1	0,00	0	0,765504
Temp. de cristalización	0,03	2	0,02	1	0,357052
% de MC.	0,27	2	0,14	10	0,005985
Interacción	0,65	4	0,16	12	0,001648
Error	**0,11**	**8**	**0,01**		

Tabla G4

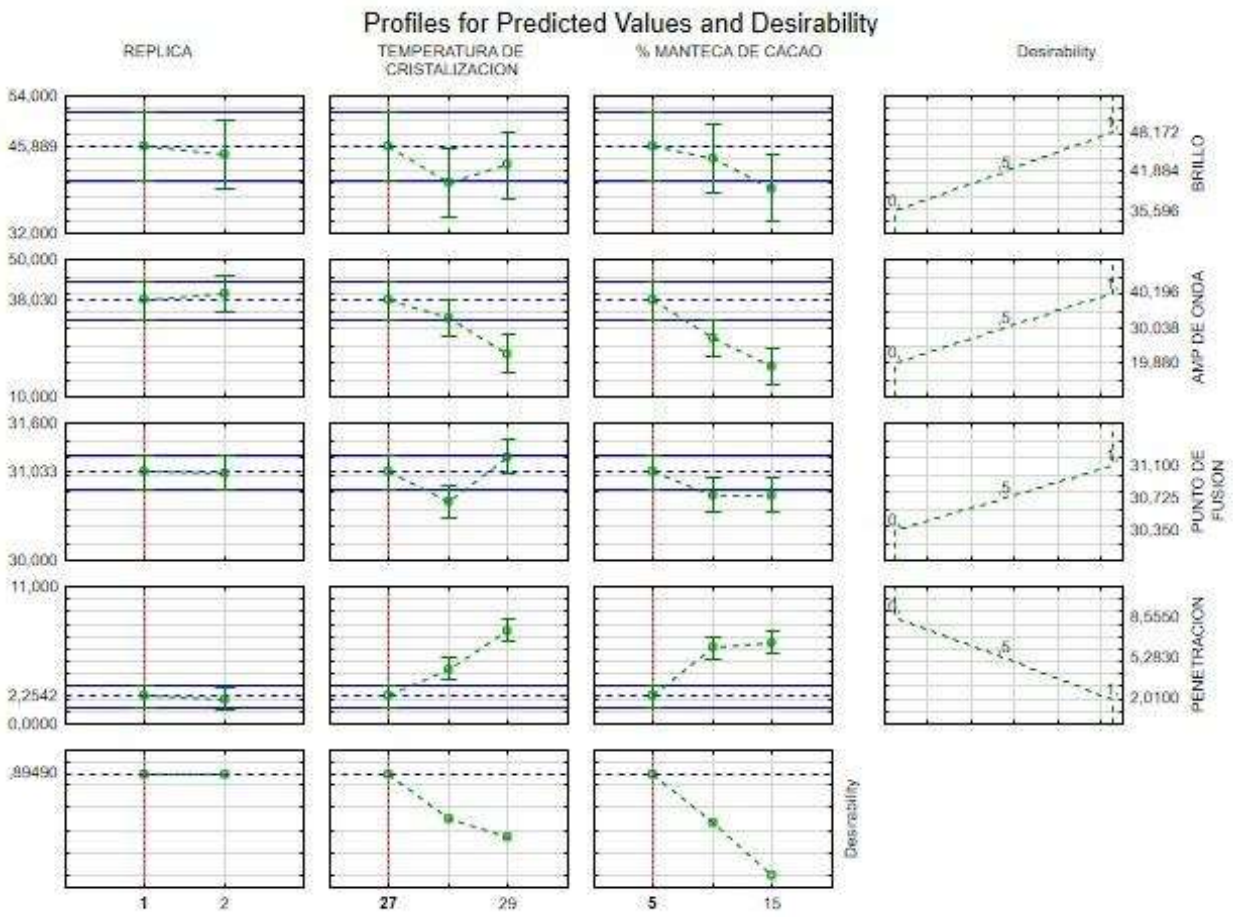
Análisis de varianza (ANOVA) para la penetración de la Fase II

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	667,3422	1	667,3422	2567,750	0,000000

Réplica	0,3872	1	0,3872	1,490	0,256995
Temp. de cristalización	16,6095	2	8,3048	31,954	0,000153
% de MC.	20,6324	2	10,3162	39,694	0,000070
Interacción	21,3212	4	5,3303	20,510	0,000289
Error	**2,0792**	**8**	**0,2599**		

Figura G1

Perfiles de valores predichos y deseabilidad para las repuestas evaluadas en función de la temperatura de cristalización y los porcentajes de manteca de cacao



Apéndice H

Panel sensorial I

Tabla H1

Resultados de la evaluación sensorial del panel I, muestra R (0% de MC)

		Descriptores *					
Juez	Muestra	A	B	C	D	E	F
1	R	8	9	4	5	5	9
2	R	6	6	5	8	2	9
3	R	9	10	8	8	8	7
4	R	6	9	3	7	5	8
5	R	7	9	5	7	6	8
6	R	9	10	8	6	2	9
7	R	8	10	5	9	8	9
8	R	2	7	2	4	6	7
9	R	7	8	6	9	3	7
10	R	9	10	2	8	4	9
11	R	6	4	2	7	5	8
12	R	9	7	7	10	8	8
13	R	3	4	2	9	8	9
14	R	7	8	8	5	8	7
15	R	4	8	3	8	8	9
	M	6,66	7,93	4,66	7,33	5,73	8,20
	DE	2,22	2,01	2,31	1,71	2,25	0,86

Nota. A: Brillo y Apariencia; B: *Snap*; C: Fluidez y Textura; D: Amargor; E: Astringencia; F: Calificación Global; M: Media; DE: Desviación estándar

Tabla H2

Resultados de la evaluación sensorial del panel I, muestra 472 (5% de MC)

		Descriptores *					
Juez	Muestra	A	B	C	D	E	F
1	472	4	7	2	6	4	9
2	472	6	9	4	8	2	9
3	472	8	9	6	10	8	6

4	472	6	9	7	9	6	9
5	472	3	8	5	9	6	8
6	472	3	9	8	9	5	7
7	472	6	7	5	8	8	8
8	472	6	9	2	8	8	8
9	472	8	6	6	8	5	7
10	472	7	5	1	2	1	8
11	472	8	3	5	8	3	8
12	472	6	10	8	8	8	8
13	472	2	7	2	8	8	8
14	472	6	6	5	7	8	5
15	472	4	7	5	5	8	7
	M	5,53	7,40	4,73	7,53	5,86	7,66
	DE	1,92	1,88	2,18	1,95	2,44	1,11

Nota. A: Brillo y Apariencia; B: *Snap*; C: Fluidez y Textura; D: Amargor; E: Astringencia; F: Calificación Global; M: Media; DE: Desviación estándar

Tabla H3

Resultados de la evaluación sensorial del panel I, muestra 517 (10% de MC)

		Descriptores *					
Juez	Muestra	A	B	C	D	E	F
1	517	10	10	5	10	6	8
2	517	10	9	5	8	1	9
3	517	8	5	10	7	4	8
4	517	8	10	6	8	8	8
5	517	3	6	8	5	3	8
6	517	9	6	8	8	6	8
7	517	10	10	5	7	4	9
8	517	7	8	4	7	8	8
9	517	8	10	8	5	2	9
10	517	8	8	2	6	10	8
11	517	8	3	2	8	4	7
12	517	6	6	8	7	8	8
13	517	4	8	4	6	7	9
14	517	6	8	6	7	6	6

15	517	6	5	3	7	5	9
	M	7,40	7,46	5,60	7,06	5,46	8,13
	DE	2,09	2,19	2,41	1,27	2,50	0,83

Nota. A: Brillo y Apariencia; B: *Snap*; C: Fluidez y Textura; D: Amargor; E: Astringencia; F: Calificación Global; M: Media; DE: Desviación estándar

Tabla H4

Resultados de la evaluación sensorial del panel I, muestra 901 (15% de MC)

		Descriptores *					
Juez	Muestra	A	B	C	D	E	F
1	901	9	5	1	6	5	9
2	901	9	8	5	7	1	9
3	901	8	3	5	9	8	7
4	901	5	4	2	9	6	7
5	901	7	5	5	5	1	8
6	901	8	5	6	3	7	6
7	901	7	1	2	8	7	7
8	901	8	9	3	8	8	8
9	901	10	9	10	6	3	9
10	901	9	2	2	4	3	7
11	901	8	3	2	8	3	8
12	901	8	2	7	8	9	7
13	901	4	4	2	5	4	7
14	901	9	5	2	5	5	7
15	901	9	2	7	4	4	7
	M	7,86	4,46	4,06	6,33	4,93	7,53
	DE	1,59	2,53	2,60	1,95	2,52	0,91

Nota. A: Brillo y Apariencia; B: *Snap*; C: Fluidez y Textura; D: Amargor; E: Astringencia; F: Calificación Global; M: Media; DE: Desviación estándar

Apéndice I

Análisis estadísticos de la evaluación sensorial de Panel I

Tabla I1

Análisis de varianza (ANOVA) para el Brillo y Apariencia de Panel I

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	2829,067	1	2829,067	725,4017	0,000000
% de MC.	46,533	3	15,511	3,9772	0,012219
Error	**218,400**	**56**	**3,900**		

Tabla I2

Análisis de varianza (ANOVA) para el Snap de Panel I

Fuente	SS	Df	MS	F	P
Intercepto	2747,267	1	2747,267	612,4480	0,000000
% de MC.	127,533	3	42,511	9,4770	0,000037
Error	**251,200**	**56**	**4,486**		

Tabla I3

Análisis de varianza (ANOVA) para la Fluidez y Textura de Panel I

Fuente	SS	Df	MS	F	P
Intercepto	1325,400	1	1325,400	227,4900	0,000000
% de MC.	24,333	3	8,111	1,3922	0,254676
Error	**326,267**	**56**	**5,826**		

Tabla I4

Análisis de varianza (ANOVA) para el Amargor de Panel I

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	2982,150	1	2982,150	976,9914	0,000000
% de MC.	13,917	3	4,639	1,5198	0,219375
Error	**170,933**	**56**	**3,052**		

Tabla I5

Análisis de varianza (ANOVA) para la Astringencia de Panel I

Fuente	SS	df	MS	F	P

Intercepto	1859,267	1	1859,267	330,7463	0,000000
% de MC.	3,933	3	1,311	0,2332	0,872845
Error	**314,800**	**56**	**5,621**		

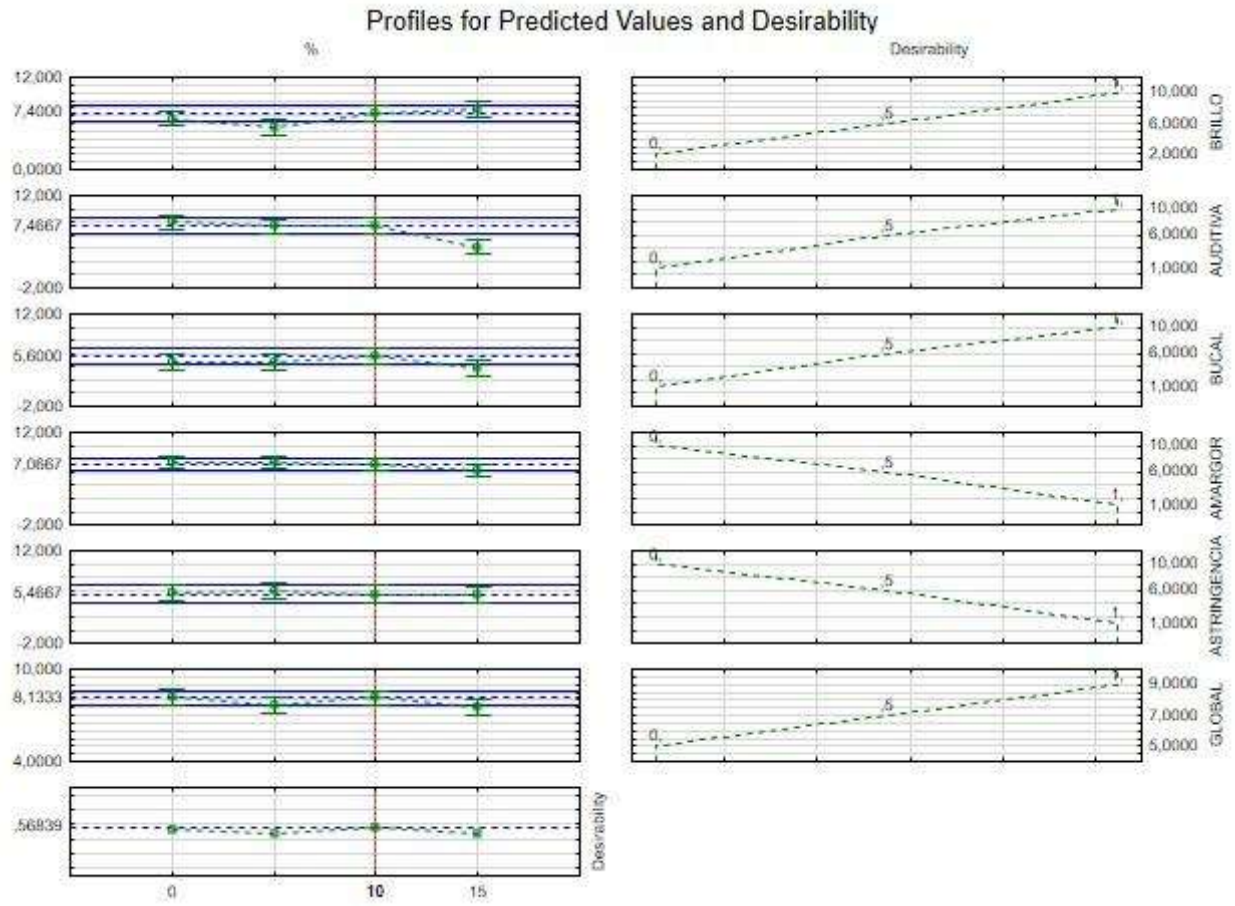
Tabla I6

Análisis de varianza (ANOVA) de la calificación Global de Panel I

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	3728,817	1	3728,817	4244,182	0,000000
% de MC.	4,983	3	1,661	1,891	0,141638
Error	**49,200**	**56**	**0,879**		

Figura I1

Perfiles de valores predichos y deseabilidad para las respuestas evaluadas en función de la temperatura de cristalización y los porcentajes de manteca de cacao

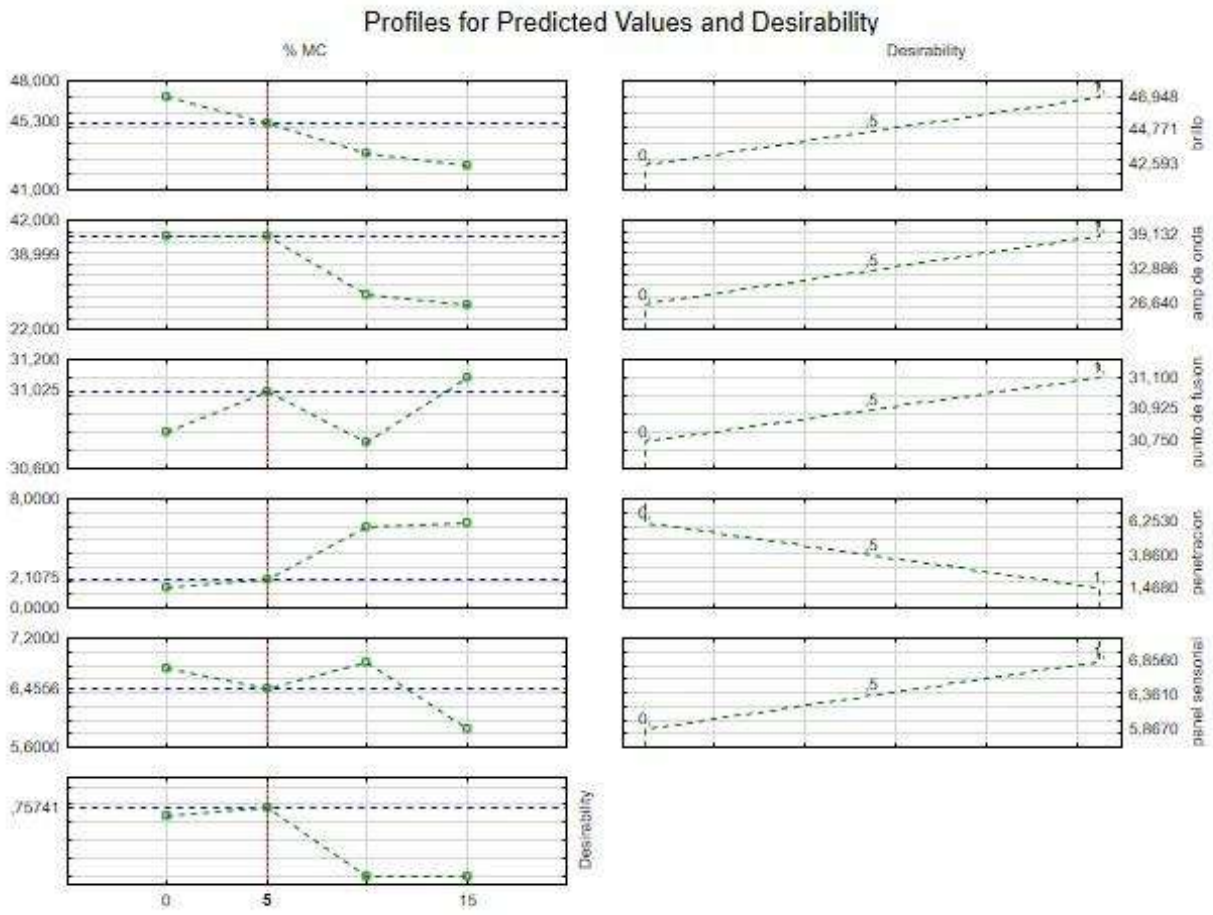


Apéndice J

Análisis estadísticos de las propiedades físicas y sensoriales de Panel I

Figura J1

Perfiles de valores predichos y deseabilidad para las respuestas evaluadas en función de las propiedades físicas y sensoriales de Panel I



Apéndice K

Análisis estadísticos de la Fase III formulación 1

Tabla K1

Análisis de varianza (ANOVA) para el brillo de la Fase III F1

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	10363,61	1	10363,61	643,0097	0,000134
Temp. de Cristalización.	36,04	2	18,02	1,1180	0,433699
Error	**48,35**	**3**	**16,12**		

Tabla K2

Análisis de varianza (ANOVA) para el snap de la Fase III F1

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	8551,496	1	8551,496	2860,295	0,000014
Temp. de Cristalización.	24,770	2	12,385	4,143	0,137064
Error	**8,969**	**3**	**2,990**		

Tabla K3

Análisis de varianza (ANOVA) para el punto de fusión de la Fase III F1

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	5784,615	1	5784,615	81665,15	0,000000
Temp. de Cristalización.	0,033	2	0,016	0,23	0,807773
Error	**0,213**	**3**	**0,071**		

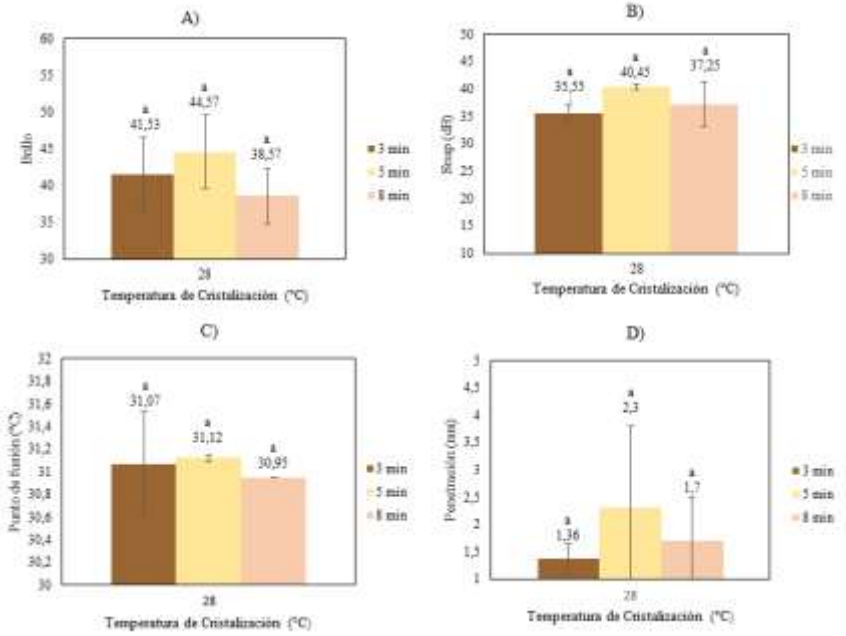
Tabla K4

Análisis de varianza (ANOVA) para la penetración de la Fase III F1

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	19,20670	1	19,20670	163,0854	0,001036
Temp. de Cristalización.	0,91556	2	0,45778	3,8870	0,146931
Error	**0,35331**	**3**	**0,11777**		

Figura K1

Efecto de la temperatura y tiempo de cristalización sobre las propiedades físicas del chocolate en formulación 1



Nota. (A) Brillo, (B) Propiedad acústica (*snap*), (C) Punto de fusión, (D) Penetración. Los datos se expresan como media ± desviación estándar (M ± DE). Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de Tukey.

Figura K2

Perfiles de valores predichos y deseabilidad para las respuestas evaluadas en función de tiempo de cristalización y la temperatura de cristalización de la formulación 1

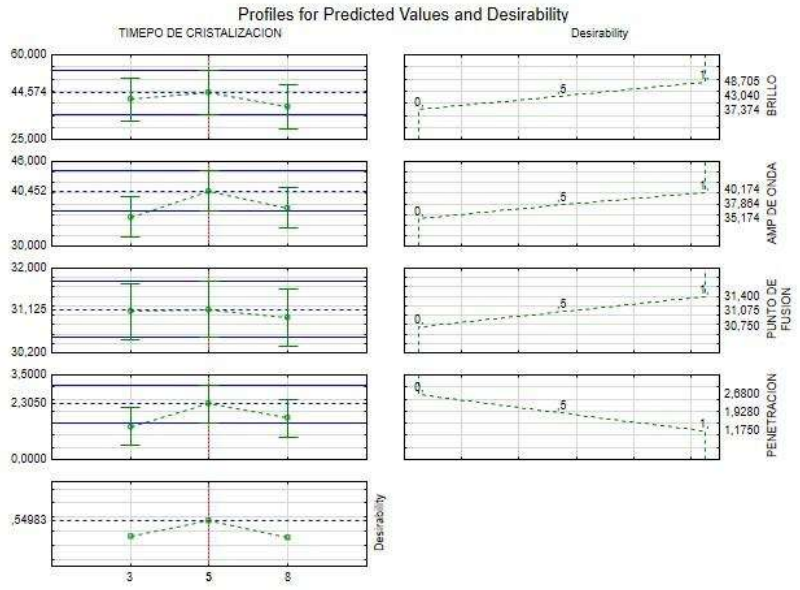


Tabla K5

Análisis de varianza (ANOVA) para el brillo de Reconfiguración de la Fase III F1

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	22930,31	1	22930,31	1476,435	0,000000
Réplica	16,75	1	16,75	1,079	0,346621
Temp. de recalentamiento	0,88	1	0,88	0,057	0,821414
Tiemp. de recalentamiento	5,57	2	2,79	0,179	0,840928
Interacción	12,73	2	6,36	0,410	0,684279
Error	**77,65**	**5**	**15,53**		

Tabla K6

Análisis de varianza (ANOVA) para el snap de Reconfiguración de la Fase III F1

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	13285,60	1	13285,60	407,8832	0,000006
Réplica	16,39	1	16,39	0,5033	0,509776
Temp. de recalentamiento	141,79	1	141,79	4,3531	0,091315
Tiemp. de recalentamiento	67,73	2	33,86	1,0396	0,419234
Interacción	214,86	2	107,43	3,2982	0,122070
Error	**162,86**	**5**	**32,57**		

Tabla K7

Análisis de varianza (ANOVA) para el punto de fusión de Reconfiguración de la Fase III F1

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	11352,90	1	11352,90	508338,8	0,000000
Réplica	0,04	1	0,04	1,8	0,234262
Temp. de recalentamiento	0,00	1	0,00	0,0	1,000000
Tiemp. de recalentamiento	0,18	2	0,09	4,1	0,088468
Interacción	0,59	2	0,29	13,2	0,010149
Error	**0,11**	**5**	**0,02**		

Tabla K8

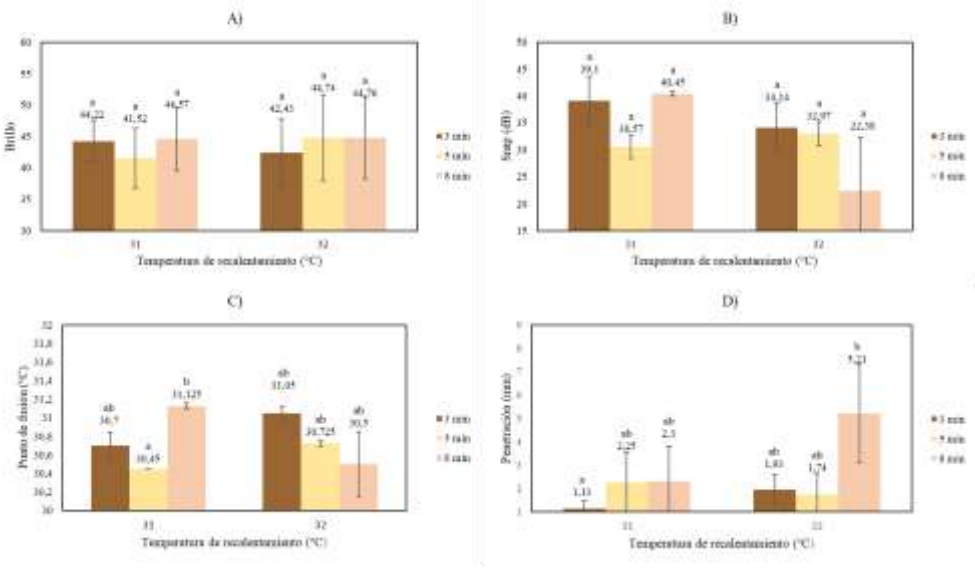
Análisis de varianza (ANOVA) para la penetración de Reconfiguración de la Fase III F1

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	70,66453	1	70,66453	92,10045	0,000208
Réplica	1,09808	1	1,09808	1,43117	0,285203
Temp. de recalentamiento	3,45613	1	3,45613	4,50454	0,087241
Tiemp. de recalentamiento	11,09555	2	5,54778	7,23068	0,033457
Interacción	5,93403	2	2,96701	3,86705	0,096606

Error	**3,83628**	**5**	**0,76726**

Figura K3

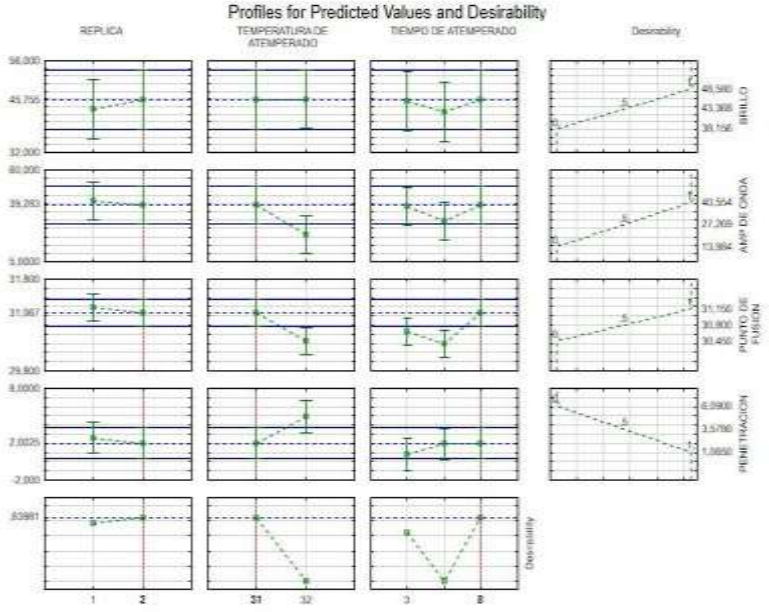
Efecto del diseño experimental de reconfiguración de la Formulación 1 sobre las propiedades físicas del chocolate



Nota. (A) Brillo, (B) Propiedad acústica (*snap*), (C) Punto de fusión, (D) Penetración. Los datos se expresan como media ± desviación estándar (M ± DE). Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de Tukey.

Figura K4

Perfiles de valores predichos y deseabilidad para las repuestas evaluadas en función del tiempo de recalentamiento y temperatura de recalentamiento de la formulación 1



Apéndice L

Análisis estadísticos de la Fase III F2

Tabla L1

Análisis de varianza (ANOVA) para el Brillo de la Fase III F2

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	16157,07	1	16157,07	2359,185	0,000000
Réplica	50,32	1	50,32	7,348	0,042243
Temp de Cristalización.	652,61	1	652,61	95,291	0,000192
Tiempo de Cristalización.	1404,13	2	702,07	102,513	0,000087
Interacción	1214,95	2	607,48	88,701	0,000124
Error	**34,24**	**5**	**6,85**		

Tabla L2

Análisis de varianza (ANOVA) para el Snap de la Fase III F2

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	7158,478	1	7158,478	113,0654	0,000127
Réplica	89,807	1	89,807	1,4185	0,287107
Temp de Cristalización.	37,687	1	37,687	0,5952	0,475261
Tiempo de Cristalización.	1032,332	2	516,166	8,1526	0,026681
Interacción	824,978	2	412,489	6,5151	0,040497
Error	**316,564**	**5**	**63,313**		

Tabla L3

Análisis de varianza (ANOVA) para el Punto de fusión de la Fase III F2

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	7726,688	1	7726,688	220762,5	0,000000
Réplica	0,270	1	0,270	7,7	0,039019
Temp de Cristalización.	302,003	1	302,003	8628,7	0,000000
Tiempo de Cristalización.	604,534	2	302,267	8636,2	0,000000
Interacción	639,750	2	319,875	9139,3	0,000000
Error	**0,175**	**5**	**0,035**		

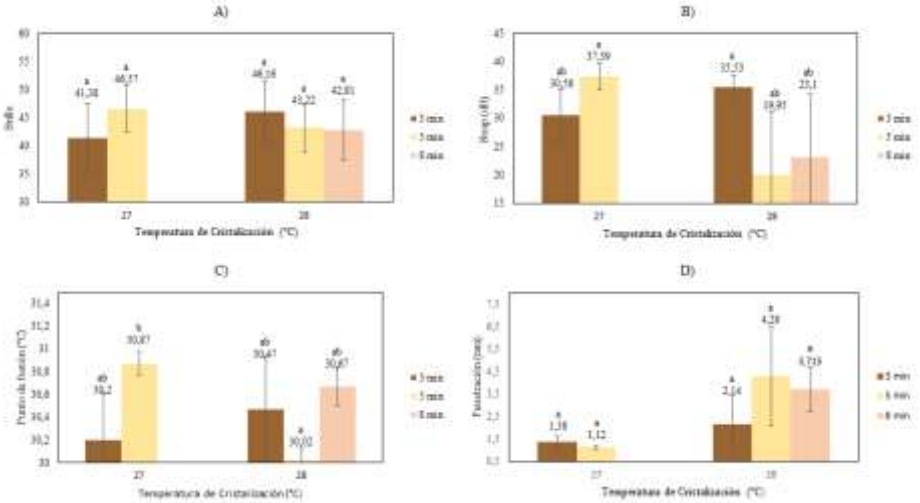
Tabla L4

Análisis de varianza (ANOVA) para la penetración de la Fase III F2

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	53,42520	1	53,42520	30,15479	0,002734
Réplica	0,79053	1	0,79053	0,44620	0,533736

Temp de Cristalización.	19,50750	1	19,50750	11,01062	0,021049
Tiempo de Cristalización.	2,16859	2	1,08429	0,61201	0,578427
Interacción	4,93989	2	2,46994	1,39411	0,330240
Error	**8,85849**	**5**	**1,77170**		

Figura L1 *Efecto de la temperatura y tiempo de cristalización sobre las propiedades físicas del chocolate en formulación 2*



Nota. (A) Brillo, (B) Propiedad acústica (*snap*), (C) Punto de fusión, (D) Penetración. Los datos se expresan como media ± desviación estándar (M ± DE). Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de Tukey.

Figura L2

Perfiles de valores predichos y deseabilidad para las respuestas evaluadas en función de tiempo de cristalización y la temperatura de cristalización de la formulación 2

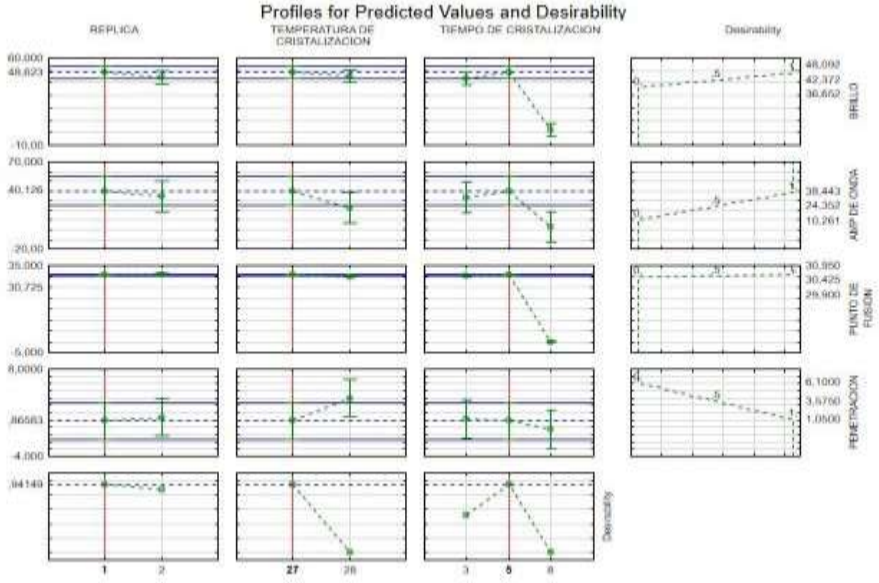


Tabla L5

Análisis de varianza (ANOVA) para el brillo de Reconfiguración de la Fase III F2

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	21720,29	1	21720,29	1837,166	0,000000
Réplica	119,38	1	119,38	10,098	0,024602
Temp. de recalentamiento	56,26	1	56,26	4,758	0,080972
Tiemp. de recalentamiento	1,38	2	0,69	0,058	0,943934
Interacción	24,98	2	12,49	1,056	0,414351
Error	**59,11**	**5**	**11,82**		

Tabla L6

Análisis de varianza (ANOVA) para el snap de Reconfiguración de la Fase III F2

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	13229,19	1	13229,19	546,8037	0,000003
Réplica	6,02	1	6,02	0,2489	0,639051
Temp. de recalentamiento	238,09	1	238,09	9,8410	0,025752
Tiemp. de recalentamiento	99,92	2	49,96	2,0650	0,221943
Interacción	94,84	2	47,42	1,9600	0,235244
Error	**120,97**	**5**	**24,19**		

Tabla L7

Análisis de varianza (ANOVA) para el punto de fusión de Reconfiguración de la Fase III F2

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	11383,68	1	11383,68	123735,7	0,000000
Réplica	0,01	1	0,01	0,1	0,786696
Temp. de recalentamiento	0,14	1	0,14	1,5	0,270928
Tiemp. de recalentamiento	0,07	2	0,03	0,4	0,718615
Interacción	0,23	2	0,12	1,3	0,360705
Error	**0,46**	**5**	**0,09**		

Tabla L8

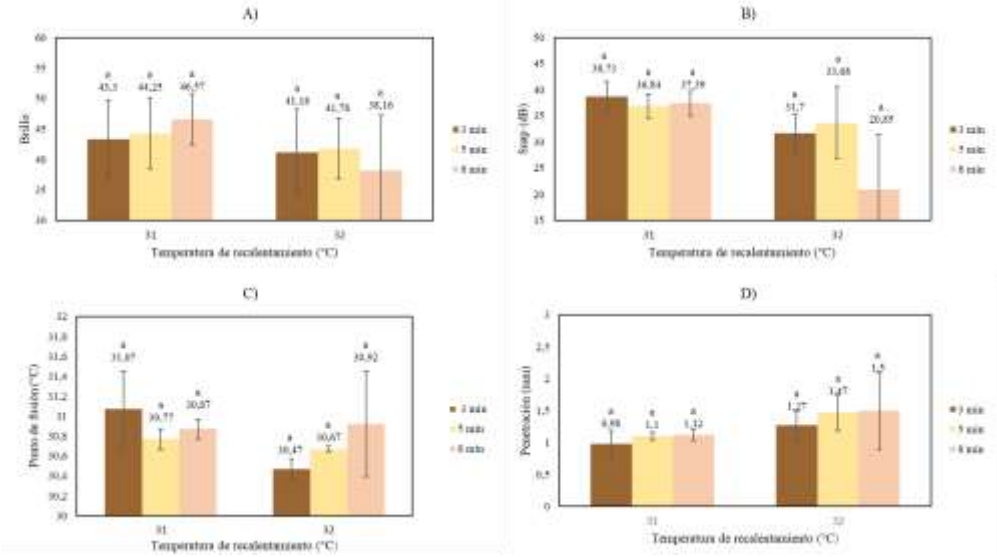
Análisis de varianza (ANOVA) para la penetración de Reconfiguración de la Fase III F2

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	18,57541	1	18,57541	491,1098	0,000003
Réplica	0,00963	1	0,00963	0,2547	0,635240
Temp. de recalentamiento	0,35363	1	0,35363	9,3496	0,028175
Tiemp. de recalentamiento	0,08130	2	0,04065	1,0748	0,409001
Interacción	0,00580	2	0,00290	0,0767	0,927212

Error	**0,18912**	**5**	**0,03782**

Figura L3

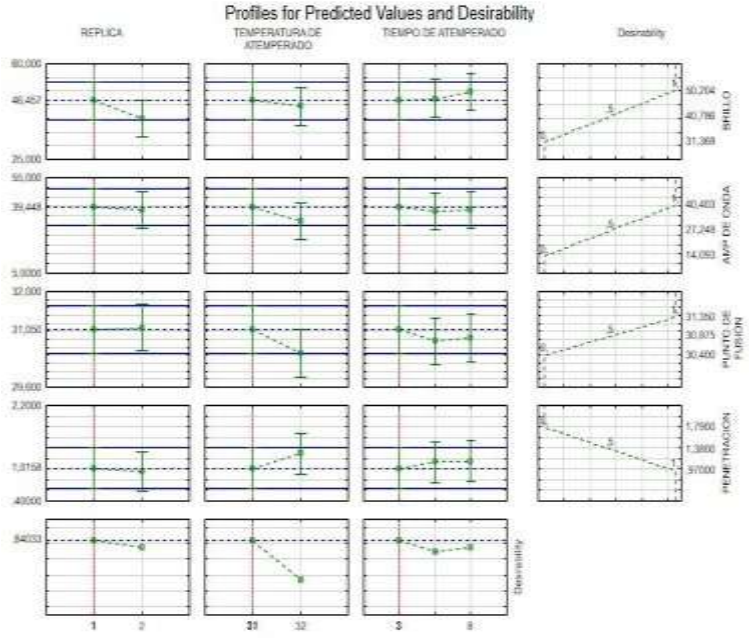
Efecto del diseño experimental de reconfiguración de la Formulación 2 sobre las propiedades físicas del chocolate



Nota. (A) Brillo, (B) Propiedad acústica (*snap*), (C) Punto de fusión, (D) Penetración. Los datos se expresan como media ± desviación estándar (M ± DE). Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de Tukey.

Figura L4

Perfiles de valores predichos y deseabilidad para las repuestas evaluadas en función del tiempo de recalentamiento y temperatura de recalentamiento de la formulación 2



Apéndice M

Análisis estadísticos de la Fase III F3

Tabla M1

Análisis de varianza (ANOVA) para el Brillo de la Fase III F3

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	19902,63	1	19902,63	830,3054	0,000001
Réplica	5,46	1	5,46	0,2280	0,653166
Temp de Cristalización.	4,43	1	4,43	0,1849	0,685090
Tiempo de Cristalización.	25,96	2	12,98	0,5415	0,612539
Interacción	22,34	2	11,17	0,4660	0,652242
Error	**119,85**	**5**	**23,97**		

Tabla M2

Análisis de varianza (ANOVA) para el Snap de la Fase III F3

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	2916,405	1	2916,405	67,64617	0,000433
Réplica	0,447	1	0,447	0,01036	0,922881
Temp de Cristalización.	1291,390	1	1291,390	29,95385	0,002774
Tiempo de Cristalización.	212,452	2	106,226	2,46391	0,180007
Interacción	48,299	2	24,150	0,56015	0,603244
Error	**215,563**	**5**	**43,113**		

Tabla M3

Análisis de varianza (ANOVA) para el Punto de fusión de la Fase III F3

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	11163,00	1	11163,00	157225,4	0,000000
Réplica	0,01	1	0,01	0,1	0,758330
Temp de Cristalización.	0,00	1	0,00	0,0	0,917941
Tiempo de Cristalización.	0,51	2	0,26	3,6	0,107513
Interacción	0,03	2	0,01	0,2	0,841244
Error	**0,36**	**5**	**0,07**		

Tabla M4

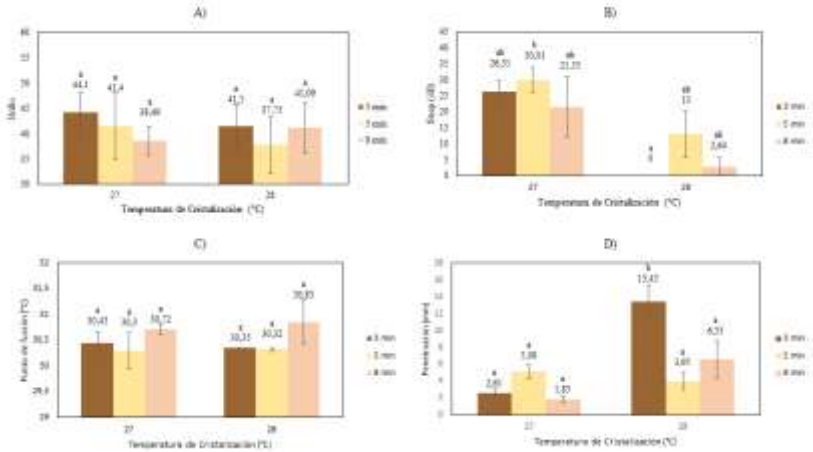
Análisis de varianza (ANOVA) para la penetración de la Fase III F3

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	374,0275	1	374,0275	196,7625	0,000033
Réplica	0,0653	1	0,0653	0,0343	0,860277

Temp de Cristalización.	69,1920	1	69,1920	36,3994	0,001801
Tiempo de Cristalización.	36,1613	2	18,0807	9,5116	0,019763
Interacción	71,6877	2	35,8439	18,8562	0,004689
Error	**9,5045**	**5**	**1,9009**		

Figura M1

Efecto de la temperatura y tiempo de cristalización sobre las propiedades físicas del chocolate en formulación 3



Nota. (A) Brillo, (B) Propiedad acústica (*snap*), (C) Punto de fusión, (D) Penetración. Los datos se expresan como media ± desviación estándar (M ± DE). Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de Tukey.

Figura M2

Perfiles de valores predichos y deseabilidad para las respuestas evaluadas en función de tiempo de cristalización y la temperatura de cristalización de la formulación 3

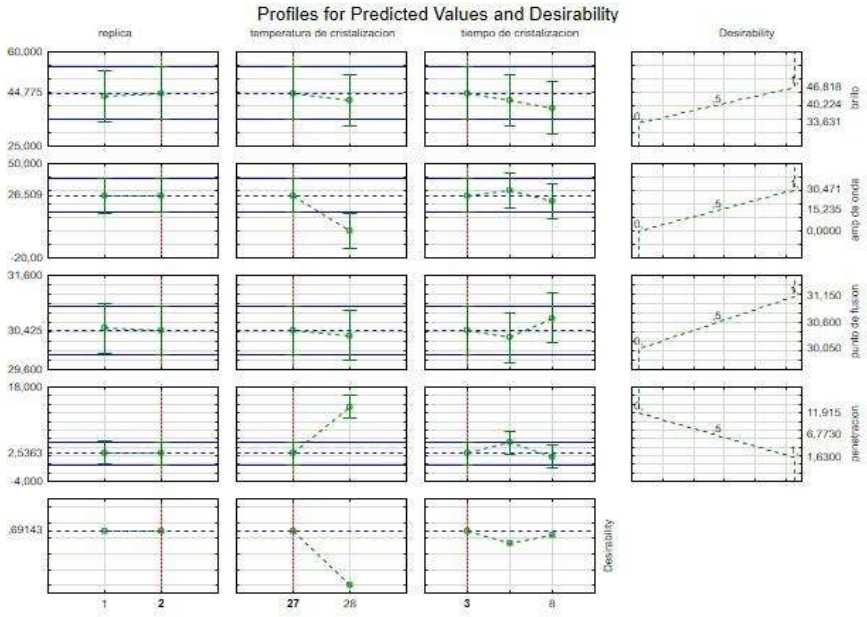


Tabla M5

Análisis de varianza (ANOVA) para el brillo de Reconfiguración de la Fase III F3

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	19997,80	1	19997,80	992,5073	0,000001
Réplica	0,63	1	0,63	0,0313	0,866563
Temp. de recalentamiento	1,21	1	1,21	0,0603	0,815799
Tiemp. de recalentamiento	77,96	2	38,98	1,9347	0,238614
Interacción	137,58	2	68,79	3,4140	0,116183
Error	**100,74**	**5**	**20,15**		

Tabla M6

Análisis de varianza (ANOVA) para el snap de Reconfiguración de la Fase III F3

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	3374,090	1	3374,090	235,1114	0,000021
Réplica	15,216	1	15,216	1,0602	0,350370
Temp. de recalentamiento	2827,321	1	2827,321	197,0118	0,000033
Tiemp. de recalentamiento	116,325	2	58,163	4,0528	0,089903
Interacción	26,693	2	13,346	0,9300	0,453541
Error	**71,755**	**5**	**14,351**		

Tabla M7

Análisis de varianza (ANOVA) para el punto de fusión de Reconfiguración de la Fase III F3

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	11004,96	1	11004,96	314427,5	0,000000
Réplica	0,00	1	0,00	0,0	1,000000
Temp. de recalentamiento	0,16	1	0,16	4,7	0,083161
Tiemp. de recalentamiento	0,13	2	0,06	1,8	0,258991
Interacción	0,18	2	0,09	2,5	0,173147
Error	**0,17**	**5**	**0,03**		

Tabla M8

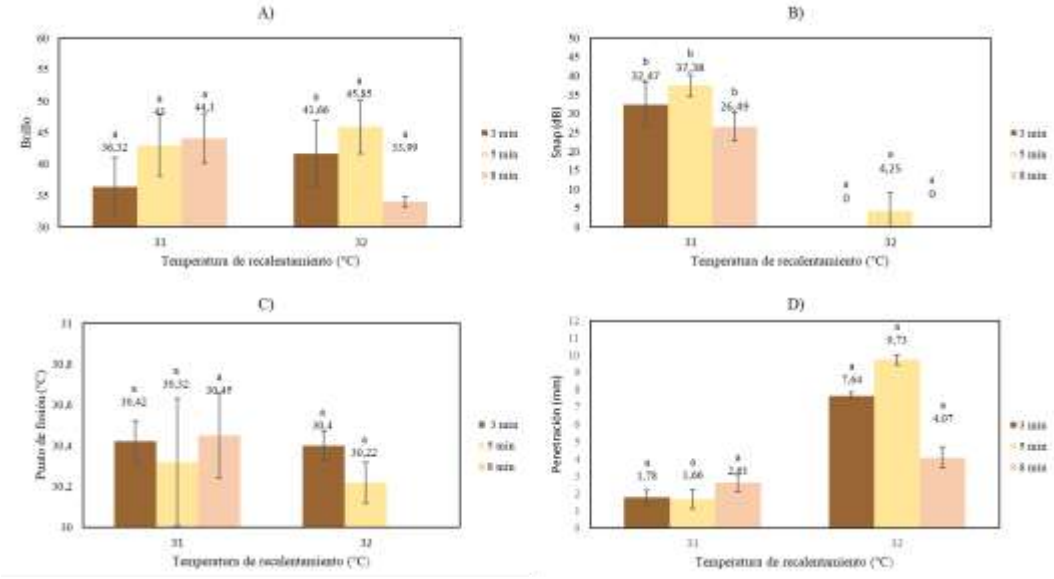
Análisis de varianza (ANOVA) para la penetración de Reconfiguración de la Fase III F3

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	252,1292	1	252,1292	19,27107	0,007089
Réplica	12,7205	1	12,7205	0,97227	0,369395
Temp. de recalentamiento	78,9764	1	78,9764	6,03642	0,057446
Tiemp. de recalentamiento	11,1896	2	5,5948	0,42763	0,673845
Interacción	22,5830	2	11,2915	0,86305	0,476450

Error	**65,4165**	**5**	**13,0833**

Figura M3

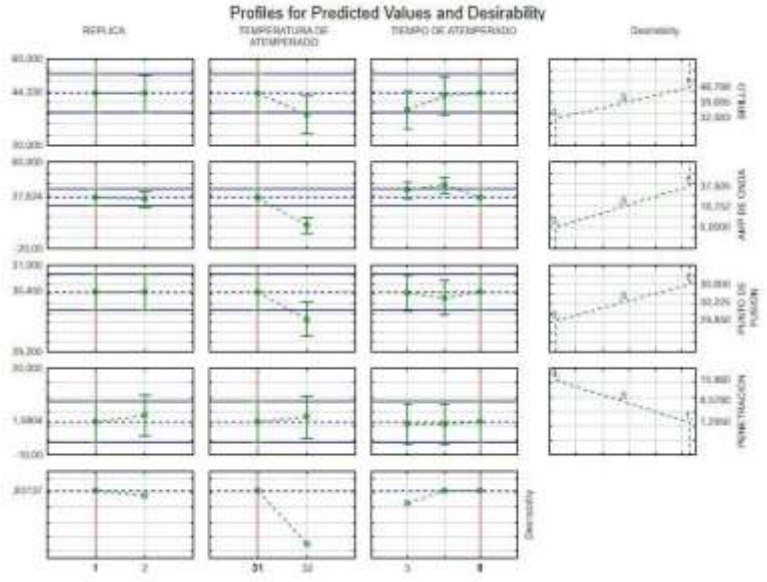
Efecto del diseño experimental de reconfiguración de la Formulación 3 sobre las propiedades físicas del chocolate



Nota. (A) Brillo, (B) Propiedad acústica (*snap*), (C) Punto de fusión, (D) Penetración. Los datos se expresan como media ± desviación estándar (M ± DE). Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de Tukey.

Figura M4

Perfiles de valores predichos y deseabilidad para las repuestas evaluadas en función del tiempo de recalentamiento y temperatura de recalentamiento de la formulación 3



Apéndice N

Análisis estadísticos de la Fase III F4

Tabla N1

Análisis de varianza (ANOVA) para el Brillo de la Fase III F4

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	22041,87	1	22041,87	2876,769	0,000000
Réplica	6,38	1	6,38	0,833	0,403345
Temp de Cristalización.	0,24	1	0,24	0,032	0,865539
Tiempo de Cristalización.	9,01	2	4,50	0,588	0,589844
Interacción	25,28	2	12,64	1,650	0,281742
Error	**38,31**	**5**	**7,66**		

Tabla N2

Análisis de varianza (ANOVA) para el Snap de la Fase III F4

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	5370,058	1	5370,058	814,1661	0,000001
Réplica	5,165	1	5,165	0,7831	0,416701
Temp de Cristalización.	655,945	1	655,945	99,4492	0,000173
Tiempo de Cristalización.	181,994	2	90,997	13,7962	0,009218
Interacción	103,470	2	51,735	7,8437	0,028719
Error	**32,979**	**5**	**6,596**		

Tabla N3

Análisis de varianza (ANOVA) para el Punto de fusión de la Fase III F4

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	10196,67	1	10196,67	103519,5	0,000000
Réplica	0,01	1	0,01	0,1	0,793637
Temp de Cristalización.	1,14	1	1,14	11,6	0,019183
Tiempo de Cristalización.	14,93	2	7,47	75,8	0,000182
Interacción	19,05	2	9,52	96,7	0,000101
Error	**0,49**	**5**	**0,10**		

Tabla N4

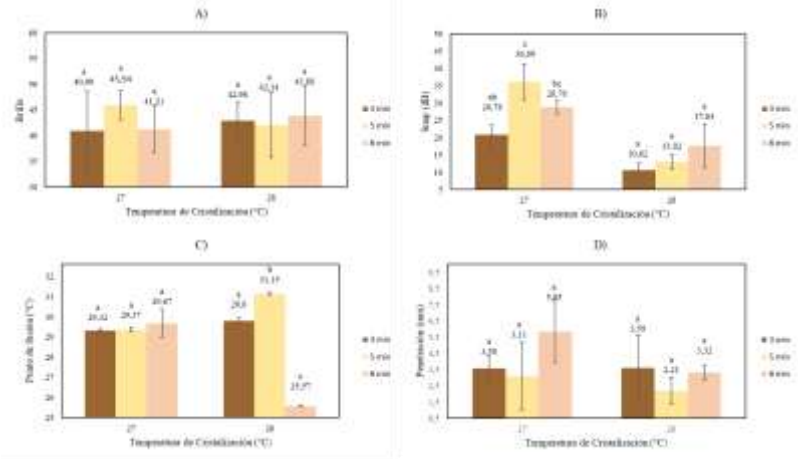
Análisis de varianza (ANOVA) para la penetración de la Fase III F4

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	156,7464	1	156,7464	50,43762	0,000858
Réplica	1,8096	1	1,8096	0,58230	0,479847

Temp de Cristalización.	3,8988	1	3,8988	1,25455	0,313583
Tiempo de Cristalización.	7,4348	2	3,7174	1,19618	0,376243
Interacción	3,2950	2	1,6475	0,53013	0,618298
Error	**15,5386**	**5**	**3,1077**		

Figura N1

Efecto de la temperatura y tiempo de cristalización sobre las propiedades físicas del chocolate en formulación 4



Nota. (A) Brillo, (B) Propiedad acústica (*snap*), (C) Punto de fusión, (D) Penetración. Los datos se expresan como media ± desviación estándar (M ± DE). Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de Tukey.

Figura N2

Perfiles de valores predichos y deseabilidad para las respuestas evaluadas en función de tiempo de cristalización y la temperatura de cristalización de la formulación 4

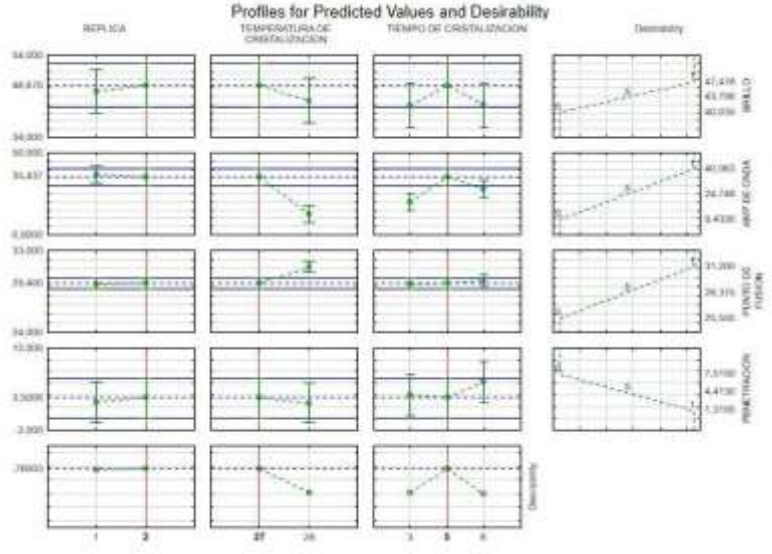


Tabla N5

Análisis de varianza (ANOVA) para el brillo de Reconfiguración de la Fase III F4

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	24492,35	1	24492,35	1635,896	0,000000
Réplica	79,00	1	79,00	5,277	0,070025
Temp. de recalentamiento	13,08	1	13,08	0,874	0,392869
Tiemp. de recalentamiento	6,32	2	3,16	0,211	0,816649
Interacción	17,13	2	8,56	0,572	0,597445
Error	**74,86**	**5**	**14,97**		

Tabla N6

Análisis de varianza (ANOVA) para el snap de Reconfiguración de la Fase III F4

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	2642,002	1	2642,002	110,6270	0,000134
Réplica	0,808	1	0,808	0,0338	0,861303
Temp. de recalentamiento	658,961	1	658,961	27,5923	0,003318
Tiemp. de recalentamiento	222,055	2	111,027	4,6490	0,072317
Interacción	383,211	2	191,605	8,0230	0,027511
Error	**119,410**	**5**	**23,882**		

Tabla N7

Análisis de varianza (ANOVA) para el punto de fusión de Reconfiguración de la Fase III F4

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	11631,41	1	11631,41	187603,4	0,000000
Réplica	0,19	1	0,19	3,0	0,142525
Temp. de recalentamiento	0,01	1	0,01	0,1	0,742151
Tiemp. de recalentamiento	0,39	2	0,19	3,1	0,131491
Interacción	0,38	2	0,19	3,1	0,133474
Error	**0,31**	**5**	**0,06**		

Tabla N8

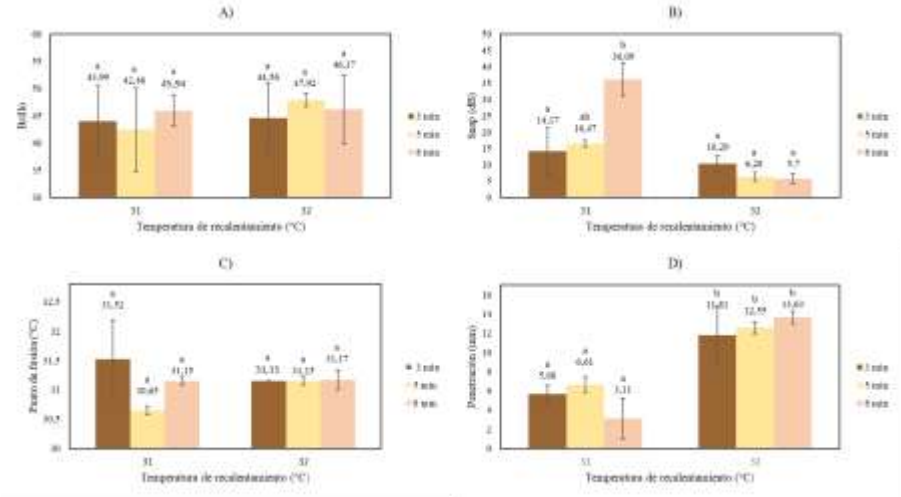
Análisis de varianza (ANOVA) para la penetración de Reconfiguración de la Fase III F4

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	951,1431	1	951,1431	738,3999	0,000001
Réplica	0,8348	1	0,8348	0,6481	0,457365
Temp. de recalentamiento	170,2910	1	170,2910	132,2018	0,000087
Tiemp. de recalentamiento	3,0541	2	1,5271	1,1855	0,378972
Interacción	13,4352	2	6,7176	5,2151	0,059772

Error	**6,4406**	**5**	**1,2881**

Figura N3

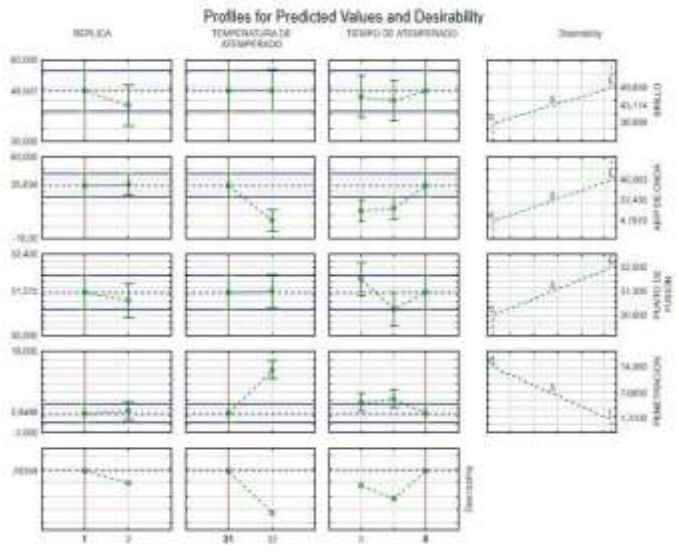
Efecto del diseño experimental de reconfiguración de la Formulación 4 sobre las propiedades físicas del chocolate



Nota. (A) Brillo, (B) Propiedad acústica (*snap*), (C) Punto de fusión, (D) Penetración. Los datos se expresan como media ± desviación estándar (M ± DE). Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), según la prueba de Tukey.

Figura N4

Perfiles de valores predichos y deseabilidad para las repuestas evaluadas en función del tiempo de recalentamiento y temperatura de recalentamiento de la formulación 4



Apéndice O

Panel sensorial II

Tabla O1

Resultados de la evaluación sensorial del panel II, muestra F1

		Descriptores *					
Juez	Muestra	A	B	C	D	E	F
1	109	8	8	5	3	3	9
2	109	10	1	5	2	4	4
3	109	8	10	9	8	3	8
4	109	9	2	10	6	3	7
5	109	5	4	6	5	6	6
6	109	6	8	6	3	3	7
7	109	7	10	5	5	3	8
8	109	8	10	2	8	7	6
9	109	6	8	4	6	6	7
10	109	9	10	10	6	1	9
11	109	7	10	5	5	4	6
12	109	6	9	2	5	6	6
13	109	9	10	2	2	1	8
14	109	8	7	2	3	3	7
15	109	10	7	5	4	6	8
M		7,73	7,6	5,2	4,73	3,93	7,06
DE		1.53	2,99	2,7	1,9	1,86	1,33

Nota. A: Brillo y Apariencia; B: *Snap*; C: Fluidez y Textura; D: Amargor; E: Astringencia; F: Calificación Global; M: Media; DE: Desviación estándar

Tabla O2

Resultados de la evaluación sensorial del panel II, muestra F2

		Descriptores *					
Juez	Muestra	A	B	C	D	E	F
1	362	5	5	7	3	3	9
2	362	4	9	8	5	6	8
3	362	8	9	9	4	2	9

4	362	9	5	8	3	1	9
5	362	5	10	2	3	4	8
6	362	8	8	8	3	3	8
7	362	6	6	8	1	1	8
8	362	7	8	8	9	9	5
9	362	9	8	8	4	6	7
10	362	5	8	10	5	1	8
11	362	4	3	2	4	4	4
12	362	3	8	3	4	7	7
13	362	9	9	2	3	2	7
14	362	7	9	2	3	2	8
15	362	9	10	5	6	5	8
	M	6,53	7,66	6	4	3,73	7,53
	DE	2,09	2,02	2,97	1,81	2,43	1,40

Nota. A: Brillo y Apariencia; B: *Snap*; C: Fluidez y Textura; D: Amargor; E: Astringencia; F: Calificación Global; M: Media; DE: Desviación estándar

Tabla O3

Resultados de la evaluación sensorial del panel II, muestra F3

		Descriptores *					
Juez	Muestra	A	B	C	D	E	F
1	658	10	10	8	3	6	7
2	658	8	6	8	2	3	9
3	658	4	5	8	6	4	8
4	658	6	6	4	8	6	7
5	658	8	5	2	3	3	7
6	658	7	8	6	5	3	7
7	658	9	5	8	7	4	6
8	658	9	6	8	10	9	4
9	658	9	7	8	3	4	8
10	658	9	8	10	6	1	9
11	658	9	10	10	3	1	10
12	658	4	4	6	3	3	7
13	658	10	5	6	3	2	8
14	658	10	7	2	9	2	7

15	658	9	9	4	5	6	8
	M	8,06	6,73	6,53	5,06	3,8	7,46
	DE	1,98	1,90	2,55	2,52	2,17	1,40

Nota. A: Brillo y Apariencia; B: *Snap*; C: Fluidez y Textura; D: Amargor; E: Astringencia; F: Calificación Global; M: Media; DE: Desviación estándar

Tabla O4

Resultados de la evaluación sensorial del panel II, muestra F4

		Descriptores *					
Juez	Muestra	A	B	C	D	E	F
1	847	6	4	7	6	4	5
2	847	4	10	6	8	2	6
3	847	6	8	4	9	3	7
4	847	7	7	6	6	8	7
5	847	10	6	2	8	7	8
6	847	9	9	3	6	6	5
7	847	10	3	4	6	8	5
8	847	8	7	7	9	8	6
9	847	8	8	10	9	4	9
10	847	6	9	10	9	1	8
11	847	7	8	7	9	8	7
12	847	5	6	3	6	5	8
13	847	10	3	2	8	3	6
14	847	6	7	1	10	6	4
15	847	10	7	7	6	3	5
	M	7,46	6,8	5,26	7,66	5,06	6,4
	DE	1,99	2,11	2,81	1,49	2,40	1,45

Nota. A: Brillo y Apariencia; B: *Snap*; C: Fluidez y Textura; D: Amargor; E: Astringencia; F: Calificación Global; M: Media; DE: Desviación estándar

Apéndice P

Análisis estadísticos de la evaluación sensorial de Panel II

Tabla P1

Análisis de varianza (ANOVA) para el Brillo y Apariencia de Panel II

Fuente	SS	Df	MS	F	P
Intercepto	3330,150	1	3330,150	908,2227	0,000000
Muestra.	19,517	3	6,506	1,7742	0,162559
Error	**205,333**	**56**	**3,667**		

Tabla P2

Análisis de varianza (ANOVA) para el Snap de Panel II

Fuente	SS	Df	MS	F	P
Intercepto	3110,400	1	3110,400	587,9244	0,000000
Muestra.	11,333	3	3,778	0,7141	0,547710
Error	**296,267**	**56**	**5,290**		

Tabla P3

Análisis de varianza (ANOVA) para la Fluidez y Textura de Panel II

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	1983,750	1	1983,750	257,7096	0,000000
Muestra.	18,183	3	6,061	0,7874	0,506006
Error	**431,067**	**56**	**7,698**		

Tabla P4

Análisis de varianza (ANOVA) para el Amargor de Panel II

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	1728,067	1	1728,067	445,5421	0,000000
Muestra.	114,733	3	38,244	9,8604	0,000026
Error	**217,200**	**56**	**3,879**		

Tabla P5

Análisis de varianza (ANOVA) para la Astringencia de Panel II

Fuente	SS	df	MS	F	P

Intercepto	1025,067	1	1025,067	205,6008	0,000000
Muestra.	17,733	3	5,911	1,1856	0,323516
Error	**279,200**	**56**	**4,986**		

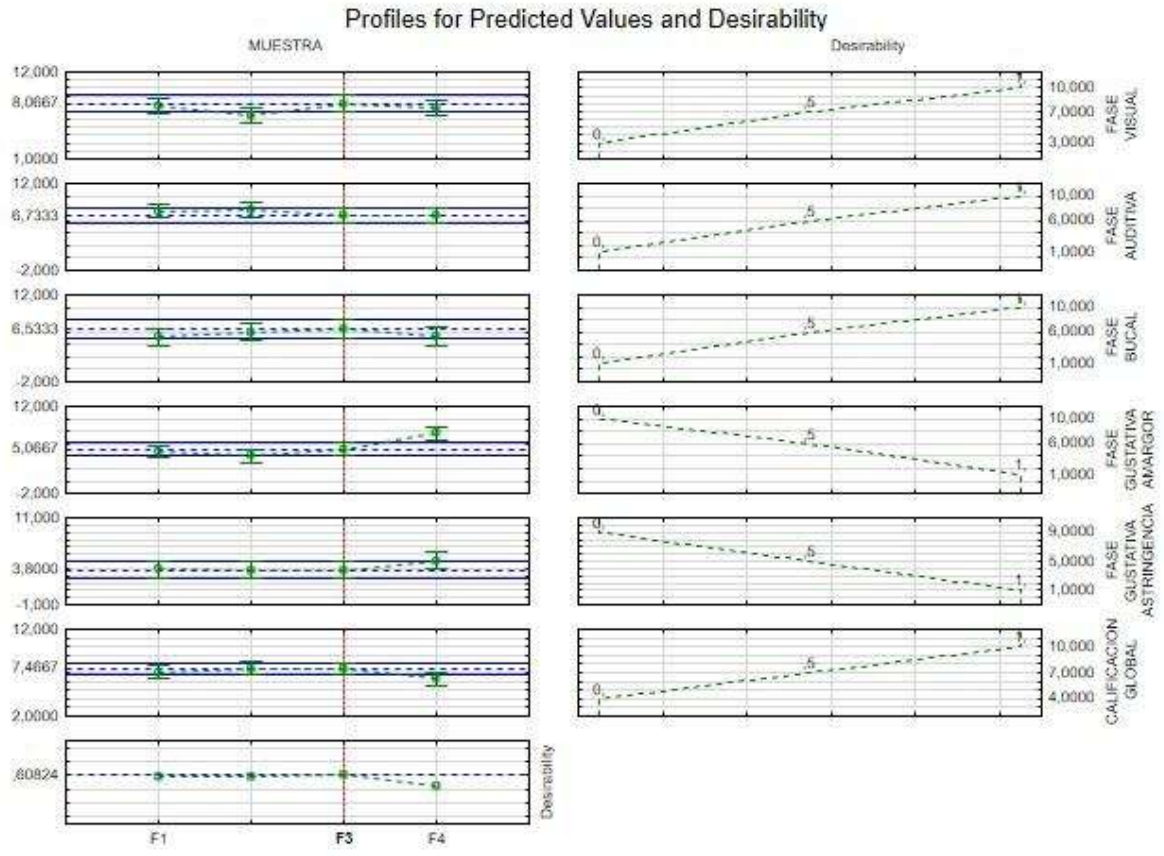
Tabla P6

Análisis de varianza (ANOVA) de la calificación Global de Panel II

Fuente	SS	df	MS	F	P
Intercepto	3038,817	1	3038,817	1547,034	0,000000
Muestra.	12,183	3	4,061	2,067	0,114864
Error	**110,000**	**56**	**1,964**		

Figura P1

Perfiles de valores predichos y deseabilidad para las respuestas evaluadas en la evaluación sensorial de Panel II

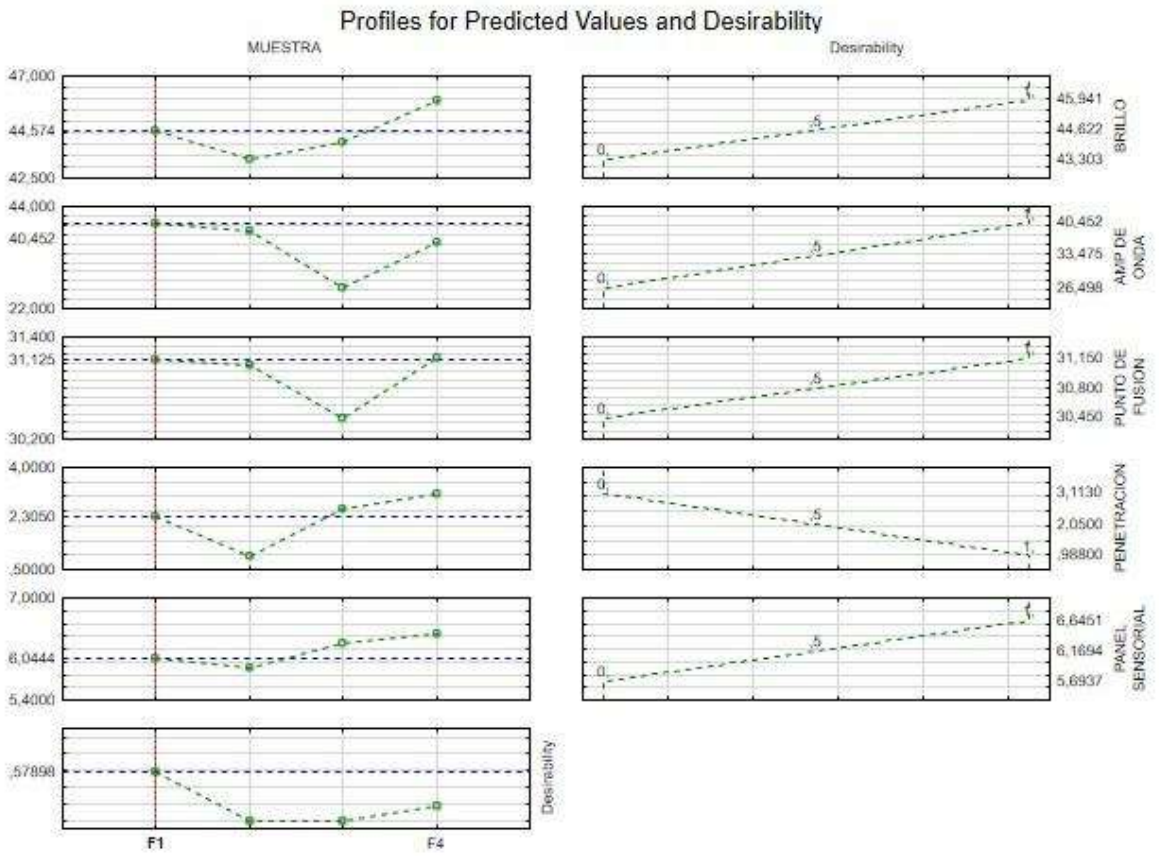


Apéndice Q

Análisis estadísticos de las propiedades físicas y sensoriales de Panel II

Figura Q1

Perfiles de valores predichos y deseabilidad para las respuestas evaluadas en función de las propiedades físicas y sensoriales de Panel II



Apéndice R

Registro fotográfico de proceso experimental

Figura R1

Templadora Minitemper



Figura R2

Proceso de refinado-conchado y medición de tamaño de partícula de las formulaciones de chocolate



a) b)

Nota. Instrumental utilizado: a) Molino refinador de piedras (Oscoat Melanger-ECGC-12SLTA). b) Micrómetro digital (Digimatic, Mitutoyo)

Figura R3

Materias primas utilizadas en las formulaciones del diseño experimental de la Fase III



Figura R4

Cabina de adquisición de imágenes y procesamiento del brillo en chocolate mediante ImageJ

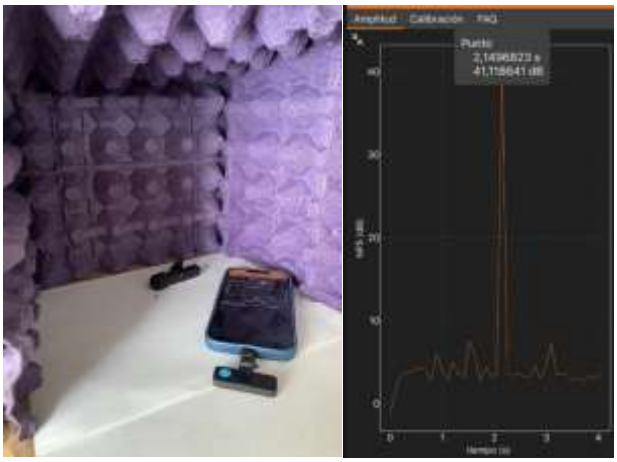


a. b)

Nota. Sistema de análisis: a) Cabina fotográfica con iluminación LED. B) Procesamiento de ImageJ.

Figura R5

Montaje experimental y registro de amplitud sonora para la evaluación del snap en chocolate



a. b)

Nota. Componentes del sistema: a) Cabina de aislamiento acústico. b) Registro de la amplitud del sonido de fractura mediante el software Phyphox.

Figura R6

Equipos utilizados para las pruebas físicas de punto de fusión y penetración en chocolate



a) b) c)

Nota. Componentes e instrumental: a) Fusiómetro MP420. b) Tubo capilar cargado con la muestra de chocolate. c)Penetrómetro PNR 12.

Figura R7

Imágenes de bombones con buen brillo



Figura R8

Tabletas de chocolate con Fat-bloom



Figura R9

Aplicación del panel de evaluación sensorial descriptivo para las formulaciones de chocolate



Figura R10

Desafectos superficiales observados en la muestra de bombones



Figura R11

Análisis bromatológico del chocolate

ONAC ACREDITADO ISO/IEC 17025:2017 11-LAB-005	LABORATORIO DE ALIMENTOS CICTA	INFORME DE ENSAYO	FOITIE.01
		INF 2629-23	Versión: 12

INFORME DE ENSAYO

FECHA DE EMISIÓN:	2023-11-16	**CÓDIGO DE MUESTRA:**	**M 2629-23**
FECHA DE RECEPCIÓN:	2023-11-16	**FECHA DE ANÁLISIS:**	2023-10-30 a 2023-11-09
PLAN DE MUESTREO:	No aplica	**LUGAR DE ANÁLISIS:**	Laboratorio de Alimentos CICTA

INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL CLIENTE

NOMBRE/EMPRESA:	Astrid Natalia González	**TELÉFONO:**	3213325192
DIRECCIÓN:	Carrera 26# 35a-96, T7, Apto 501 (Floridablanca)		
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:	Cobertura de chocolate Boyacá - Proyecto Amazonas		

TABLA 1. RESULTADOS ANÁLISIS DE M 2629-23

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO DE ANÁLISIS /Normatividad
Humedad*	g/100 g muestra (%)	3,02	Gravimétrico GOMESL.01 V06 2018-07-30
Ceniza*	g/100 g muestra (%)	3,04	Gravimétrico GOMECH.01 V09 2019-04-01
Grasa*	g/100 g muestra (%)	58,22	Gravimétrico – Soxhlet GOMEGC.01 V06 2019-04-01
Proteína	g/100 g muestra (%)	10,16	Volumétrico Kjeldahl GOMEPL.01 V08 2019-04-01
Fibra cruda	g/100 g muestra (%)	3,21	Hidrólisis ácida y básica GOMEFC.01 V01 2019-07-23
Carbohidratos totales	g/100 g muestra (%)	25,56	Cálculo según Numeral 11.3 Resolución 810 de 2021 % CT = 100-(%H+%C+%P+%G)
Calorías	kcal/100 g muestra	666,86	Cálculo según Códex CAC/GL 2-1985 Sección 3.3.1
Cadmio	mg/kg muestra	<0,08	Espectroscopia de absorción atómica asistida por digestión por microondas NTC-EN 14084:2021

*Parámetro incluido en el alcance de acreditación ONAC Código 11-LAB-005
Límite de cuantificación cadmio = 0,08 mg/kg.

REVISÓ
MSc. Arley R. Villamizar J.
Químico PQ-2839
Coordinador técnico y calidad

AUTORIZÓ
Dr. Luis Javier López
PhD. Qca. Bioquímica y Ciencia de Alimentos
Director

NOTA: a) Este informe de resultados corresponde únicamente a la muestra recibida y analizada en el laboratorio. **b)** Sin la aprobación del laboratorio, no se puede reproducir este informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad. **c)** El laboratorio no se hace responsable por la información suministrada por el cliente.

FIN DEL INFORME