



**INFLUENCIA DE PROCESOS TÉRMICOS COMBINADOS SOBRE PROPIEDADES
FISICOQUÍMICAS, REOLÓGICAS Y NUTRICIONALES DE MASAS DE BATATA
(*Ipomoea batatas* Lam.)**

SONIA GALLEGU CASTILLO

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE ALIMENTOS**

**SANTIAGO DE CALI, COLOMBIA
2017**



**INFLUENCIA DE PROCESOS TÉRMICOS COMBINADOS SOBRE PROPIEDADES
FISICOQUÍMICAS, REOLÓGICAS Y NUTRICIONALES DE MASAS DE BATATA
(*Ipomoea batatas* Lam.)**

SONIA GALLEGO CASTILLO

**Trabajo de grado para optar al título de
Magister en Ingeniería de Alimentos**

**Director:
ALFREDO AYALA APONTE, Ph.D**

**Codirector:
DOMINIQUE DUFOUR, Ph.D**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE ALIMENTOS**

**SANTIAGO DE CALI, COLOMBIA
2017**

Nota de aceptación

Los directores y los jurados han leído el
presente documento, escucharon la
sustentación del mismo por su autor y lo
encuentran satisfactorio.

Firma del director

Firma del codirector

Jurado

Jurado

Santiago de Cali, Colombia
2017

DEDICATORIA

A mis padres Raquel y Gustavo, a mis hermanas Beatriz y Luz y a mis sobrinos Juanes y Ana Sofía por su amor infinito y apoyo incondicional.

A Escobar por su amor, comprensión y por darme la fuerza y convicción para seguir adelante.

A Dios por permitirme lograr ésta y muchas otras metas en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

La autora expresa sus agradecimientos...

Al profesor Alfredo Ayala por sus aportes técnicos y científicos y por las continuas orientaciones en el desarrollo de esta investigación.

A Dominique Dufour, a Elise Talsma y a los compañeros de los Laboratorios de Yuca y de Calidad Nutricional de CIAT y del Proyecto HarvestPlus por su apoyo y colaboración durante la etapa de experimentación.

A todo el personal docente y administrativo de la Escuela de Ingeniería de Alimentos, quienes me brindaron la debida colaboración en momentos oportunos, en especial a la profesora Patricia Millán.

A mis compañeros de Maestría por su amistad y apoyo invaluable.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	11
INTRODUCCIÓN	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
2. JUSTIFICACIÓN.....	14
3. OBJETIVOS.....	15
3.1. OBJETIVO GENERAL	15
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
4. MARCO TEÓRICO	16
4.1. BATATA.....	16
4.2. MASAS DE BATATA	18
4.3. COCCIÓN	18
4.4. PRETRATAMIENTOS TÉRMICOS.....	19
4.5. CARACTERIZACIÓN DE LAS MASAS PROCESADAS	22
5. ANTECEDENTES.....	27
6. MATERIALES Y MÉTODOS	30
6.1. MATERIA PRIMA.....	30
6.2. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	30
6.3. METODOLOGÍA.....	33
6.4. DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES RESPUESTA	35
6.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	40
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
7.1. CURVAS DE EMPASTAMIENTO	41
7.2. PÉRDIDA DE FASE LÍQUIDA Y CAMBIOS DE VOLUMEN.....	42
7.3. COLOR.....	46
7.4. TEXTURA	54
7.5. CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA.....	60
7.6. CONTENIDO DE BETA-CAROTENO	64

8. CONCLUSIONES	68
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
10. ANEXOS.....	78

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Fuentes alimentarias importantes de beta-caroteno o provitamina A.....	17
Tabla 2. Composición bromatológica y nutricional de la variedad de batata CIP-440287.....	30
Tabla 3. Diseño experimental DCCR para el proceso 1 (Cocción-Congelación).....	32
Tabla 4. Diseño experimental DCCR para los procesos 2 (Congelación-Cocción)..... y 3 (Escaldado-Congelación-Cocción).	32
Tabla 5. Diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 3x4 para los..... tres procesos.	33
Tabla 6. Propiedades del gel en empastamiento en muestras de batata.....	41
Tabla 7. Parámetros oscilatorios para masas de batata tratadas y control.....	61
Tabla 8. Contenidos de all- <i>trans</i> - β -caroteno para masas de batata fresca, tratadas y..... control.	65
Tabla 9. Matriz del diseño del DCCR para los factores tiempo de cocción y tiempo de..... congelación.	79
Tabla 10. Variables codificadas y no codificadas del DCCR y resultados de pérdida de..... fase líquida y variación de volumen para muestras de batata después de la descongelación.	80
Tabla 11. Variables codificadas y no codificadas del DCCR y resultados de los parámetros... de color para muestras de batata fresca, tratadas y control.	90
Tabla 12. Variables codificadas y no codificadas del DCCR y resultados de los parámetros... de textura para muestras de batata fresca, tratadas y control.	117

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Raíces de batata, con diferente color de pulpa.....	16
Figura 2. Raíces de batata, variedad CIP-440287.....	30
Figura 3. Esquema representativo de los métodos a evaluar.....	31
Figura 4. Matriz y representación gráfica del diseño del DCCR para los factores tiempo..... de cocción y tiempo de congelación.	32
Figura 5. Equipo para extraer los cilindros de batata.....	33
Figura 6. Proceso de cocción de muestras de batata.....	34
Figura 7. Muestras empacadas para congelación hasta -40°C.....	35
Figura 8. Diagrama de cromaticidad del espacio de color L*a*b*.....	36
Figura 9. Prueba de cizallamiento-corte de los cilindros de batata.....	38
Figura 10. Ensayos oscilatorios de masas de batata.....	39
Figura 11. Curvas de empastamiento de batata fresca y cocida.....	41
Figura 12. Gráficas de superficie de respuesta en función de los tiempos de cocción..... y congelación de la pérdida de fase líquida (Δm) para los tres procesos evaluados.	43
Figura 13. Gráficas de superficie de respuesta en función de los tiempos de cocción..... y congelación de la variación de volumen (ΔV) para los tres procesos evaluados.	45
Figura 14. Cambios de volumen de muestras de batata sometidas a los procesos..... evaluados.	46
Figura 15. Gráficas de superficie de respuesta en función de los tiempos de cocción..... y congelación del parámetro luminosidad (L^*) para los tres procesos evaluados.	47
Figura 16. Cambios de color de muestras de batata sometidas a los procesos evaluados.....	48
Figura 17. Gráficas de superficie de respuesta en función de los tiempos de cocción..... y congelación de la croma (C^*) para los tres procesos evaluados.	50
Figura 18. Gráficas de superficie de respuesta en función de los tiempos de cocción..... y congelación del ángulo del tono (h) para los tres procesos evaluados.	51
Figura 19. Gráficas de superficie de respuesta en función de los tiempos de cocción..... y congelación del cambio total de color (ΔE) para los tres procesos evaluados.	53
Figura 20. Gráficas de superficie de respuesta en función de los tiempos de cocción..... y congelación del módulo de elasticidad (E_d) para los tres procesos evaluados.	56

Figura 21. Gráficas de superficie de respuesta en función de los tiempos de cocción.....	58
y congelación de la firmeza para los tres procesos evaluados.	
Figura 22. Barridos de amplitud de batata cocida y cocida congelada a 1 Hz y a 25°C.....	60
Figura 23. Comparación de los módulos elástico (G') y viscoso (G'') en masas de batata.....	62
de los tres procesos evaluados y control.	
Figura 24. Cromatograma de HPLC del extracto de batata fresca, variedad CIP-440287.....	64
Figura 25. Retención de beta-caroteno en masas de batata de los tres procesos evaluados.....	66
y control.	

RESUMEN

En respuesta a la creciente demanda de los consumidores por alimentos de alta calidad y de fácil preparación, se hace necesario desarrollar nuevas e innovadoras formas de utilización de raíces y tubérculos como la batata, en productos procesados de alta calidad para el consumo directo o como ingrediente de alto valor nutricional en un producto alimenticio, que puedan ser de interés para la industria de alimentos. El objetivo de este estudio fue evaluar la influencia de procesos térmicos y sus combinaciones sobre propiedades fisicoquímicas, reológicas y nutricionales de masas de batata de un cultivar de pulpa anaranjada (CIP 440287), con el propósito de comprender los fenómenos que ocurren al aplicar procesos térmicos para decidir posibles aplicaciones futuras en el desarrollo de productos alimenticios.

En muestras cilíndricas de batata, se estudió el efecto combinado de los procesos de cocción (95°C entre 1 y 20 min), congelación (-18°C almacenadas entre 1 y 60 días) y la aplicación de un escaldado como pretratamiento a la congelación (95°C durante 2 min), en términos de pérdida de fase líquida, variación de volumen, color y textura (parámetros mecánicos). La cuantificación del beta-caroteno se realizó mediante cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC), y los parámetros reológicos dinámicos se obtuvieron mediante experimentos de cizalla oscilatorios a 25°C sobre masas de batata, procesadas bajo las mismas condiciones de escaldado y congelación, con una cocción de 15 minutos a temperatura de ebullición (95°C).

Se encontró que con un escaldado previo a la congelación y posterior cocción, se obtuvo un producto con menores pérdidas de fase líquida y cambios de volumen, además de presentar menores cambios de color y ángulo del tono y más claridad y saturación. La realización del escaldado, también mejoró la firmeza y la elasticidad de la batata, en comparación con las obtenidas tras el procesamiento directo sin una etapa previa de escaldado. Los parámetros de textura evidenciaron que los procesos térmicos con tiempos altos de cocción (>15 min) y de congelación (>40 días) dan lugar a productos más blandos que el control solo cocido.

El comportamiento reológico de las masas de batata durante el intervalo de frecuencia estudiado mostró una respuesta predominante elástica, con valores del módulo de almacenamiento (G') superiores a los del módulo de pérdida (G''). Por otra parte, el contenido de beta-caroteno se redujo en todos los procesos evaluados a mayores tiempos de almacenamiento en congelación, presentándose una mayor retención de la provitamina A en el proceso con un escaldado previo a la congelación-cocción.

De acuerdo a los resultados de este estudio, se observó que el proceso combinado escaldado-congelación-cocción presentó las menores pérdidas de calidad en las masas de batata, en relación a sus características fisicoquímicas, texturales, comportamiento reológico y calidad nutricional; seguido por los procesos cocción-congelación y congelación-cocción.

INTRODUCCIÓN

La batata es uno de los cultivos alimentarios más importantes del mundo, ocupando el tercer lugar después de la papa y la yuca en la producción de raíces y tubérculos, con más de 110 millones de toneladas producidas por año. También es llamada camote o boniato en español y *sweet potato* en inglés. La batata es un alimento que puede ayudar a combatir la inseguridad alimentaria, malnutrición y desnutrición, tanto en países subdesarrollados como en vía de desarrollo, por su alto contenido energético, rico en carbohidratos especialmente en almidón y por su gran aporte de carotenos, principalmente beta-caroteno que es precursor de la vitamina A (uno de los más importantes para la dieta humana) (CIP, 2010).

En la actualidad existen diversos productos alimenticios, en los cuales se puede incluir la batata como ingrediente principal o como sustituto. Su uso en la industria alimentaria es en forma de masas o purés, harinas y almidones, que son usados como ingredientes funcionales en distintos productos procesados. Se ha demostrado que con las masas de batata se pueden elaborar productos alimenticios como bebidas, sopas, alimentos infantiles, helados, productos horneados, productos reestructurados, cereales para el desayuno, entre otros (Bovell-Benjamin, 2007; Truong y Avula, 2010).

Las tecnologías desarrolladas para el procesamiento de masas o purés se basan principalmente en la cocción de las raíces de batata, molienda o macerado para obtener la masa que puede ser utilizada inmediatamente, o conservada posteriormente por refrigeración o congelación, y finalmente envasada en condiciones asépticas para su comercialización (Truong y Avula, 2010).

El manejo poscosecha de las raíces y el tipo de tratamiento térmico tienen un efecto significativo sobre las masas elaboradas a partir de batata. Los cambios en la composición de los carbohidratos y las actividades enzimáticas (α -amilasa y β -amilasa) en las raíces de diferentes variedades, pueden afectar la apariencia, textura, sabor y composición de los nutrientes en las masas (Takahata *et al.*, 1995).

De acuerdo a lo anterior, uno de los retos más importantes en el procesamiento de masas de batata es lograr una adecuada elaboración y conservación durante el almacenamiento refrigerado o congelado, con características de producto fresco.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los productos de origen vegetal como la batata se caracterizan por ser altamente perecederos a temperatura ambiente. A pesar que la batata es un producto de gran potencial en las dietas humanas, presenta problemas de deterioro tanto en fresco como en producto procesado; por otro lado, existe escasa información sobre los procesos adecuados de conservación de acuerdo a las nuevas y diversas exigencias demandadas por los consumidores. Estas nuevas exigencias están orientadas a la elaboración de masas de batata estables de alta calidad para diversas funcionalidades, factor limitante para la aplicación generalizada de este producto en la industria de alimentos.

Uno de los procesos ampliamente usados en raíces y tubérculos es el de cocción en agua, sin embargo, las condiciones de este proceso y su optimización son particulares en cada producto alimenticio; además, si no se tiene un control o conocimiento del mismo puede ocasionar pérdidas de calidad y alto consumo energético. Otro de los métodos usados en la conservación de raíces y alimentos en general es la congelación, pero se ha demostrado que este proceso también ocasiona daños irreversibles a los productos una vez descongelados.

Con respecto a la batata variedad CIP-440287, de alto contenido de beta-caroteno (250-300 ppm), no se han evaluado los efectos de métodos combinados de conservación cocción-congelación y congelación-cocción (con y sin escaldado) sobre sus características de calidad. Por consiguiente, es importante el análisis de dichas técnicas o procesos combinados que permitan prolongar la vida útil de la batata, ya sea en forma de trozos o como masa, con mínimas pérdidas de calidad.

2. JUSTIFICACIÓN

El creciente interés de los consumidores por su salud y bienestar, derivado de la preocupación por incluir en su alimentación diaria alternativas que contribuyan a elevar su nivel de satisfacción en ambos aspectos, ha obligado a la industria de alimentos a enfocarse en la búsqueda de soluciones que le permitan satisfacer estas necesidades y superar expectativas del consumidor actual, lo cual brinda oportunidades para el mercado de productos de alto valor nutricional, ya que estos poseen características aceptables que promueven beneficios específicos para la salud, al mismo tiempo que ayudan a prevenir y contrarrestar el riesgo de algunas enfermedades, como parte de una dieta saludable.

En la actualidad, y especialmente en los países desarrollados, el consumo de vegetales, frutas, raíces y tubérculos está pasando del producto fresco a productos procesados con alto valor agregado. En respuesta a la creciente demanda de los consumidores hacia alimentos de alta calidad, fáciles de preparar, se han desarrollado nuevas e innovadoras formas de utilización de raíces como la batata, siendo sus productos derivados congelados uno de los más importantes.

El uso de masas de batata en alimentos procesados cada día se incrementa, por lo que es necesario desarrollar y optimizar su procesamiento, para ser usadas por la población en general o por la industria alimentaria, ya sea para consumo directo o como ingrediente altamente nutritivo.

Con este proyecto de investigación se busca desarrollar una masa de batata de pulpa anaranjada de alta calidad que pueda ser empleada como ingrediente de alto valor nutricional en un producto alimenticio. Para ello, se evaluaron procesos combinados de conservación, cocción-congelación y proceso inverso (con y sin escaldado), sobre sus propiedades fisicoquímicas, reológicas y nutricionales.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la influencia de procesos térmicos combinados sobre propiedades fisicoquímicas, reológicas y nutricionales de masas de batata.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 3.2.1. Determinar el efecto combinado de los procesos de cocción-congelación, congelación-cocción y escaldado-congelación-cocción sobre propiedades fisicoquímicas y texturales de trozos de batata.
- 3.2.2. Establecer la influencia de los procesos térmicos combinados sobre el comportamiento reológico y contenido de provitamina A de masas de batata.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. BATATA

La batata *Ipomoea batatas* (L.) Lam es una raíz tuberosa perteneciente al grupo dicotes o dicotiledones de la familia *Convolvulaceae*. Cultivo originario de América Latina, era uno de los alimentos de los habitantes prehispánicos, por su rusticidad, precocidad, delicioso sabor y por su carácter de cultivo permanente. Durante la ocupación española, fue llevada por diferentes conquistadores a diferentes sitios del mundo. En la actualidad, especialmente en zonas deprimidas de África y Asia se han impulsado grandes proyectos de siembra y consumo de variedades amarillas y anaranjadas para combatir la inseguridad alimentaria y nutricional (CIP, 2010).

Entre los cultivos de alimentación del mundo, de acuerdo a la FAO (2013), la batata está en séptimo lugar en producción en peso, y en los trópicos, ocupa el cuarto lugar. Diversos atributos de la batata cuentan para su prominencia y reciente resurgimiento del interés en el cultivo. Se cultiva en áreas tropical, subtropical y templada cálida en más de 100 países, principalmente en China, que contribuye con un 90% de la producción mundial. En Latinoamérica y el Caribe su producción se concentra en Argentina, Brasil, Cuba, Haití y Perú, mientras que en Colombia, su mayor producción y consumo se presenta en la región Caribe (SENA-SAC, 2011).

En comparación con otros cultivos básicos, la batata tiene importantes atributos: amplia geografía de producción, capacidad de adaptación a condiciones marginales del suelo, ciclo corto de producción, alto rendimiento y tolerancia a la sequía, alto valor nutritivo y versatilidad sensorial en términos de sabor, textura y color de la pulpa (CIP, 2010). Aunque todas las partes de la planta de batata son comestibles, las raíces tuberosas constituyen el objeto del cultivo comercial.

Las raíces de batata se caracterizan por su alto contenido de energía ya que poseen 20-25% de carbohidratos totales que son digeridos fácilmente. También tienen un contenido importante de vitaminas (principalmente de provitamina A o beta-caroteno), minerales, fibra dietaria, es bajo en grasas y contiene proteínas de buena calidad. Además de su consumo directo hervida, asada o frita, la batata se utiliza en la preparación de dulces, jaleas, mermeladas, raciones para alimentación animal y como materia prima en la industria del almidón y la obtención de alcohol (Bovell-Benjamin, 2007).



Figura 1. Raíces de batata, con diferente color de pulpa. Fuente: CIP (2006)

En términos del contenido de beta-caroteno o provitamina A, la batata de color anaranjado se considera como una de las fuentes más importantes a nivel mundial, al igual que la zanahoria, calabazas y zapallos maduros, dátiles, vegetales con hojas de color verde oscuro y otras frutas tropicales de color amarillo/naranja (Tabla 1).

Tabla 1. Fuentes alimentarias importantes de beta-caroteno o provitamina A.

Alimento	Nombre común	β -caroteno ($\mu\text{g/g}$ FM porción comestible)
Vegetales con hojas	Albahaca	105
	Espinaca	30-82
	Perejil	50-58
Vegetales sin hojas	Zanahoria	34-548
	Batata	50-218
	Calabaza y zapallo	24-235
Frutas	Mango	8-29
	Papaya	2-10
	Melón	9-126
	Dátiles	22-360

Fuente: Rodríguez-Amaya, 1999

Así, la batata tiene un papel importante que desempeñar en la lucha contra la deficiencia de vitamina A, de gran importancia para la salud pública en los países en desarrollo, ya que causa alteraciones oculares temporales y permanentes y aumento de la mortalidad, especialmente entre los niños, embarazadas y mujeres lactantes. Esta deficiencia es causada por la ingesta habitual inadecuada de carotenoides biodisponibles (provitamina A) o vitamina A para satisfacer las necesidades fisiológicas. Los alimentos vegetales, como la batata, no contienen vitamina A, sin embargo, contienen precursores o provitamina A (beta-caroteno y otros carotenoides), que el cuerpo humano convierte en vitamina A (Bovell-Benjamin, 2007).

Diversos estudios han llegado a la conclusión de que el aumento del consumo de batata de pulpa anaranjada podría ser una estrategia basada en alimentos viable para el control de la deficiencia de vitamina A en los niños en los países en desarrollo (Van Jaarsveld *et al.*, 2005). Los carotenoides también se han relacionado con un aumento del sistema inmune y una disminución del riesgo de enfermedades degenerativas tales como cáncer, enfermedad cardiovascular, degeneración macular relacionada a la edad y formación de cataratas (Rodríguez-Amaya y Kimura, 2004).

Dado su alto potencial nutritivo, la batata es considerada un alimento o ingrediente funcional, ya que con independencia de aportar nutrientes, se ha demostrado científicamente que afecta beneficiosamente a una o varias funciones del organismo, de manera que proporciona un mejor estado de salud y bienestar.

4.2. MASAS DE BATATA

Los purés o masas elaboradas con batata, tienen diversos usos en la industria alimentaria. Pueden ser producidas para su consumo directo o conservadas por largo tiempo (congeladas, enlatadas o empacadas bajo condiciones asépticas) para un posterior uso o consumo. La masa de batata después de su elaboración puede empacarse en envases de plástico para el almacenamiento refrigerado o congelado (Truong y Avula, 2010). En Estados Unidos, masas de batata de pulpa anaranjada se han producido comercialmente en lata o congeladas desde la década de los 90 (Walter y Wilson, 1992).

Con los años, se han desarrollado distintas técnicas para el procesamiento de la batata para producir masas con calidad constante, a pesar de las variaciones debidas a las diferencias de cultivares y prácticas poscosecha (Parrott, 2010; Truong y Avula, 2010). Las operaciones para producir las masas a partir de raíces de batata implican generalmente lavado, pelado (manual o mecánico), corte, cocción (en agua o con vapor), y molienda o macerado para obtener la masa o puré que luego se puede someter a alguna de las técnicas de conservación mencionadas para aumentar su vida útil.

Las masas o purés de batata son los principales ingredientes que proporcionan la funcionalidad necesaria en muchos productos elaborados. Diversos estudios sobre tecnologías de procesamiento, que incluyen la evaluación de sus aspectos de calidad, se han desarrollado en varias partes del mundo para convertir la batata en masas, que pueden ser usadas como ingredientes funcionales en numerosos productos alimenticios (Van Hal, 2000; Fasina *et al.*, 2003; Ahmed y Ramaswamy, 2006; Bovell-Benjamin, 2007; Parrott, 2010; Truong y Avula, 2010).

4.3. COCCIÓN

La cocción es el proceso capaz de transformar física y/o químicamente el aspecto, la textura, la composición y el valor nutritivo de los alimentos mediante la acción del calor, haciéndolos más digeribles y apetecibles, y aumentando su vida útil y su seguridad. La temperatura se debe controlar para evitar daños estructurales, mientras que el tiempo de tratamiento térmico también debe ser controlado para no cocer en exceso los alimentos, lo cual llevaría a una pérdida de palatabilidad, valor nutritivo y produciría contenidos de humedad muy altos (Brennan, 2006).

La cocción es un proceso en el que hay transferencia de calor por convección, lo cual implica el transporte de calor en un volumen y la mezcla de elementos macroscópicos de porciones calientes y frías, es decir, se da un intercambio de energía entre un fluido y una superficie sólida (Geankoplis, 2006).

Dentro de las tecnologías de cocción en medio acuoso, el agua es el elemento base de transferencia de calor. La temperatura en la cual se debe realizar la cocción del alimento va a depender de que el agua necesite alcanzar o no su punto de ebullición y también del sistema de trabajo (presión normal, con sobrepresión o vacío). El tiempo de cocción es un parámetro que depende del tamaño y naturaleza del alimento, según requiera un ablandamiento o una simple coagulación (Bello, 1998).

El almidón es el mayor componente de la materia seca en la batata y durante el tratamiento hidrotérmico, la gelatinización puede definir las características de calidad final del producto cocido. La gelatinización de los gránulos de almidón se ha definido como la transición de fase de un estado ordenado a un estado desordenado, el cual se lleva a cabo durante el calentamiento a temperaturas mayores a 60°C en exceso de agua (cocción), es decir, la gelatinización transforma los gránulos de almidón insolubles en una solución de las moléculas constituyentes en forma individual (Badui, 2006).

Así, una de las etapas más importantes en el desarrollo de las masas de batata es la cocción, pues es en esta operación donde ocurren los mayores cambios en el almidón presente en las raíces. Cuando las batatas se calientan a la temperatura de gelatinización del almidón (60-78°C), la α -amilasa degrada rápidamente el almidón en dextrinas de bajo peso molecular que se hidrolizan simultáneamente en maltosa por acción de la β -amilasa. La degradación del almidón y la formación de maltosa son dependientes de las actividades de las amilasas y del proceso de calentamiento en la elaboración de las masas (Badui, 2006). Sin embargo, hay una diferencia (que depende de la variedad) en las cantidades de maltosa producidas en la batata cocida. Takahata *et al.* (1994) clasificaron las variedades de batata según la formación de maltosa (alta, moderada y baja) después de cocer al vapor. Los genotipos con alta formación de maltosa en las raíces cocidas presentaban una rápida gelatinización de los gránulos de almidón (mayor de 70°C) y una β -amilasa con alta estabilidad térmica (78-82°C).

Un calentamiento muy rápido tiende a producir una masa con bajos niveles de maltosa y de alta viscosidad, mientras que un procedimiento de temperatura y tiempo que permita una suficiente hidrólisis en almidón gelatinizado producirá masas dulces y con mayor fluidez (Walter y Schwartz, 1993; Ridley *et al.*, 2005).

4.4. PRETRATAMIENTOS TÉRMICOS

El procesado de los alimentos está constituido principalmente por pretratamientos térmicos dirigidos a inactivar patógenos y otros microorganismos capaces de hacerlos no aptos para el consumo. Desafortunadamente, las propiedades sensoriales de los alimentos, color y textura se deterioran durante el procesado. La retención del color, sabor, y la obtención de viscosidades y texturas óptimas durante el procesado térmico son por tanto un reto importante en la industria del procesado de alimentos (Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2003; Brennan, 2006).

4.4.1. CONGELACIÓN

Entre las denominadas tecnologías de mínimo procesado, la congelación es comúnmente aceptada como el método más satisfactorio para la conservación de alimentos a largo plazo. Correctamente aplicada, permite mantener los atributos de calidad y valor nutritivo iniciales del alimento, apreciándose únicamente diferencias en la textura respecto al producto fresco o previamente procesado que se congela, por lo que es de especial interés adaptar y optimizar los procesos en que se utiliza la congelación con el objeto de minimizar su efecto negativo en la textura final de los productos (Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2003; Brennan, 2006; Canet *et al.*, 2007).

El proceso de congelación consiste en descender la temperatura del producto hasta alcanzar la temperatura deseada por debajo del punto de congelación, obteniéndose como resultado la cristalización de la mayor parte del agua y algunos solutos. La cristalización del hielo ocurre solo después de causar un grado de sub-enfriamiento, esto es, reducir la temperatura hasta una temperatura inferior al punto de congelación, entre -0.5 y -9°C . En el estado congelado, la mayoría del agua del producto experimenta un cambio de fase a hielo; este cambio no es completo hasta que la temperatura final del centro térmico es igual o cercana a la temperatura de almacenamiento (Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2003).

El tiempo de congelación depende del tamaño del producto (especialmente su espesor) y su forma, así como de los parámetros del proceso de transferencia de calor y la temperatura del medio de enfriamiento (Canet *et al.*, 2007). Durante la congelación tienen lugar tres fases distintas de transferencia de calor y cambio de temperatura. En la primera fase, la temperatura del producto se reduce hasta el punto inicial de congelación (justo por debajo de 0°C) donde comienza la formación de hielo. En la segunda fase, la temperatura cambia sólo ligeramente ya que la eliminación de calor es compensada por la transición exotérmica del agua líquida a hielo. La duración de la segunda fase es función de la cantidad de agua de la muestra y de la velocidad de enfriamiento. La reducción del tiempo de esta segunda fase contribuye a la óptima calidad de los productos, incluida la textura. La tercera fase se produce cuando la muestra congelada se equilibra con la temperatura del medio de congelación (Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2003; Brennan, 2006).

La velocidad de congelamiento determina la formación y localización de los cristales de hielo; cuando se hace rápidamente (minutos a muy baja temperatura), se producen muchos cristales pequeños; por el contrario, si se efectúa en forma lenta, se induce un menor número de cristales pero de mayor tamaño, de tal manera que cada célula contiene una sola masa central de hielo. El congelamiento lento es más dañino que el rápido ya que afecta mayormente la membrana celular y además establece cristales intercelulares que tienen la capacidad de unir las células e integrar grandes agregados (Badui, 2006).

Los tratamientos de congelación ocasionan modificaciones en las propiedades viscoelásticas y texturales de los purés de frutas y vegetales que tienen una gran importancia práctica para su aceptación y consumo. Los productos congelados no permanecen estables durante su periodo de conservación, que puede prolongarse durante meses o incluso años, siendo susceptibles de experimentar un deterioro de su calidad, variable en función del tipo de producto y de la temperatura de conservación (Canet *et al.*, 2007). Puesto que a temperaturas de conservación, la proliferación microbiana queda ralentizada y la acción de los enzimas es muy lenta, las pérdidas de calidad que se producen durante la conservación de los productos vegetales al estado congelado a -18°C , son debidas exclusivamente a cambios físicos y químicos que se producen en el propio producto, afectando principalmente su textura (Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2003; Geankoplis, 2006).

Los cambios físicos que afectan la calidad de los productos vegetales congelados durante su conservación son consecuencia de fenómenos de retracción del almidón (sinéresis), recristalización y sublimación, relacionados con el crecimiento y la estabilidad de los cristales de hielo en el interior y en la superficie del producto, provocados por fluctuaciones cuando el tiempo aumenta (Brennan, 2006; Fennema, 2009). Estos cambios pueden causar ruptura de la estructura

celular del producto y originar una mayor pérdida de fluido, lo cual indica que el tratamiento de congelación provoca un mayor daño estructural en las masas o purés, debido a la retrogradación del almidón gelatinizado y las condiciones de operación durante el proceso de manufacturación (Walter y Wilson, 1992).

Los cambios químicos que se producen durante la conservación al estado congelado son debidos a reacciones químicas enzimáticas o no enzimáticas. Su influencia en la calidad es especialmente importante, porque estas reacciones van asociadas a la aparición de olores y sabores extraños, cambios de color debido a la ruptura de pigmentos naturales, desarrollo de pardeamiento enzimático y auto-oxidación de ácido ascórbico (De Ancos *et al.*, 2006; Fennema, 2009).

También hay que destacar que actualmente está ampliamente reconocida la influencia que en la congelación de los productos vegetales tienen otros tratamientos térmicos, tales como el escaldado, la descongelación y cocción, y otros factores como el tipo de producto, el envasado y el tiempo de conservación.

4.4.2. ESCALDADO

El escaldado es un tratamiento térmico, común a distintos procesos de conservación de vegetales, y especialmente importante en el caso de la congelación por su influencia en la calidad. Este tratamiento consiste en someter el producto a un calentamiento, generalmente por inmersión en agua a 80-100°C o en vapor de agua a 100°C durante un tiempo breve (Welti-Chanes *et al.*, 2003; Brennan, 2006).

El objetivo principal del escaldado es inactivar los sistemas enzimáticos responsables de las alteraciones de calidad sensorial (aparición de olores y sabores extraños) y nutricional (pérdidas de vitaminas) que se producen durante la conservación al estado congelado (Brennan, 2006; Fennema, 2009). Además, el escaldado tiene una serie de ventajas secundarias ya que destruye las formas vegetativas de los microorganismos existentes en la superficie de los productos completando la acción del lavado, elimina restos de plaguicidas, mejora el color de los vegetales verdes y elimina sabores extraños consecuencia de gases y otros productos volátiles formados durante el intervalo entre la recolección y el procesado (Canet *et al.*, 2007).

La importancia del escaldado ha sido reconocida, tanto por sus efectos beneficiosos en la textura como en otros parámetros de calidad de vegetales sometidos a procesado (congelación, cocción, fritura, enlatado, etc.) (Badui, 2006). La duración del escaldado varía según el método empleado, la especie y variedad del producto, sus dimensiones, estado de madurez y principalmente la temperatura a que se realice el mismo. Las oxidasas, peroxidasas, catalasas, lipoxigenasas son destruidas por el calor durante el escaldado y su eficacia es verificada controlando la actividad de la peroxidasa y catalasa dada su mayor termoresistencia (Canet *et al.*, 2007). El calentamiento durante el escaldado solubiliza las sustancias pécticas y causa cambios irreversibles en la estructura celular y las características mecánicas de los tejidos vegetales, al mismo tiempo que se produce la desnaturalización proteica (Welti-Chanes *et al.*, 2003).

Las alteraciones de color durante la conservación de vegetales congelados como resultado de un pardeamiento enzimático son causadas por la oxidación de fenoles en presencia de oxígeno. La

reacción es catalizada por polifenol-oxidasas (PPO), dando lugar a quinonas que condensan en la forma de compuestos marrones o rojizos amarronados con una más o menos bien definida composición química. Tal pardeamiento enzimático puede ser minimizado por inactivación térmica de enzimas, adición de inhibidores o por exclusión de oxígeno. El escaldado es claramente el método más apropiado para prevenir el pardeamiento enzimático (Fennema, 2009).

Los efectos negativos del escaldado, principalmente la modificación permanente de la estructura vegetal, la solubilización y destrucción de nutrientes y vitaminas en el medio de escaldado y las modificaciones de color debido a la oxidación de carotenoides y a la transformación de clorofilas en feofitinas, son tanto más intensos a medida que el escaldado es más largo y a más elevada temperatura (Wolti-Chanes *et al.*, 2003; Brennan, 2006). Por ello, ha recibido una amplia atención científica a fin de reducir, al menos parcialmente sus inconvenientes, bien acortando el tratamiento térmico o atenuando sus efectos perjudiciales en la calidad sensorial (textura, sabor, color) mediante la aplicación de distintos procedimientos (Rodríguez-Amaya, 1999; Canet *et al.*, 2007).

El escaldado convencional de la batata tradicionalmente se realiza por inmersión en agua entre 95-100°C durante tiempos entre 2-5 min dependiendo del medio, tamaño y forma del producto, causando tanto más daño estructural y pérdida de firmeza del tejido vegetal a más temperatura del medio y duración, pudiendo minimizarse este efecto negativo mediante el control y establecimiento de combinaciones de temperatura y tiempo que optimizan la calidad final (Ma *et al.*, 1992). La inactivación enzimática requiere una temperatura relativamente alta y tiempos de escaldado cortos pero suficientes según la variedad.

Ya que el escaldado se desarrolla durante la preparación de la materia prima, las condiciones de este pretratamiento ejercen un efecto en la aptitud de los tejidos vegetales a resistir las tensiones producidas por los posteriores procesos dependientes de la temperatura tales como cocción o congelación/descongelación.

4.5. CARACTERIZACIÓN DE LAS MASAS PROCESADAS

El término “calidad” implica el grado de excelencia de un producto, es una percepción humana que abarca muchas propiedades o características. La calidad de un alimento está definida como el conjunto de características que diferencian las unidades individuales de un producto y determinan su grado de aceptabilidad por el consumidor. Los atributos sensoriales (aspecto, sabor, aroma y textura) integran la calidad sensorial del alimento, una parte importante y a veces definitiva de la calidad global del mismo (Lawlees y Heymann, 2010).

En general, el aspecto (color, tamaño y forma) perceptible con el sentido de la vista, resulta determinante en el momento de elegir el alimento, pero son los restantes atributos (sabor: sentido del gusto; aroma: sentido del olfato y textura: sentido del tacto) los que determinan finalmente el grado de satisfacción del consumidor y, por tanto, la aceptación o rechazo del mismo (Hui, 2007).

4.5.1. COLOR

La aceptación de un producto alimentario por parte del consumidor, depende en gran medida de su apariencia o aspecto externo en el que el color ocupa un papel relevante. Por otro lado, la

apariciencia visual del producto ayuda a los consumidores a confirmar si la textura es la esperada para el producto, ayuda a ajustar las expectativas psicológicas de cómo la textura será percibida en la boca y también ayudará a crear combinaciones de textura más aceptables (Lawlees y Heymann, 2010).

Por todo ello, el color es un atributo sensorial importante debido a que suele ser la primera propiedad que el consumidor observa y a través del cual valora un alimento antes de su compra y consumo, tanto de los productos procesados como los que se ofrecen crudos al consumidor. Junto con la textura y el sabor, se puede decir que es uno de los parámetros importantes de la posible atractividad hacia el consumidor que pueda tener un alimento, ya que un aspecto desagradable puede bastar para que el producto sea inmediatamente eliminado de su posible elección (Tomlins *et al.*, 2004).

El color de los alimentos se juzga mediante medidas instrumentales o mediante análisis sensorial de los mismos en una cata. La calidad visual del producto reposa esencialmente en dos parámetros medibles, el color o tono dominante, y la homogeneidad (o heterogeneidad) de la distribución espacial de este color (Lawlees y Heymann, 2010).

Los cambios de color que tienen lugar en los alimentos se pueden asociar a su previa historia térmica. Durante el calentamiento de frutas y vegetales, pueden tener lugar varias reacciones químicas tales como destrucción de pigmentos, caramelización de azúcares y reacciones de pardeamiento no enzimático, por lo que el color puede ser utilizado como indicador de calidad para evaluar el grado de deterioro debido a un tratamiento térmico (Melendez-Martínez *et al.*, 2004).

4.5.2. TEXTURA

Específicamente, en la batata y sus productos derivados, la textura es un atributo sensorial de principal importancia en su aceptación y preferencia, y por lo tanto, es un parámetro crítico en la calidad de los alimentos cocidos (Lawlees y Heymann, 2010). La textura de la batata está directamente relacionada con su peso específico, sólidos totales, contenido en almidón, tamaño celular y pectinas. Los cambios texturales durante la cocción son el resultado de cambios físicos, químicos y estructurales producidos en esta compleja operación del proceso, que incluye transferencia de calor y de masa junto con el desarrollo de ciertas reacciones químicas (Truong y Avula, 2010).

Por consiguiente, resulta indiscutible que la textura es el criterio de calidad más importante para la aceptación sensorial por parte de consumidor de productos de batata recién elaborados y procesados y, en particular, de productos de puré de batata congelados (Leighton *et al.*, 2010).

El comportamiento de cada alimento durante el procesado viene determinado fundamentalmente por su estructura, por lo que puede afirmarse que la preservación o modificación de la estructura del producto será función de las variables de proceso (Brennan, 2006). Durante el procesado de alimentos vegetales como la batata los componentes estructurales del tejido se alteran por procesos químicos y físicos dando lugar a cambios texturales, los cuales son dependientes tanto del tiempo como de la temperatura, por lo que no es fácil relacionar dichos datos con los rápidos cambios

térmicos que tienen lugar durante operaciones tales como escaldado, congelación o cocción. En la batata, los cambios que tienen lugar en su textura después del procesado son debidos a cambios en su estructura y en su composición química, y dicha textura es determinada por varios factores mutuamente dependientes (Truong *et al.*, 2011).

Entre los componentes estructurales de las células de la batata, el almidón, las sustancias pécticas, la celulosa, las hemicelulosas y la lignina, se consideran responsables de la mayor o menor firmeza de la estructura celular siendo, por lo tanto, las modificaciones químicas y bioquímicas experimentadas por estos componentes a lo largo de los tratamientos térmicos, las responsables últimas de la textura del producto (Truong y Avula, 2010).

4.5.3. CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA

Las propiedades físicas de las materias primas y los sustratos transformados tienen una gran importancia, tanto por factores intrínsecos de calidad, así como por la forma en que tales propiedades condicionan las manipulaciones y manufacturación o transformaciones domésticas que las materias primas experimentan hasta que llegan a ser productos listos para su consumo, sin olvidar la moda, cultura y sus características organolépticas. Por lo tanto, el conocimiento de las propiedades reológicas y el entendimiento del comportamiento reológico de los alimentos son esenciales para el desarrollo de nuevos productos, para el control y optimización de las variables del proceso, para el control de calidad de alimentos, su evaluación sensorial y la aceptabilidad de un producto por parte del consumidor (Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2003).

El análisis y la cuantificación del comportamiento reológico de los alimentos y la investigación de las causas químicas y estructurales que lo determinan, tiene un gran interés en la ciencia de los alimentos y es importante establecer relaciones entre la estructura y flujo, así como correlacionar los parámetros físicos (Krokida *et al.*, 2001).

La viscosidad juega un papel trascendente en el diseño de equipos y procesos para la elaboración de purés vegetales, así como en los procesos de incorporación del puré a la fabricación de otros productos alimenticios. A su vez, el conocimiento de la influencia de la temperatura sobre la viscosidad es esencial para proporcionar un mejor conocimiento del comportamiento reológico de los purés de frutas y vegetales durante el procesado a temperaturas elevadas (Steffe, 1996).

Por ejemplo, en el procesado de puré de batata se generan variaciones substanciales de la temperatura que provocan un efecto muy significativo, tanto en el comportamiento de flujo como en las propiedades sensoriales del producto (Truong y Avula, 2010). Por consiguiente, ya que durante el procesado térmico tienen lugar una gran cantidad de diferentes cambios físicos, químicos, y estructurales, como difusión de calor y agua, gelatinización del almidón, desnaturalización de proteínas, etc., se requiere información precisa sobre su comportamiento de flujo para alcanzar las condiciones de procesado que garanticen la seguridad y la mejora de la calidad (Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2003).

Los ensayos oscilatorios constituyen una de las herramientas fundamentales y de creciente uso para la caracterización de las propiedades viscoelásticas de los alimentos, y son más fiables que las medidas en estado estacionario. Esta técnica no destructiva posibilita que las medidas se

realicen sin provocar daño estructural a la muestra, lo que permite relacionar los parámetros reológicos dinámicos con la estructura molecular en un estado de equilibrio próximo a una situación de reposo y con sus temperaturas de transición vítrea (Gunasekaran y Ak, 2000). Por lo tanto, un cambio en la estructura se reflejará en los valores de las funciones viscoelásticas dinámicas, e incluso en la dependencia de las mismas respecto a la frecuencia.

4.5.4. CONTENIDO NUTRICIONAL

Las tendencias actuales en nutrición, se enfocan en acentuar la importancia de los hábitos de vida donde la elección racional de alimentos se basa no solo en la composición nutricional de los mismos sino también en sus propiedades, algunas de ellas asociadas a la búsqueda de un estilo de vida saludable. Esto hace que el mercado se incline cada vez más a elegir productos que ayuden al cuidado de la salud, como los que previenen enfermedades, mejoran el funcionamiento del cuerpo, y son más naturales (Hui, 2007).

Las empresas de alimentos tienen hoy múltiples expectativas ante la oportunidad de explorar estrategias de enfoque y desarrollar alimentos con características muy específicas, para nichos de mercados exigentes y dispuestos a pagar un poco más por alimentos diferentes a los convencionales. En este sentido, el potencial de la batata y sus productos derivados, como las masas o purés, está dado por su alto contenido de carotenoides, principalmente de beta-caroteno (en las variedades de pulpa anaranjada) de buena biodisponibilidad en comparación con otras fuentes vegetales (ILSI, 2008).

La importancia de los carotenoides en los alimentos va más allá de su rol como pigmentos naturales. En forma creciente se han atribuido a estos compuestos funciones y acciones biológicas. La dieta proporciona la vitamina A en forma de vitamina A preformada (retinil ester, retinol, retinal, 3-dehidroretinol y ácido retinoico) a partir de alimentos de origen animal como por ejemplo hígado, leche y productos lácteos, pescado y carne, o como carotenoides que se pueden transformar biológicamente a vitamina A (provitaminas A) generalmente a partir de alimentos de origen vegetal (Badui, 2006). Sobre una base mundial, se estima que aproximadamente el 60% de la vitamina A dietaria proviene de las provitaminas A. También, la provitamina A tiene la ventaja de convertirse a vitamina A sólo cuando el cuerpo lo requiere; evitando así, la toxicidad potencial de una sobredosis de vitamina A (Rodríguez-Amaya, 1999).

Los compuestos carotenoides son micronutrientes que se degradan fácilmente por el tratamiento térmico, la exposición a la luz y la oxigenación (Rodríguez-Amaya, 1999). En los últimos años, algunas investigaciones han demostrado que el contenido de carotenos en la batata y otras raíces disminuye durante su procesamiento siendo la cocción la principal forma de preparación (Van Jaarsveld *et al.*, 2006; Chávez *et al.*, 2007; Kidmose *et al.*, 2007; Bengtsson *et al.*, 2008; Wu *et al.*, 2008; Liu *et al.*, 2009; Zaccari, 2010; Carvalho *et al.*, 2012; Ceballos *et al.*, 2012; Velho, 2016).

Dado que se ha reconocido ampliamente la importancia de determinar el contenido de provitamina A en los alimentos, se han hecho mayores esfuerzos para mejorar los métodos de análisis de los carotenoides, principalmente en raíces y tubérculos como la batata y la yuca (Ceballos *et al.*, 2012). La separación cromatográfica de los carotenoides se realiza preferiblemente mediante

Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia o Resolución (HPLC). La cromatografía líquida es una técnica que permite separar, aislar e identificar los analitos de una mezcla de compuestos químicos (basada en la transferencia de masa entre la fase estacionaria y la fase móvil), por lo que es utilizada para la separación de componentes de una sustancia determinada, basándose en diferentes tipos de interacciones químicas (Rodríguez-Amaya, 1999).

5. ANTECEDENTES

La importancia nutricional de la batata ha sido ampliamente reportada. Se considera una buena fuente de energía, ya que posee 20-28% de carbohidratos totales (glucosa, sacarosa, maltosa, dextrina y almidón) que son digeridos fácilmente (Bovell-Benjamin, 2007). La proteína cruda generalmente varía entre 1.3 y 10% según la variedad y es de buen valor biológico debido a que un 4.2% está en forma de lisina (Bovell-Benjamin, 2007; Truong *et al.*, 2011). Los minerales que se encuentran en mayor cantidad en la batata son el potasio, calcio, fósforo, hierro y zinc (CIP, 2014). Sus contenidos de fibra dietaria varían entre 2 y 5.9% (Bovell-Benjamin, 2007). Además la raíz contiene un contenido bajo en grasas (0.1-1%) y tiene un aporte calórico de 108 Kcal (CIP, 2014). Es importante resaltar que el contenido de nutrientes varía enormemente entre las distintas variedades de batata existentes.

La batata también es fuente de vitaminas (A, C, E, tiamina, riboflavina, niacina y ácido fólico), antocianinas y polifenoles (Bovell-Benjamin, 2007; ILSI, 2008; CIP, 2010). Tiene un alto contenido de carotenoides, que es proporcional al color de su pulpa (de acuerdo a la variedad blanco puro, crema, amarillo, anaranjado o violeta profundo). Las variedades de pulpa anaranjada tienen un alto contenido de carotenoides, principalmente de beta-caroteno, precursor de la vitamina A y uno de los más importantes para la dieta humana (Low *et al.*, 1997; Harvest Plus, 2014).

Los carotenoides se encuentran en las raíces de batata en una configuración *all trans* que exhibe la más alta actividad de provitamina A entre los carotenoides. Van Jaarsveld *et al.* (2005) y Tanumihardjo (2008) exponen que el aumento del consumo de batata de pulpa anaranjada es un método eficaz para mejorar la nutrición de vitamina A en los países en desarrollo. El consumo de dietas que contienen principalmente batata de pulpa anaranjada como fuente de beta-caroteno aumentó significativamente el retinol sérico (vitamina A) en los niveles de niños indonesios con deficiencia de vitamina A marginal (Bovell-Benjamin, 2007). Estudios epidemiológicos indican los efectos beneficiosos de las dietas ricas en caroteno en la reducción de los riesgos de cáncer, degeneración macular relacionada con la edad y las enfermedades del corazón (Truong y Avula, 2010).

Dependiendo de la variedad, la batata tiene contenidos de materia seca entre 18-45% y de almidón entre 8-33%, lo cual tiene un impacto significativo en las operaciones de procesamiento y calidad de las masas (Brabet *et al.*, 1998). Las tecnologías desarrolladas para el procesamiento de masas de batata se han basado principalmente en las variedades de pulpa anaranjada con alto contenido de beta-caroteno, baja materia seca (18-21%) y bajo contenido de almidón (8-10%) (Walter y Schwartz, 1993). Este tipo de batata tiene una textura húmeda después de la cocción, produce masas que son viscosas, pero capaces de fluir, y se puede manejar en diversas operaciones de procesamiento (Truong y Avula, 2010).

Por otra parte, aunque la congelación de las masas es un método eficiente para la preservación, que proporciona la menor degradación en la calidad nutricional y sensorial del producto, también requiere una inversión considerable en cuanto espacio, energía, tiempo y control del proceso de descongelación antes de su uso (Truong *et al.*, 2011).

El comportamiento reológico es una propiedad importante de las masas o purés procesados a partir de frutas y vegetales y ha sido estudiado por numerosos investigadores. Krokida *et al.* (2001) han compilado los datos de algunos productos de frutas y vegetales y presenta los valores de coeficiente de consistencia y el índice de comportamiento de flujo junto con los correspondientes rangos de temperatura y concentración. Por la presencia de almidón, las masas de batata son naturalmente más viscosas que otras masas elaboradas con zanahorias y tomates.

En el estudio de las características reológicas de masas de batata, se ha encontrado que la batata presenta un comportamiento no newtoniano, pseudoplástico que se ajusta al modelo de Herschel-Bulkley (Truong y Avula, 2010). La viscosidad aparente del puré de batata disminuye al aumentar la velocidad de cizallamiento y la temperatura. Kyereme *et al.* (1999) estudiaron el efecto de la temperatura entre 15-90°C en la viscosidad aparente de puré de batata, encontrando que su comportamiento de flujo estaba bien representado por los modelos de Herschel-Bulkley o Casson modificado. Por su parte, Ahmed y Ramaswamy (2006) observaron una desviación en el comportamiento reológico del puré de batata en un alimento infantil por encima de 65°C que fue causado posiblemente por la gelatinización y la formación de un complejo amilasa-lípido del almidón.

Fasina *et al.* (2003) y Ahmed y Ramaswamy (2006) reportaron que las masas de batata exhiben un comportamiento de gel, con un módulo de almacenamiento de energía mayor (G' , elasticidad) que el módulo de pérdida de energía (G'' , viscosidad) a través de la reología oscilatoria. En general, se ha encontrado que los métodos de procesamiento de la masa afectan a las propiedades viscoelásticas y perfiles de textura de los productos reestructurados elaborados a partir de las masas de batata (Walter *et al.*, 1999).

Otro aspecto importante en el procesamiento de las masas de batata es su aporte nutricional. Diferentes resultados para el contenido de beta-caroteno en batatas cocidas de pulpa anaranjada (6.7-16.0 mg/100g) han sido reportados por diferentes investigadores (Van Jaarsveld *et al.*, 2006; Bovell-Benjamin, 2007; Chávez *et al.*, 2007; Kidmose *et al.*, 2007; Bengtsson *et al.*, 2008; Wu *et al.*, 2008; Liu *et al.*, 2009; Zaccari, 2010; Carvalho *et al.*, 2012; Ceballos *et al.*, 2012; Velho, 2016). Los carotenoides se pueden isomerizar por el calor, el ácido, el aire o la luz durante el procesamiento y el almacenamiento de las masas. Cuando se expone al calor, la molécula se puede transformar a una configuración *cis*, que reduce la actividad provitamina, aunque el color no se vea afectado. El procesamiento a temperaturas extremadamente altas causará fragmentación de productos y la liberación de compuestos volátiles. Rodríguez-Amaya (1999) analizó los cambios en el contenido de beta-caroteno y sus productos de isomerización como resultado del escaldado, deshidratación y cocción.

Las masas o purés de batata se han utilizado como ingrediente en numerosos productos alimenticios, incluidos los alimentos para bebés, guisos, postres, tartas, pasteles, helados, yogur, pan, empanadas y sopas (Collins y Walter, 1992; Woolfe, 1992; Yasufumi y Shigeki, 2000; Bovell-Benjamin, 2007; Truong y Avula, 2010). La aplicación comercial más exitosa de la masa de batata es como alimento infantil (Ahmed y Ramaswamy, 2006; Truong y Avula, 2010).

Varios procesos patentados sobre la utilización de masas o purés de batata en bebidas de frutas y verduras se han desarrollado en Japón y los Estados Unidos (Gladney, 2005; Parrott, 2010), y en

la actualidad hay varias bebidas comercializadas en estos países que utilizan como ingrediente la masa de batata. Otro uso comercial de la masa de batata incluye mermeladas y salsas de tomate (Bovell-Benjamin, 2007). Productos reestructurados (tipo papas a la francesa) también se han desarrollado de masa de batata con el uso de agentes gelificantes presentando buena calidad sensorial y propiedades texturales (Utomo *et al.*, 2005). Purés o masas de batata también se han utilizado en el desarrollo de cuajada rica en caroteno y bebidas fermentadas con alta actividad antioxidante (Saigusa *et al.*, 2005; Mohapatra *et al.*, 2007). En Japón, variedades de pulpa blanca o anaranjada se han utilizado en forma de masas para la incorporación en pan y helado (Woolfe, 1992).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. MATERIA PRIMA

Se utilizó la variedad de batata CIP-440287 proveniente de campos experimentales del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) del Departamento del Valle del Cauca. Su composición bromatológica y nutricional promedio se muestra en la Tabla 2.

Las raíces de batata se seleccionaron en función de las características de calidad y presentación (forma, tamaño y peso) destinadas al consumidor en su estado natural para una adecuada comercialización. Se eliminaron las raíces con brotes o deterioros visibles (con daños fitosanitarios o síntomas de alguna enfermedad o plaga).



Figura 2. Raíces de batata, variedad CIP-440287. Fuente: El autor

Tabla 2. Composición bromatológica y nutricional de la variedad de batata CIP-440287.

Variedad	Materia seca (%)	Almidón (%)	Proteína (%)	Fibra cruda (%)	Grasas (%)	Cenizas (%)	Beta-caroteno (ppm)
CIP-440287	31	16.5	2.7	4.1	1.3	6.4	280

Fuente: El autor

6.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

Los diseños experimentales se realizaron inicialmente de acuerdo a los procesos presentados en la Figura 3.

- Proceso 1 (C+F): Cocción-Congelación. Se realizó primero la cocción de las muestras a temperatura de ebullición (95°C), posteriormente se congelaron hasta -40°C y se almacenaron a -18°C.

- Proceso 2 (F+C): Congelación-Cocción. Se realizó inicialmente la congelación de las muestras frescas y posteriormente la cocción, bajo las mismas condiciones que en el proceso 1.
- Proceso 3 (B+F+C): Escaldado-Congelación-Cocción. Se realizó un escaldado a temperatura de ebullición (95°C) previo al proceso 2.

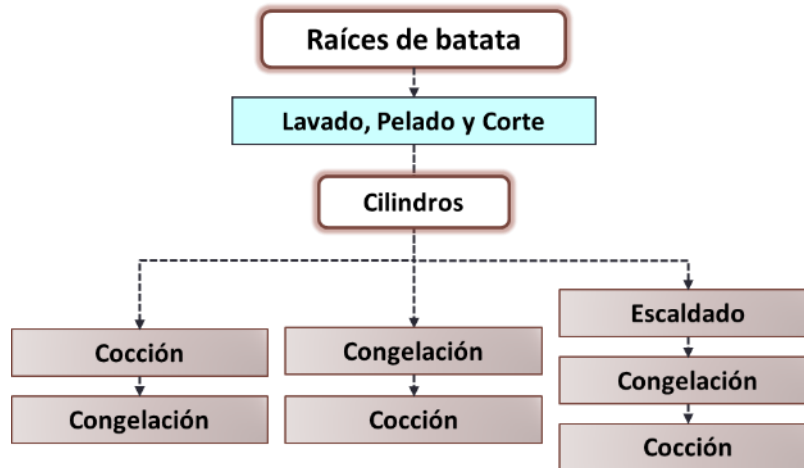


Figura 3. Esquema representativo de los métodos a evaluar. Fuente: El autor

De acuerdo a lo anterior, y para evaluar los efectos de los procesos térmicos sobre las características de calidad de las muestras de batata, se realizó a partir de la metodología de superficies de respuesta, un Diseño Central Compuesto Rotable (DCCR). El diseño DCCR presenta la ventaja de poder utilizar varios factores y niveles al mismo tiempo, generando con ellos modelos polinómicos de bajo orden, los cuales permiten estudiar las relaciones funcionales entre los factores a estudiar (Gutiérrez y De la Vara, 2012).

Cada diseño consta de 9 tratamientos, de los cuales 4 corresponden al factorial 2^2 (porción factorial), otros 4 corresponden a 2 puntos sobre cada eje a una distancia α del origen (puntos axiales) y finalmente 1 tratamiento que incluye 5 réplicas en centro, como se muestra en la Figura 4 y en el Anexo A.

La matriz de segundo orden fue la base para la evaluación de los 3 métodos, de acuerdo a las Tablas 3 y 4, con los respectivos niveles de variación, para los factores tiempo de cocción y tiempo de congelación. Los niveles bajo y alto para el tiempo de almacenamiento en congelación fueron de 1 y 60 días, mientras que los niveles para el tiempo de cocción fueron entre 1 y 20 min (definidos mediante pruebas preliminares).

Con base en estos diseños experimentales se evaluaron durante los procesos térmicos combinados las variables de respuesta como pérdida de fase líquida, variación de volumen, color y textura.

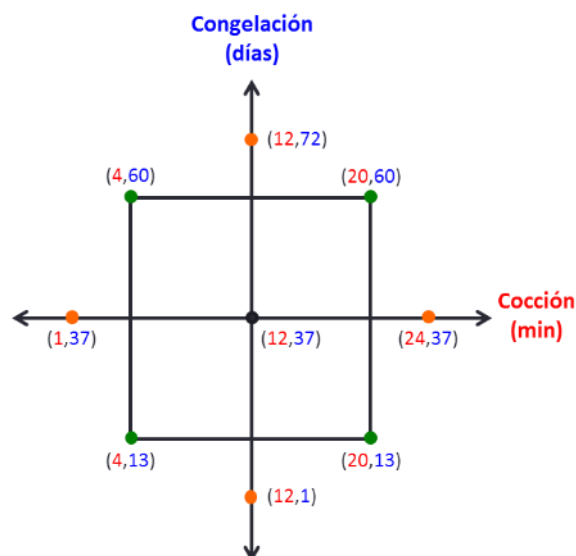


Figura 4. Representación gráfica del diseño del DCCR para los factores tiempo de cocción y tiempo de congelación. Fuente: El autor

Tabla 3. Diseño experimental DCCR para el proceso 1 (Cocción-Congelación).

Factores	Niveles	Variables de respuesta
<i>Cocción</i> Tiempo de cocción	(1-20 min)	Pérdida de fase líquida (Δm) Variación de volumen (ΔV) Color (L^* , ΔE , C^* , h)
<i>Congelación</i> Tiempo de almacenamiento	(1-60 días)	Textura (Módulo de elasticidad y firmeza)

Fuente: El autor

Tabla 4. Diseño experimental DCCR para los procesos 2 (Congelación-Cocción) y 3 (Escaldado-Congelación-Cocción).

Factores	Niveles	Variables de respuesta
Pretratamiento térmico	Sin escaldado Con escaldado	Pérdida de fase líquida (Δm) Variación de volumen (ΔV)
<i>Congelación</i> Tiempo de almacenamiento	(1-60 días)	Color (L^* , ΔE , C^* , h) Textura (Módulo de elasticidad y firmeza)
<i>Cocción</i> Tiempo de cocción	(1-20 min)	

Fuente: El autor

Los parámetros G' y G'' de reología dinámica (características viscoelásticas) y el contenido de beta-caroteno se evaluaron en las masas elaboradas a partir de cilindros cocidos por 15 min y congelados entre 1 y 60 días, con tres repeticiones. Se realizó un diseño completamente aleatorio con arreglo factorial 3x4, de acuerdo con los factores y los niveles que se muestran en la Tabla 5. Como tratamiento control para comparación, se emplearon muestras de batata solamente cocidas durante 15 min. Todos los experimentos se realizaron por duplicado.

Tabla 5. Diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 3x4 para los tres procesos.

Procesos	Factores	Niveles	Variables de respuesta
Cocción (15 min)- Congelación	<i>Congelación</i> Tiempo de almacenamiento (días)	1	Parámetros reológicos (G' , G'' , G^* , δ)
Congelación-		15	
Cocción (15 min)		30	Contenido de carotenos (all- <i>trans</i> - β -caroteno)
Escaldado-Congelación-		60	
Cocción (15 min)			

Fuente: El autor

6.3. METODOLOGÍA

6.3.1. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Las raíces de batata se lavaron con agua potable y se pelaron manualmente. De la región central de las raíces se extrajeron muestras cilíndricas de aproximadamente 1 in de diámetro y 15 mm de longitud (Figura 5).

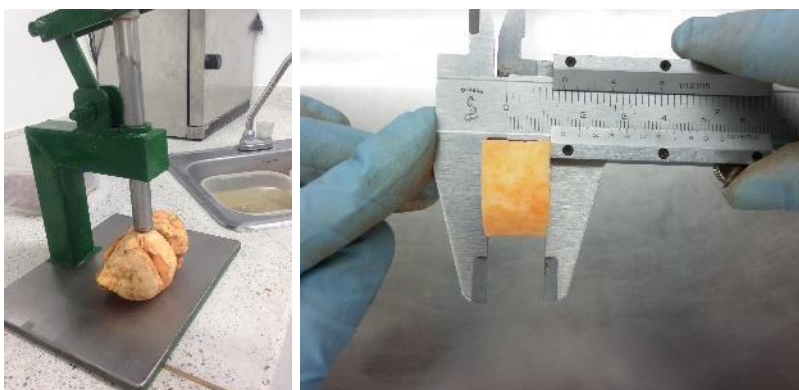


Figura 5. Equipo para extraer los cilindros de batata. Fuente: El autor

6.3.2. CURVAS DE EMPASTAMIENTO

Con muestras de batata fresca y de batata cocida durante 15 min (a temperatura de ebullición) se realizaron curvas de empastamiento (viscoamilogramas) utilizando un viscosímetro RVA (New-Port Scientific, serie 4, Australia), de acuerdo a la metodología descrita por Dufour *et al.* (2009).

Se determinó la temperatura de gelatinización y la viscosidad máxima de los almidones modificados por el tratamiento térmico. Para ello, las muestras extraídas se transformaron en harinas mediante secado en horno a 40°C (Binder de convección forzada, serie FD, Alemania) y molienda fina (Perten 3610, Suecia); con las cuales se prepararon suspensiones en una solución de inhibidora de AgNO₃ (0.002 mol/L) con una concentración del 10% (p/v) para exponerlas a calentamiento y enfriamiento. Cada suspensión se calentó desde 50 hasta 90°C manteniendo esta última temperatura durante 5 min, posteriormente se enfrió hasta 50°C y se mantuvo por 5 min. La velocidad de calentamiento y enfriamiento fue de 6°C/min con una agitación constante de 160 rpm.

Con estos resultados se definieron los niveles bajo y alto para el tiempo de cocción (cerca de 15 min - tiempo óptimo de cocción que asegura una modificación apropiada del almidón) para los diseños experimentales.

6.3.3. COCCIÓN

Los procesos de cocción de muestras frescas y congeladas (con y sin escaldado previo al proceso de congelación) se realizaron a 95°C en planchas de cocción (Thermo Scientific, EUA) durante tiempos entre 1 y 24 min, establecidos por el Diseño Central Compuesto Rotable. Se utilizaron beakers de vidrio de 1000 mL y 800 mL de agua desionizada, como se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Proceso de cocción de muestras de batata. Fuente: El autor

6.3.4. ESCALDADO

Las muestras frescas de batata se escaldaron en agua a 95°C durante 2 min, determinado mediante pruebas preliminares. Se utilizaron planchas de cocción (Thermo Scientific, EUA) utilizando beakers de vidrio de 1000 mL y 800 mL de agua desionizada.

6.3.5. CONGELACIÓN

Las muestras frescas (con y sin escaldado) y cocidas se empacaron en bolsas de cierre hermético identificadas según el tratamiento y se congelaron hasta que su centro geométrico alcanzó -40°C (Figura 7), para ello se empleó un equipo de ultracongelación a -80°C (Thermo Fisher Scientific ULT2586-9SI-A38, 691 litros, EUA). Se trabajó con una velocidad de congelación rápida (aprox. $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$) para promover la formación y distribución de pequeños cristales de hielo y minimizar el daño tisular y la pérdida de agua durante la descongelación.

Una vez congeladas, las muestras se almacenaron a -18°C en un congelador comercial (Electrolux FE26, Colombia) de acuerdo al diseño experimental en un intervalo entre 1 y 72 días.

6.3.6. DESCONGELACIÓN

Para la evaluación de las variables de respuesta relacionadas a los parámetros de calidad (textura, color, pérdida de fase líquida y variación de volumen), las muestras se descongelaron a 8°C en una nevera comercial (Whirlpool Company, Italia) durante 18 h para evitar la presencia de hielo (Ayala y Cadena, 2014).

6.3.7. MACERADO

Las muestras obtenidas después de cada proceso se maceraron en un procesador de alimentos (Grindomix Retsch GM200, Alemania) para obtener un puré o masa suave, que fue evaluada posteriormente para determinar sus características viscoelásticas y nutricionales (contenido de beta-caroteno).



Figura 7. Muestras empacadas para congelación hasta -40°C . Fuente: El autor

6.4. DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES RESPUESTA

6.4.1. PÉRDIDA DE FASE LÍQUIDA

La cantidad de fase líquida perdida después de la descongelación de las muestras se valoró mediante la toma de peso de cada muestra antes y después de la congelación. La variación de peso

o pérdida de fase líquida (Δm) expresada en fracción se calculó mediante la Ecuación 1 (Ayala y Cadena, 2014); este peso se determinó mediante balanza analítica (Ohaus, EUA).

$$\Delta m = \frac{M_f - M_i}{M_i} \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde: M_i : Masa del producto antes de congelación y M_f : Masa del producto descongelado.

6.4.2. CAMBIOS DE VOLUMEN

La variación del volumen (ΔV) se determinó midiendo en cada muestra su diámetro y su altura antes de la congelación y después de la descongelación. Las medidas se realizaron por triplicado tomando tres puntos a 120° de la circunferencia de la muestra, mediante el uso de un pie de rey. El cambio de volumen se calculó con la Ecuación 2.

$$\Delta V = \frac{V_f - V_i}{V_i} \quad (\text{Ec. 2})$$

Dónde: V_i : Volumen de la muestra antes de congelación y V_f : Volumen de la muestra descongelada.

6.4.3. COLOR

La medida de color se determinó usando un colorímetro digital (Konica Minolta CR-410, Japón), utilizando como referencia el iluminante C para obtener por el método de reflectancia las coordenadas de color L^* , a^* y b^* , también llamado CIELAB. En este espacio, L^* indica luminosidad y a^* y b^* son las coordenadas de cromaticidad; así $L^*=0$ significa negro y $L^*=100$ blanco, a^* significa variaciones de tonalidad entre verde y rojo (valores negativos indican verde mientras que positivos indican rojo) y b^* significa variaciones entre amarillo y azul (valores negativos indican azul y valores positivos amarillo).

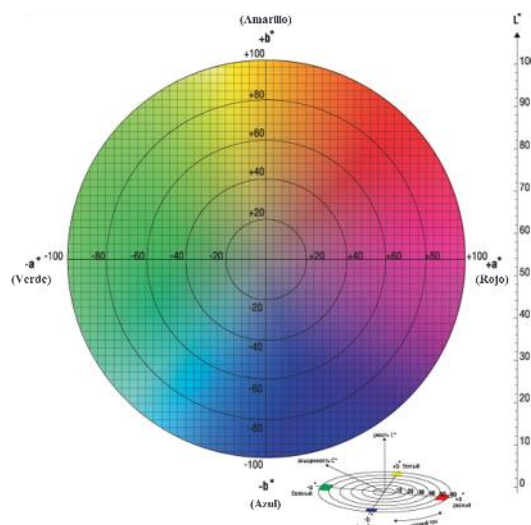


Figura 8. Diagrama de cromaticidad del espacio de color $L^*a^*b^*$.

Fuente: Konica Minolta Sensing Inc.

Por cada tratamiento, se realizaron lecturas a 5 cilindros de batata a temperatura ambiente, estandarizando las medidas con respecto a la placa de calibración blanca.

Con las coordenadas obtenidas se estimaron las diferencias de color (ΔE), la croma o pureza de color (C^*) y el ángulo del tono (h) para las muestras de batata fresca y después de cada tratamiento térmico, como se muestran respectivamente en las Ecuaciones 3, 4 y 5 (Konica Minolta Sensing, 2003).

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L^*)^2 + (a_0 - a^*)^2 + (b_0 - b^*)^2} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (\text{Ec. 4})$$

$$h = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad (\text{Ec. 5})$$

El valor de la croma C^* es 0 en el centro y aumenta de acuerdo con la distancia respecto al centro. El ángulo del tono h se define como comenzando en el eje $+a^*$ y se expresa en grados: 0° sería $+a^*$ (rojo), 90° sería $+b^*$ (amarillo), 180° sería $-a^*$ (verde) y 270° sería $-b^*$ (azul).

6.4.4. TEXTURA

El análisis de textura de las muestras cilíndricas de batata en fresco y tratadas se realizó mediante un texturómetro (Stable Micro Systems TAxT2, Reino Unido) con el programa Texture Expert Exceed para WindowsTM (versión 2.61) utilizando una célula de carga de 25 Kg.

Se realizaron pruebas de compresión uniaxial con una sonda cilíndrica de aluminio de 40 mm (SMS P/40). Las muestras cilíndricas se comprimieron a una velocidad de deformación de 60 mm/min hasta el 20% de su altura inicial para obtener la fuerza (N) y la distancia (mm) en función del tiempo. Se llevaron a cabo 5 mediciones por cada tratamiento y los resultados se expresaron como media.

Los valores experimentales de fuerza-distancia se convirtieron a esfuerzo-deformación utilizando las Ecuaciones 6 y 7. El esfuerzo se calculó considerando que el volumen de la muestra permanece constante durante el ensayo (Ayala y Cadena, 2014).

$$\sigma = \frac{F(t)}{A(t)} = \frac{F(t)}{\pi r^2 L_0} (L_0 - d(t)) \quad (\text{Ec. 6})$$

$$\varepsilon_H = \ln \left[\frac{L_0}{L_0 - d(t)} \right] \quad (\text{Ec. 7})$$

Dónde, σ : Esfuerzo; ε_H : Deformación; $F(t)$: Fuerza ejercida sobre la muestra; $A(t)$: Área de la sección transversal de contacto de la muestra; r : Radio de la muestra; L_0 : Altura inicial de la muestra y d : Distancia a un tiempo t de compresión (mm).

A partir de las gráficas generadas con los valores del esfuerzo (σ) y la deformación (ϵ_H) se obtuvo el módulo de elasticidad (E_d) para cada muestra y series de ensayos.

Se realizaron también pruebas de cizallamiento-corte utilizando una cuchilla Craft (HDP/BSK Blade Set with Knife) a lo largo del eje longitudinal de los cilindros, el test se desarrolló a una velocidad de penetración de 60 mm/min y una detección de cinco gramos (Figura 9).

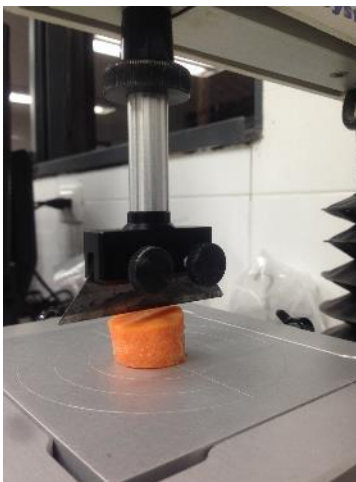


Figura 9. Prueba de cizallamiento-corte de los cilindros de batata. Fuente: El autor

La textura de las muestras se evaluó a partir de determinaciones de firmeza obtenidas como fuerza máxima de corte (g), a partir del análisis de los datos por medio de una macro de trabajo en el software Texture Expert Exceed (Gibert *et al.*, 2010). Se seleccionó (mediante pruebas preliminares) una profundidad de corte de 7 mm, 50% de su altura inicial, como la profundidad óptima a la cual se tomó el dato de firmeza para evaluar el cambio de textura de los cilindros de batata durante los procesos térmicos combinados.

6.4.5. REOLOGÍA DINÁMICA

Los ensayos reológicos se llevaron a cabo en un reómetro dinámico (Bohlin Rheology CVO, Suecia) a esfuerzo controlado. De forma general se utilizó como sistema de medida la geometría de platos paralelos lisa (PP40, 40 mm) con un GAP de 1000 μ m. Mediante pruebas preliminares de barrido de amplitud o de esfuerzo de cizalla a una frecuencia de 1 Hz, se determinó el intervalo de frecuencia en la extensión del dominio viscoelástico lineal.

Se realizaron experimentos de cizalla oscilatorios a 25°C sobre las muestras con un intervalo de frecuencia entre 0.1 y 10 Hz y con deformaciones de 10^{-4} . El control de la temperatura de la muestra en el reómetro se llevó a cabo con un sistema “Peltier Plate” que es muy adecuado para su utilización con la geometría de medida de platos paralelos. Para evitar la deshidratación de las muestras durante las pruebas reológicas dinámicas se aplicó aceite lubricante en el borde de las muestras. El análisis de las muestras se realizó por triplicado.

De los ensayos oscilatorios se obtuvieron los parámetros reológicos dinámicos para las masas de batata obtenidas de cada tratamiento: G' (módulo de almacenamiento asociado al carácter elástico), G'' (módulo de pérdida, asociado al carácter viscoso), G^* (módulo complejo) y δ (ángulo de fase).



Figura 10. Ensayos oscilatorios de masas de batata. Fuente: El autor.

6.4.6. CONTENIDO DE BETA-CAROTENO

El procedimiento analítico general para el análisis de carotenoides consistió en:

- Muestreo y preparación de la muestra
- Extracción
- Lavado de solventes
- Concentración y filtración
- Separación cromatográfica
- Identificación y cuantificación

La extracción de carotenos se realizó según metodología modificada por Ceballos *et al.* (2012). A partir de las masas de batata elaboradas con cada tratamiento se hizo la extracción de los carotenoides con solventes orgánicos (éter de petróleo y acetona), la fase orgánica se separó por centrifugación a 10°C (Eppendorf 5804R, Alemania) y se extrajo hasta que los residuos se volvieron incoloros. Los extractos recolectados fueron lavados con solución salina (NaCl 0.1N) para remover la acetona residual del extracto etéreo y finalmente concentrados con nitrógeno gaseoso para continuar con la cuantificación de los carotenos. Con el fin de minimizar la pérdida de carotenoides se evitó durante todo el procesamiento la exposición de la muestra a la luz ultravioleta, trabajando en un área especial con luz amarilla de sodio.

La identificación y cuantificación de los carotenoides se realizó mediante Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC Agilent 1200 series, Alemania). Para su separación y cuantificación se empleó una fase móvil (A: Metanol/Acetato amonio pH 4.6 (98:2); B: Metil Tert-Butil Eter; Gradiente: A/B (85:15) - 20 min (40:60)) y una columna C30 YMC Carotenoid 25°C, utilizando un detector DAD a una longitud de onda de 450 nm, volumen de inyección 10 μ L y flujo de 0.66 mL/min. La cuantificación de carotenos totales por HPLC se realizó utilizando la suma de todas las áreas reportadas en el cromatograma a 450 nm.

La técnica por HPLC permite la cuantificación de la concentración de los diferentes pigmentos carotenoides. Debido a su prevalencia y relevancia nutricional, se analizó especialmente el *all-trans*- β -caroteno por ser la provitamina A más importante en términos de bioactividad, a la cual se le asigna un 100% de actividad (Rodríguez-Amaya, 1999).

La retención aparente del caroteno fue calculada mediante la Ecuación 8 (Rodríguez-Amaya y Kimura, 2004).

$$\% \text{ Retención} = \frac{\text{Contenido de caroteno por gramo de producto cocido (DM)} \times 100}{\text{Contenido de caroteno por gramo de producto fresco (DM)}} \quad (\text{Ec. 8})$$

Debido a que los carotenoides absorben en forma máxima a diferentes longitudes de onda y tienen diferentes coeficientes de absorción, los resultados obtenidos de la normalización (porcentajes de área) se consideraron como proporciones relativas aproximadas. Sin embargo, para la ciencia de alimentos y para propósitos nutricionales, los resultados son sólo útiles si se presentan en términos de concentración, es decir, peso de la provitamina por unidad de peso de la muestra.

6.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados obtenidos de las diferentes variables (pérdida de fase líquida, variación de volumen, medidas de color, parámetros reológicos y de textura, y contenido de beta-caroteno) se estudiaron estadísticamente mediante análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey empleando el programa estadístico Minitab 16, el nivel de confiabilidad empleado fue del 95%.

Los resultados del Diseño Central Compuesto Rotable (DCCR) de la metodología de superficies de repuesta se procesaron también mediante análisis de varianza (ANOVA) con el programa estadístico Minitab 16, fijándose un nivel de significación de 5% para los parámetros estudiados.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. CURVAS DE EMPASTAMIENTO

A partir de las curvas de viscosidad contra tiempo/temperatura, se obtuvo información útil para determinar aspectos como el tiempo de inicio de gelatinización, viscosidad máxima, inestabilidad del gel, índice de gelificación y facilidad de cocción (Figura 11). Los resultados se resumen en la Tabla 6.

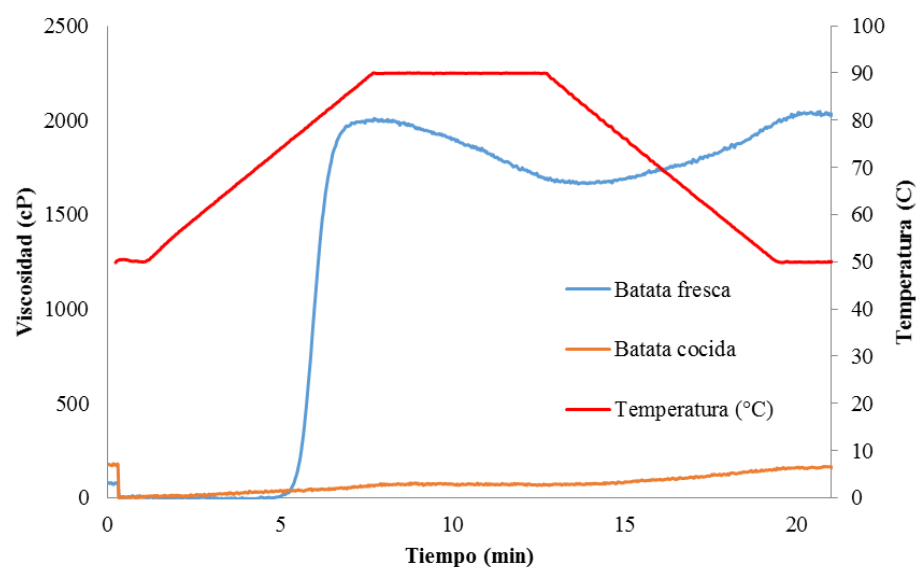


Figura 11. Curvas de empastamiento de batata fresca y cocida. Fuente: El autor

Tabla 6. Propiedades del gel en empastamiento de muestras de batata.

Muestra	Temperatura de gelatinización (°C)	Viscosidad máxima (cP)	Tiempo de viscosidad máx. (min)	Inestabilidad del gel (cP)	Índice de gelificación (cP)
Batata fresca	75.4	2009.0	7.9	304.5	324.0
Batata cocida	59.2	79.0	9.1	10.5	92.5

Fuente: El autor

De los resultados obtenidos se observa una clara tendencia de gelatinización del almidón presente en la batata fresca, con una temperatura de inicio de la gelatinización de 75°C y con una viscosidad máxima de 2009 cP. Por otro lado la muestra de batata cocida durante 15 min presentó una menor temperatura de inicio de la gelatinización (59°C) y desarrolló muy baja viscosidad durante la

prueba presentando un valor máximo de 79 cP. Esto indica que el almidón presente en la batata cocida ya había presentado una pregelatinización.

La inestabilidad del gel se relaciona con la fragilidad y la solubilidad de los gránulos de almidón hinchados, y es un indicador de la pérdida o disminución de la viscosidad después de haber alcanzado un pico máximo. La batata fresca fue más inestable con un valor de 304 cP, mientras que la cocida presentó una inestabilidad bastante baja (10 cP). El índice de gelificación se relaciona con la retrogradación de las moléculas de almidón (amilosa principalmente). La batata fresca mostró un mayor valor del índice de gelificación (324 cP) comparada con las pastas formadas con la batata cocida (92 cP), mostrando ser estables con poca tendencia a la retrogradación. Este mismo comportamiento se ha reportado en diferentes productos de batata, tales como almidones de 44 genotipos de batata (Collado *et al.*, 1999), harinas y almidones de batata de piel blanca y roja (Osundahunsi *et al.*, 2003), harinas y almidones de batata de pulpa anaranjada y púrpura afectada por procesos de escaldado (Jangchud *et al.*, 2003), y harina tradicional (“elubo”) y masa cocida de batata (“amala”) muy consumidas en Nigeria (Fetuga *et al.*, 2014).

7.2. PÉRDIDA DE FASE LÍQUIDA Y CAMBIOS DE VOLUMEN

Los resultados de cambios físicos como pérdida de fase líquida (Δm) y variación del volumen (ΔV), durante el almacenamiento en congelación de las muestras de batata sometidas a los diferentes procesos evaluados, se presentan en el Anexo B.

7.2.1. PÉRDIDA DE FASE LÍQUIDA

En la Figura 12 se presentan las gráficas de superficie de respuesta y de contorno obtenidas del análisis de los tres procesos térmicos combinados. A mayores tiempos de cocción y de congelación se observa un incremento de Δm en los procesos 1 (C+F) y 2 (F+C), de más de un 3% y cerca de un 5% respectivamente, en muestras con congelaciones mayores a 70 días. Por otra parte en el proceso 3 (B+F+C), se presentó menor pérdida de fase líquida (<3%) en las muestras previamente escaldadas con igual tiempo de congelación.

De acuerdo a los resultados del ANOVA ($p < 0.05$) la congelación tuvo un efecto significativo en los procesos 1 y 3 (lineal y cuadrático) sobre la pérdida de fase líquida, mientras que la cocción no presentó efecto significativo. En el proceso 2 la cocción y la congelación indicaron efectos significativos sobre Δm , adicionalmente la congelación tuvo un efecto cuadrático (Anexo C).

Los gránulos de almidón formados por amilosa y amilopectina en una suspensión fría tienden a hincharse, reteniendo agua, y a una cierta temperatura gelatinizan espesando el líquido. Cuando este gel está en reposo, las cadenas lineales de amilosa se agregan como si cristalizaran y liberan parte del agua previamente retenida en su estructura, en un proceso llamado sinéresis. Así, el efecto negativo del tiempo de congelación está relacionado con el crecimiento de los cristales de hielo provocado por fluctuaciones cuando el tiempo aumenta. Ello podría causar ruptura de la estructura celular del tejido y originar una mayor pérdida de fase líquida (Álvarez *et al.*, 2005).

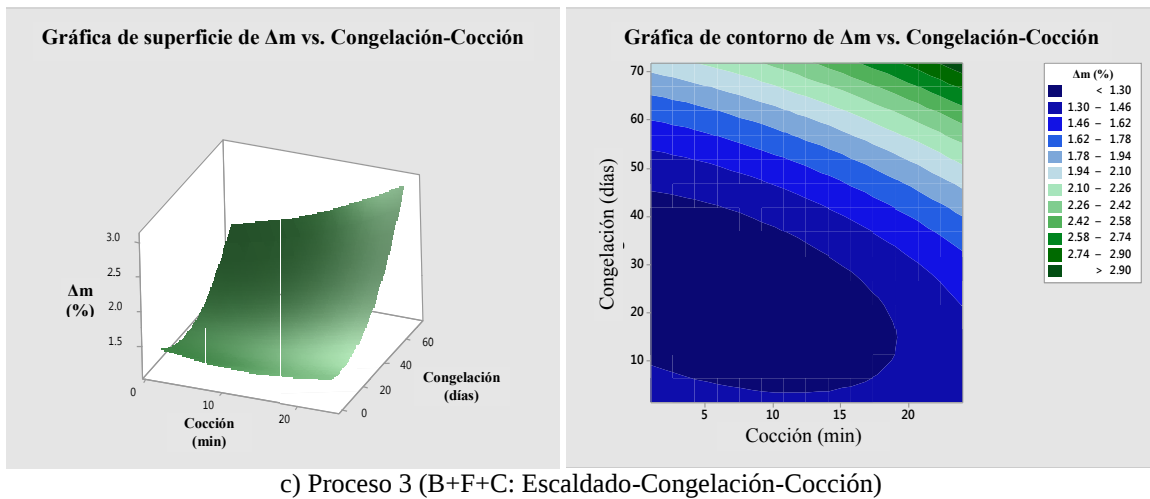
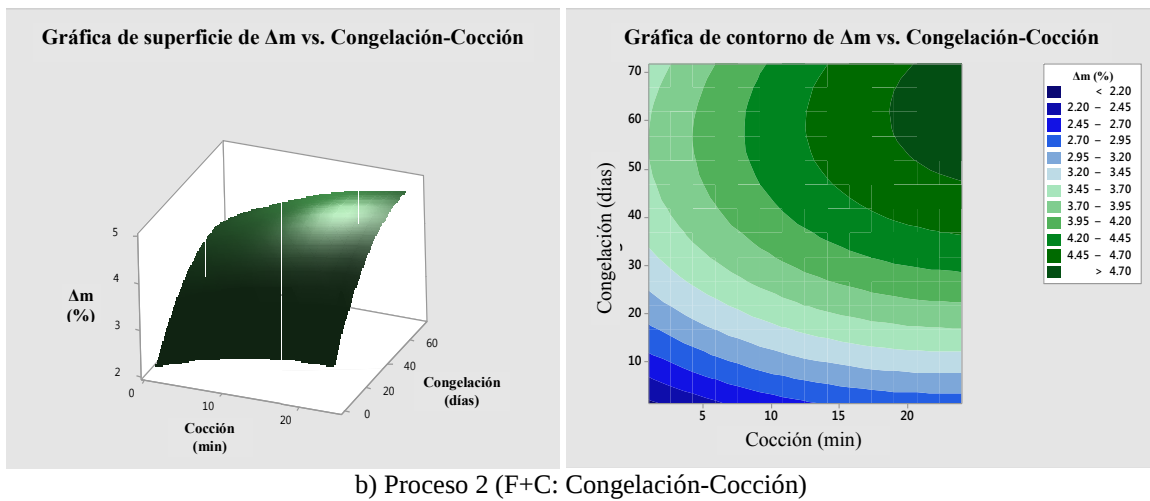
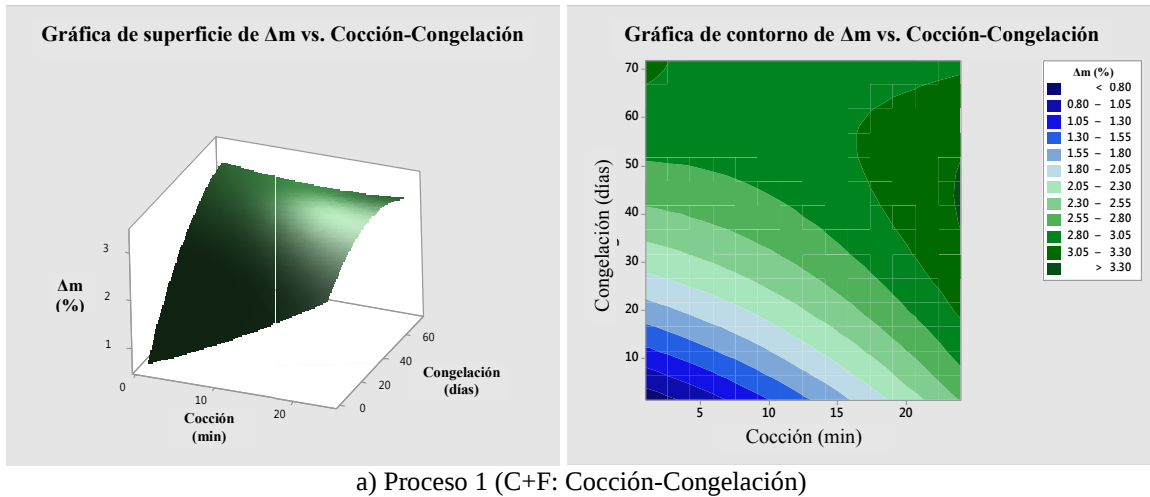


Figura 12. Gráficas de superficie de respuesta en función de los tiempos de cocción y congelación de la pérdida de fase líquida (Δm) para los tres procesos evaluados.

Fuente: El autor

El incremento de la pérdida de fase líquida durante el tiempo de almacenamiento en congelación fue similar a lo reportado por Hernández-Medina *et al.* (2008), quienes evaluaron la estabilidad a la congelación de tubérculos mexicanos, presentando una mayor sinéresis conforme pasaron los días de almacenamiento, en almidones de makal, sagú, batata y yuca.

Por otra parte, la menor pérdida de fase líquida de las muestras escaldadas, puede estar asociada a una pregelatinización del almidón, y con ello al aumento de la capacidad de retención de agua en la estructura del gel. Por el contrario, las muestras que no fueron escaldadas presentaron una baja estabilidad a los procesos de congelación y descongelación, ocasionando una mayor pérdida del agua atrapada en el gel. Adicionalmente, aunque el escaldado previo a la congelación ejerce un efecto sobre los gránulos de almidón y sustancias pécticas del tejido, con una velocidad de congelación más rápida las células son relativamente pequeñas y también los espacios intercelulares, lo cual también puede explicar una textura final de los productos congelados más firme que sin pretratamiento. Un comportamiento similar con respecto a la pérdida de fase líquida se observó en harinas de yuca, batata y ñame (Techeira *et al.*, 2014).

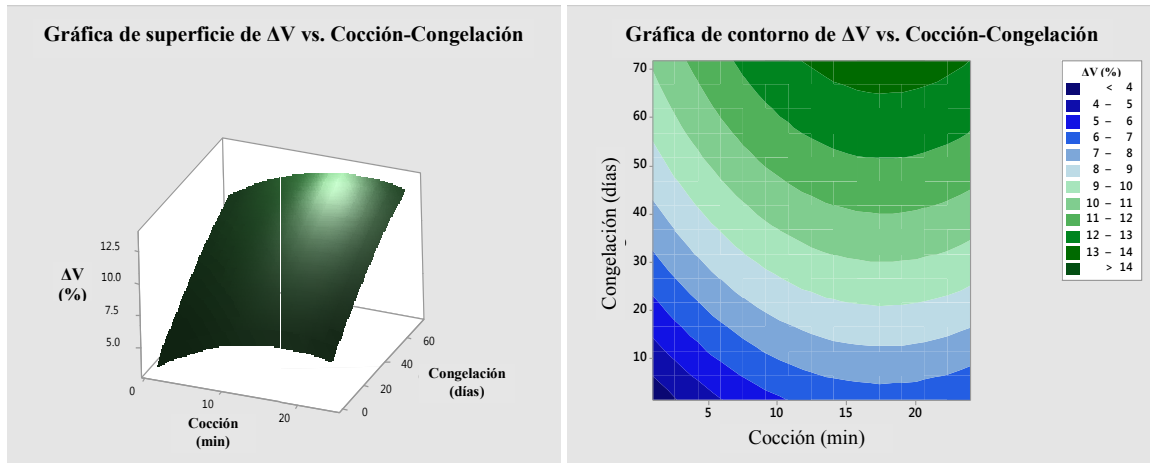
7.2.2. CAMBIOS DE VOLUMEN

De las gráficas de superficie de respuesta y de contorno (Figura 13), se observa para todos los procesos evaluados un incremento en el cambio de volumen (disminución) a mayores tiempos de congelación. Valores máximos de ΔV se presentaron independiente del tiempo de cocción, en tiempos de congelación mayores a 70 días en muestras cocidas-congeladas y congeladas-cocidas con una variación de volumen de 14 y 21% respectivamente, mientras que las muestras escaldadas-congeladas-cocidas presentaron un 13%. En la Figura 14 se observan las diferencias de volumen de muestras de batata derivadas de los tratamientos evaluados y obtenidas después de la descongelación.

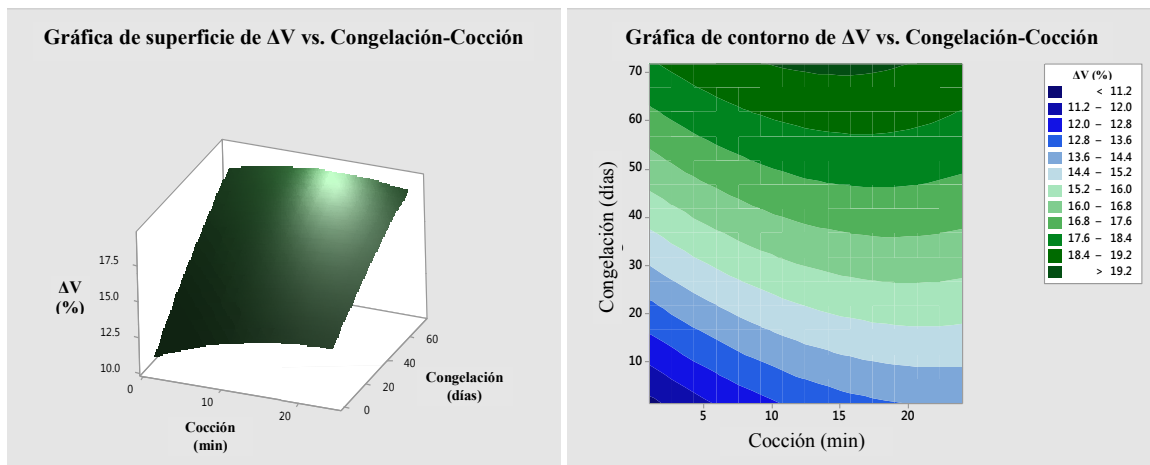
El ANOVA mostró que la cocción y la congelación tienen un efecto significativo ($p < 0.05$) en el cambio de volumen para los procesos 2 y 3, mientras que en el proceso 1 solo la congelación presentó un efecto significativo (Anexo C).

Este comportamiento en la disminución del volumen está asociado con el aumento en la pérdida de fase líquida durante la congelación, debido al proceso de recristalización del hielo. De acuerdo con Bany y Fingen (2008) las pérdidas de agua en un alimento provocan daños en la estructura generando encogimiento y cambios en su microestructura.

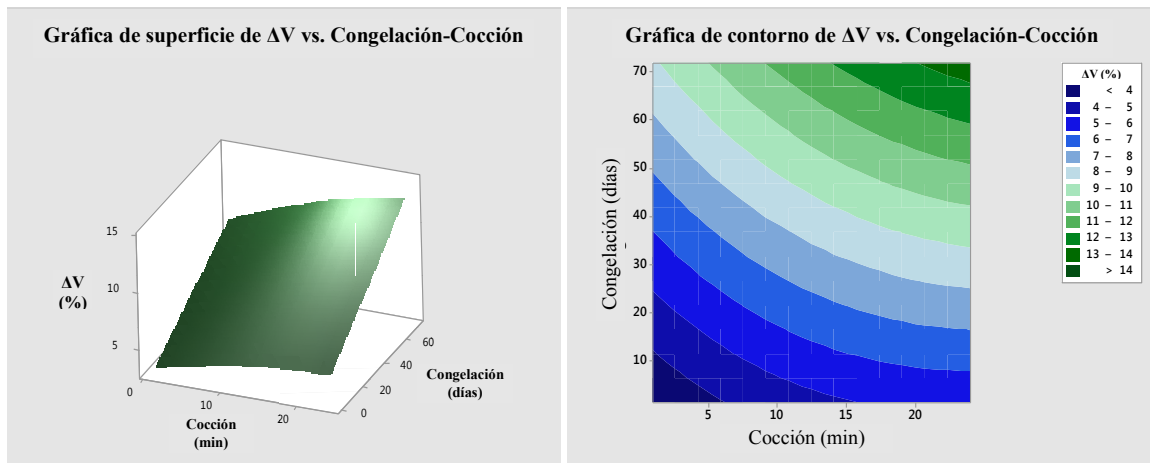
Los tejidos vegetales como la batata, poseen una estructura celular semirígida, y la estructura de su pared celular es menos elástica que la membrana celular, por lo que dichos tejidos muestran menos resistencia a la expansión de cristales de hielo en volumen, de modo que están expuestos a sufrir daño por los cristales de hielo formados en la congelación. Sin embargo, al realizar el escaldado y al utilizar una alta velocidad de congelación, la intersección de la nucleación heterogénea y el crecimiento de los cristales de hielo, da lugar a la formación de cristales intracelulares pequeños y numerosos, variando el tamaño de los mismos inversamente al número de núcleos, produciéndose una mínima migración del agua a los lugares de cristalización, lo que causa menor daño mecánico en la estructura celular del producto y, consecuentemente una menor pérdida de volumen (Canet *et al.*, 2007; Fennema, 2009).



a) Proceso 1 (C+F: Cocción-Congelación)



b) Proceso 2 (F+C: Congelación-Cocción)



c) Proceso 3 (B+F+C: Escaldado-Congelación-Cocción)

Figura 13. Gráficas de superficie de respuesta en función de los tiempos de cocción y congelación de la variación de volumen (ΔV) para los tres procesos evaluados.

Fuente: El autor

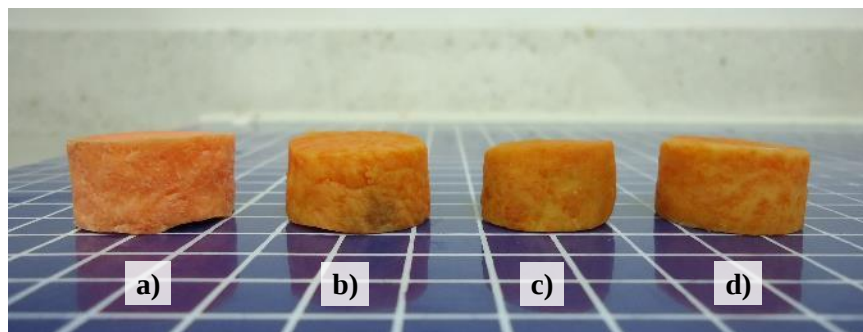


Figura 14. Cambios de volumen de muestras de batata sometidas a los procesos evaluados.
a) Fresca. b) Proceso 1 (C+F: cocción-congelación). c) Proceso 2 (F+C: congelación-cocción).
d) Proceso 3 (B+F+C: escaldado-congelación-cocción).

Fuente: El autor

En general, los cambios físicos que afectan la calidad de productos vegetales congelados como la batata, son consecuencia de fenómenos de recristalización y de sublimación, relacionados con la estabilidad de los cristales de hielo en el interior y en la superficie del producto. Adicionalmente, durante la descongelación la humedad se separa fácilmente de la matriz del alimento y el agua procedente de los cristales de hielo no vuelve a su localización inicial, dando lugar a un ablandamiento de la textura, exudado y a menudo, a un deterioro inevitable de la calidad.

7.3. COLOR

Los resultados fueron compilados para los tres procesos evaluados y los valores promedio de los correspondientes parámetros de color se presentan en el Anexo D.

7.3.1. LUMINOSIDAD

De las gráficas de superficie de respuesta y de contorno (Figura 15) se observa que los valores de luminosidad (L^*) de las muestras del proceso 1 (C+F) aumentaron a mayores tiempos de congelación, especialmente con tiempos de cocción previos menores a 5 min y mayores a 20 min; mientras que en los procesos 2 (F+C) y 3 (B+F+C), L^* aumentó en las muestras sometidas a tiempos de congelación mayores de 60 días seguidos de una cocción en un tiempo corto (<5 min).

Los resultados del ANOVA ($p < 0.05$) del proceso 1 indicaron que la congelación tiene un efecto significativo sobre L^* y la cocción un efecto cuadrático, mientras que en el proceso 2 la cocción presentó un efecto significativo sobre L^* y la congelación mostró un efecto cuadrático; finalmente los resultados del proceso 3 mostraron que tanto la congelación como la cocción tienen un efecto significativo sobre L^* , adicionalmente la cocción presentó un efecto cuadrático (Anexo E).

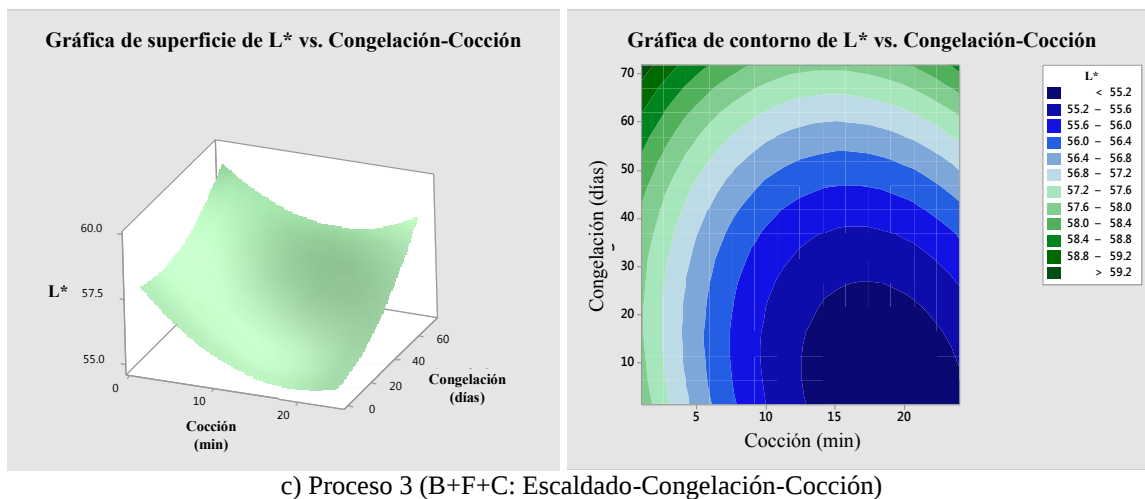
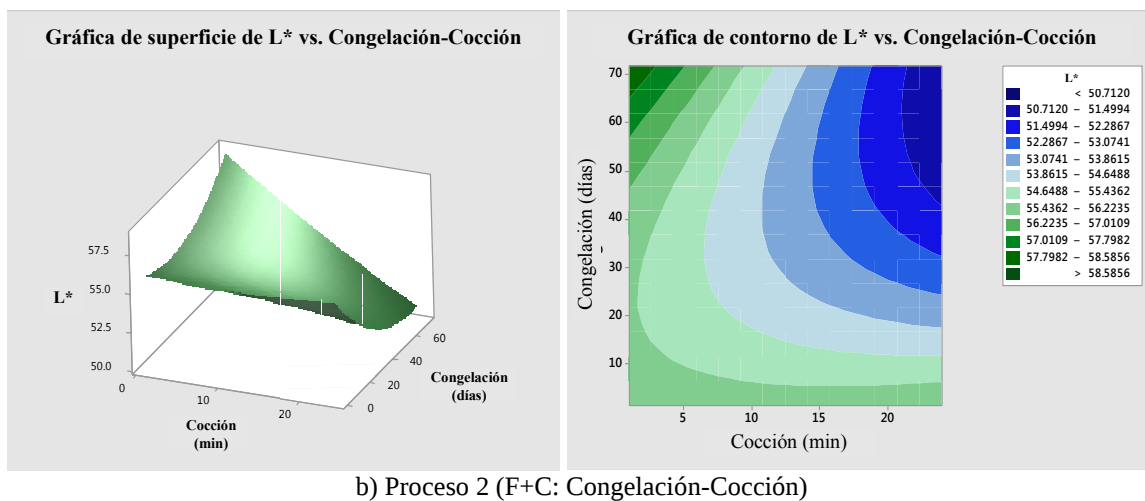
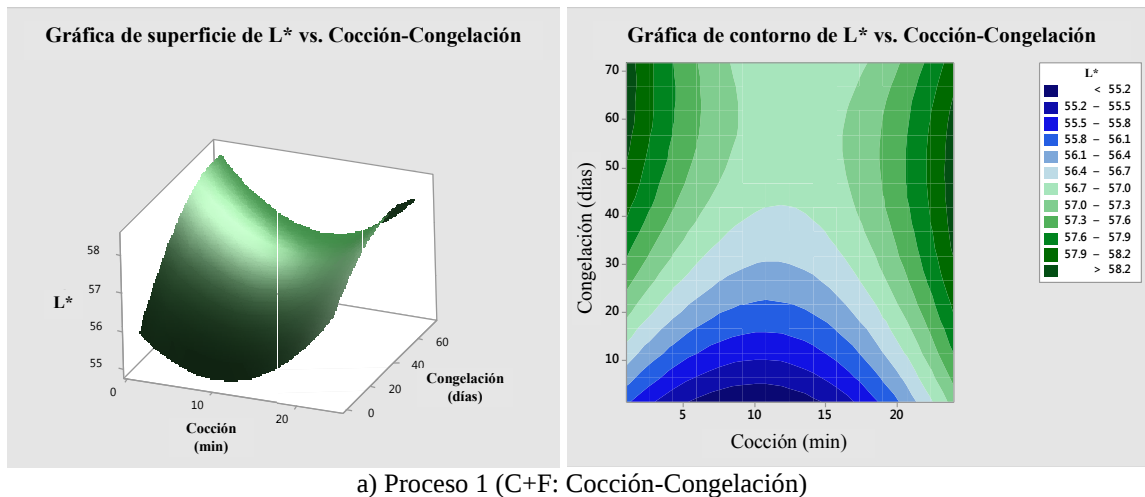


Figura 15. Gráficas de superficie de respuesta en función de los tiempos de cocción y congelación del parámetro luminosidad (L^*) para los tres procesos evaluados.

Fuente: El autor

Adicionalmente se encontró que la batata fresca presentó una L^* de 70, y después de la cocción de 15 min (tratamiento control) disminuyó a 56. Comparando estos valores con los resultados de los procesos combinados se observó un incremento de L^* en la mayoría de los tratamientos de los procesos 1 (C+F) y 3 (B+F+C), lo que indica una muestra control más oscura que las muestras cocidas-congeladas, y que las muestras escaldadas-congeladas-cocidas. Por otra parte, en el proceso 2 (F+C) se observa que L^* disminuyó en la mayoría de los tratamientos, lo que significa muestras congeladas por más de 15 días y posteriormente cocidas más oscuras que la muestra control.

Por lo tanto, la realización de un escaldado preliminar a la congelación-cocción, da lugar a muestras de batata con un color más claro, lo cual evidencia el efecto positivo que tiene el escaldado disminuyendo las diferencias en la luminosidad existentes entre las muestras de batata cocida y congelada-cocida (Figura 16).

El color más oscuro de los productos congelados-cocidos puede estar asociado a posibles daños mecánicos (cristales de hielo y expansión de volumen) causados por el proceso de congelación/descongelación que pueden desintegrar la membrana frágil de las clorofilas y carotenoides y facilitar su degradación oxidativa o enzimática (De Ancos *et al.*, 2006). Un comportamiento similar respecto a la luminosidad se observó en puré de durazno (Ávila y Silva, 1999) y en puré de patata sometido a procesos de escaldado y congelación/descongelación (Álvarez *et al.*, 2005).

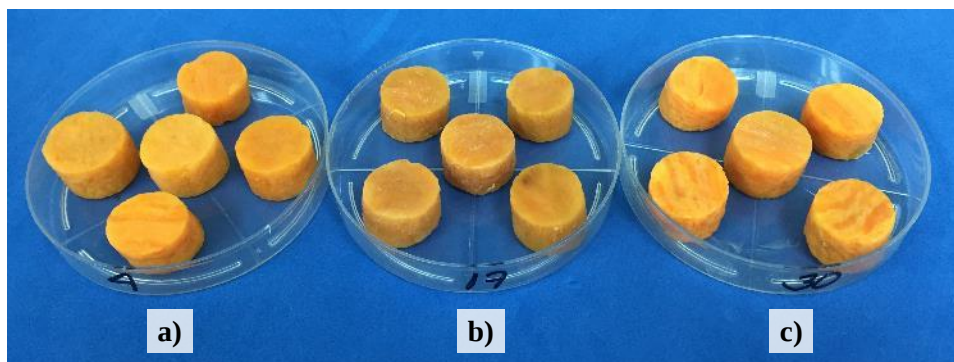


Figura 16. Cambios de color de muestras de batata sometidas a los procesos evaluados.
a) Proceso 1 (C+F: cocción-congelación). b) Proceso 2 (F+C: congelación-cocción).
c) Proceso 3 (B+F+C: escaldado-congelación-cocción).

Fuente: El autor

7.3.2. CROMA O PUREZA DE COLOR (C^*)

La croma es una medida de la intensidad del color, completamente independiente del tono y la luminosidad. Un valor alto de la croma indica un color más intenso y saturado.

En la Figura 17 se presentan los resultados de la croma o pureza de color (C^*) para las muestras obtenidas en los tres procesos evaluados. De las gráficas de superficie de respuesta y de contorno se observa que en el proceso 1 (C+F), C^* aumentó a tiempos de cocción mayores de 10 min, independiente de los días de congelación. En el proceso 2 (F+C), se observó un incremento de C^*

a mayores tiempos de congelación y tiempos de cocción menores de 10 min. En contraste, C* disminuyó a mayores tiempos de congelación y de cocción en las muestras del proceso 3 (B+F+C).

El ANOVA ($p < 0.05$) mostró en el proceso 2 efectos significativos de la cocción y la congelación sobre C*, en el proceso 3 sólo la cocción tuvo efectos significativos, mientras que en el proceso 1 ni la cocción ni la congelación tuvieron efectos significativos sobre C* (Anexo E).

Por otra parte para el tratamiento control, la croma disminuyó desde 53 en el producto fresco hasta 46 en el producto cocido después de 15 min. Esta disminución en la croma indica una pérdida de la intensidad del color en la batata, denotando un color menos saturado y más apagado después de la cocción, lo que puede ser un indicador de pardeamiento. Según Arándiga y Díaz (2008) esta disminución en productos como tomate, zanahoria, batata, calabaza, entre otros, es consecuencia de la degradación de los pigmentos carotenoides, causada por la exposición a altas temperaturas, luz, oxígeno y cambio en el pH.

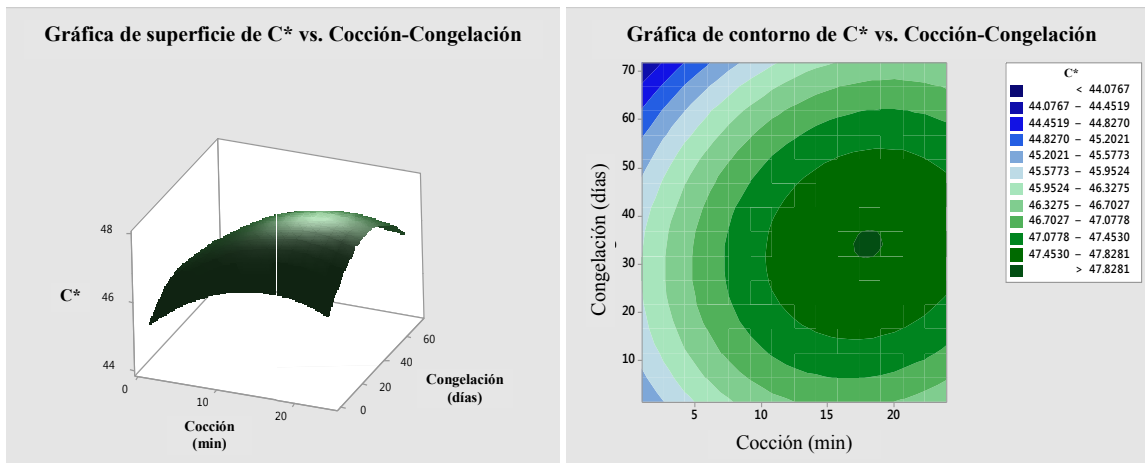
También se observó un incremento de C* en los procesos 1 (C+F) y 3 (B+F+C) lo que indica un color más saturado en la muestras de batata cocidas-congeladas y escaldadas-congeladas-cocidas que en la muestra control; por el contrario en el proceso 2 (F+C) la croma presentó una disminución en comparación con el tratamiento control. Análogamente, las muestras que fueron escaldadas antes de la congelación mostraron un incremento en la croma en comparación con las muestras sin pretratamiento. Este resultado enfatiza el potencial que puede tener la realización de un escaldado preliminar a los procesos de congelación y cocción para incrementar la pureza de color. El efecto beneficioso del escaldado como pretratamiento en la diferencia de croma, fue similar al observado en la liofilización de calabaza (Ciurzynska *et al.*, 2014).

7.3.3. ÁNGULO DEL TONO (h)

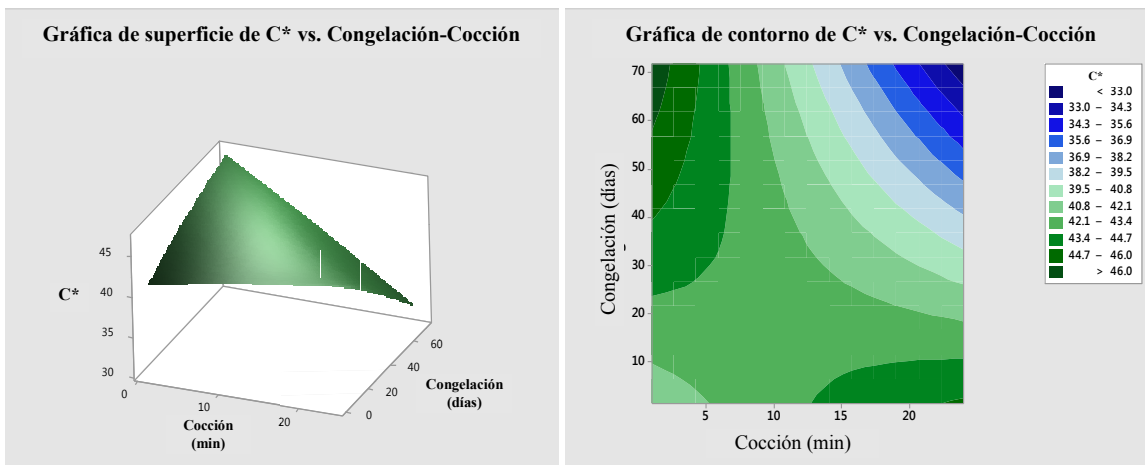
En este estudio, el ángulo del tono (h) orienta sobre la proporción de rojos y amarillos de las muestras frescas y sometidas a los diferentes tratamientos térmicos.

En la Figura 18 se presentan las gráficas de superficie de respuesta y de contorno de los diferentes procesos térmicos combinados para el ángulo del tono (h). En general se observa que h presentó un aumento por efecto de la cocción, indicando que a mayor tiempo de cocción el h es mayor, independiente del tiempo de congelación.

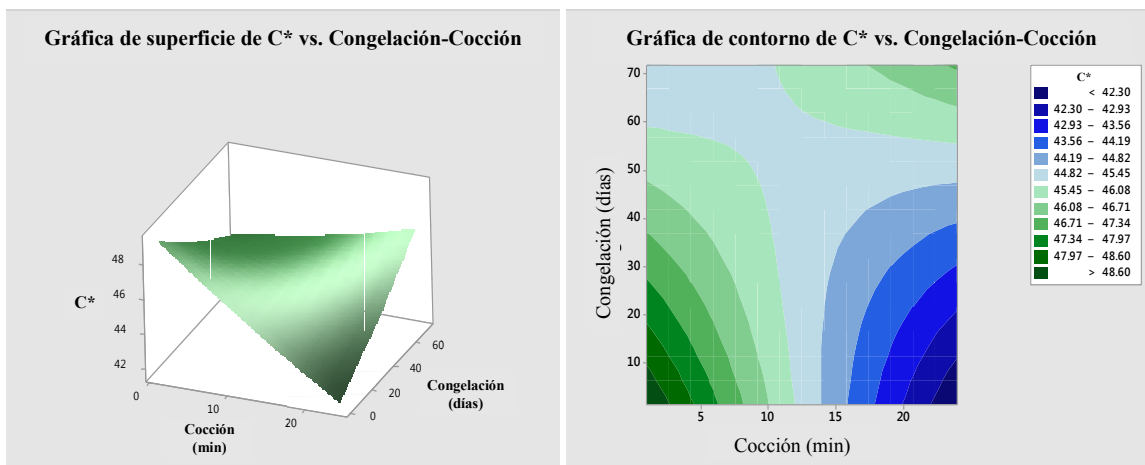
De acuerdo a los resultados del ANOVA ($p < 0.05$), en el proceso 1 la cocción tuvo un efecto lineal y cuadrático sobre h, mientras que la congelación no tuvo efectos significativos; en el proceso 2 la cocción y la congelación presentaron un efecto significativo sobre h, y la cocción tuvo un efecto cuadrático; finalmente la cocción y la congelación en el proceso 3 presentaron un efecto significativo sobre h, adicionalmente la congelación tuvo un efecto cuadrático (Anexo E).



a) Proceso 1 (C+F: Cocción-Congelación)



b) Proceso 2 (F+C: Congelación-Cocción)



c) Proceso 3 (B+F+C: Escaldado-Congelación-Cocción)

Figura 17. Gráficas de superficie de respuesta en función de los tiempos de cocción y congelación de la croma (C^*) para los tres procesos evaluados.

Fuente: El autor

Para el tratamiento control, h se incrementó de 66° en el producto fresco a 71° en el producto cocido después de 15 min. Al comparar con los resultados de los 3 procesos se observaron valores más bajos de h en todas las muestras cocidas-congeladas (proceso 1), en las muestras congeladas-cocidas (proceso 2) y también en todas las muestras escaldadas-congeladas-cocidas (proceso 3).

La reducción del tono puede deberse a una pérdida de carotenoides localizados superficialmente en la pulpa por efecto de la temperatura, acidificación y/o oxidación. A su vez debe considerarse que la temperatura de cocción modifica las membranas celulares y la pared celular permitiendo una mayor extracción de los carotenos en la pulpa cocida (Rodríguez-Amaya, 1999).

7.3.4. CAMBIO TOTAL DE COLOR (ΔE)

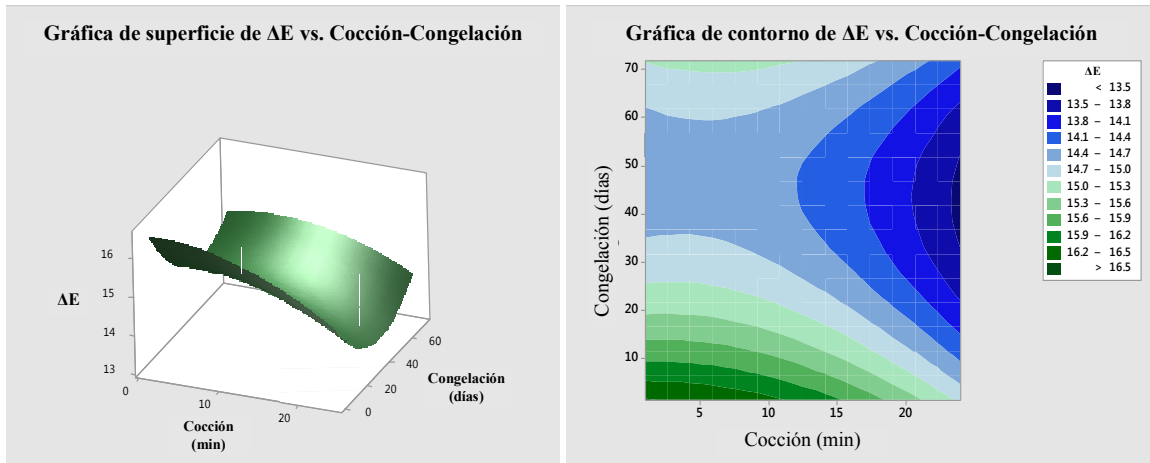
El cambio total de color (ΔE) en muestras de batata obtenidas en los tres procesos térmicos combinados se presenta en la Figura 19. En las gráficas de superficie de respuesta y de contorno se observa una disminución de ΔE en muestras del proceso 1 (C+F) con tiempos de cocción mayores de 15 min y tiempos de congelación mayores a 20 días; en el proceso 2 (F+C) la disminución de ΔE se observa a mayores tiempos de congelación y tiempos de cocción menores de 10 min; mientras que en las muestras del proceso 3 (B+F+C), ΔE disminuyó en todos los tiempos de congelación seguidos de una cocción menor a 5 min.

Los resultados del ANOVA ($p < 0.05$) para los procesos 2 y 3 indicaron efectos significativos de la cocción y la congelación sobre ΔE , mientras que para el proceso 1 dichos procesos térmicos no presentaron efectos significativos (Anexo E).

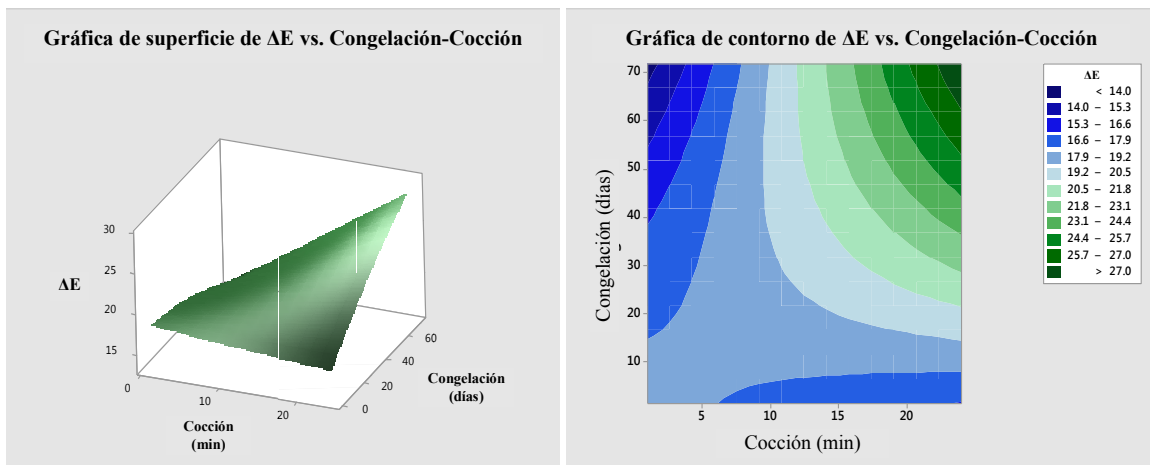
En general, el cambio total de color fue menor en los procesos 1 (C+F) y 3 (B+F+C) y mayor en el proceso 2 (F+C), comparados con el tratamiento control en el cual ΔE fue de 17 (después de una cocción de 15 min).

La comparación de las diferencias de color estimadas con el respecto al control sólo cocido, evidencia que el escaldado previo a la congelación afecta menos el color de las muestras. Este resultado coincide con el obtenido en el análisis de la luminosidad, confirmando que la congelación y la descongelación del producto tienen un efecto decisivo en el color final de la batata, siendo el proceso congelación-cocción el que presenta mayores valores de ΔE en comparación con los demás procesos o el correspondiente control.

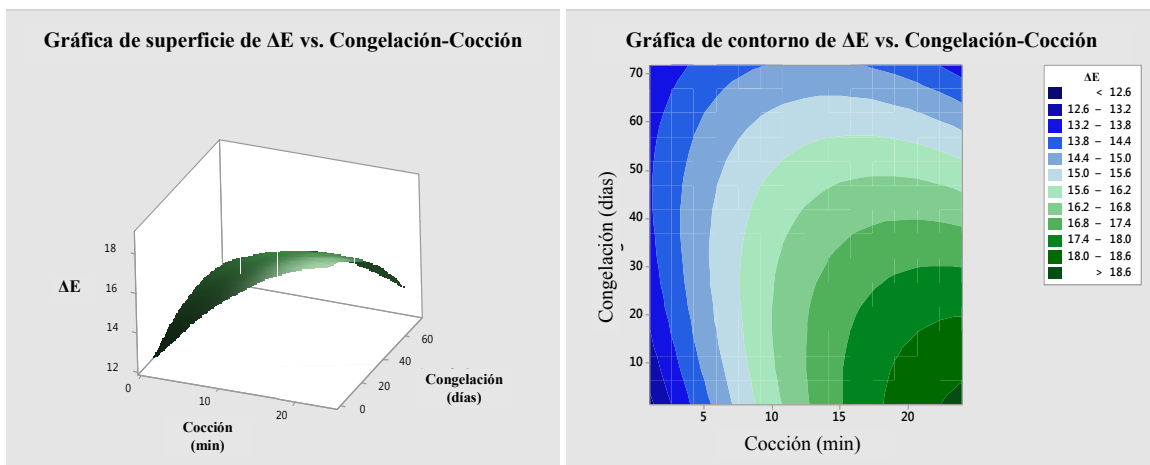
Las alteraciones de color durante la conservación de vegetales congelados como resultado de un pardeamiento enzimático son causadas por la oxidación de fenoles en presencia de oxígeno. Diversos autores han evidenciado que la realización de un escaldado previo a la congelación de la batata, influye positivamente en la prevención del pardeamiento enzimático causado por la oxidación de fenoles, disminuyendo significativamente la actividad de las polifenol-oxidasas (PPO) (Ma *et al.*, 1992; Gao *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2015; Arrázola-Paternina *et al.*, 2016).



a) Proceso 1 (C+F: Cocción-Congelación)



b) Proceso 2 (F+C: Congelación-Cocción)



c) Proceso 3 (B+F+C: Escaldado-Congelación-Cocción)

Figura 19. Gráficas de superficie de respuesta en función de los tiempos de cocción y congelación del cambio total de color (ΔE) para los tres procesos evaluados.

Fuente: El autor

En términos generales, los diferentes procesos evaluados en las muestras de batata muestran reducción de los valores de la luminosidad (L^*), los coeficientes de color rojo (a^*) y amarillo (b^*) y la croma (C^*), pero incrementan el valor del ángulo de tono (h) en las muestras, con respecto a la batata fresca. Comparando con el tratamiento control, los resultados de a^* y b^* de los procesos combinados presentaron una tendencia a disminuir (tonalidades menos rojizas) y a incrementarse (tonalidades más amarillas) respectivamente, pero se mantienen en la región entre amarillo y rojo (anaranjado).

Estos cambios de color en la batata durante el procesado térmico se pueden asociar a varias reacciones químicas tales como la isomerización y oxidación de los carotenoides, degradación de las antocianinas, caramelización de azúcares y reacciones de pardeamiento enzimático/no enzimático (K'osambo *et al.*, 1998). Resultados similares fueron reportados en el procesamiento de batata (Shao y Huang, 2008; Zaccari *et al.*, 2010; Velho, 2016), en calabaza (Ciurzynska *et al.*, 2014) y en patata (Álvarez *et al.*, 2005).

7.4. TEXTURA

En este estudio, correspondiente a tejido de raíces de batata, se observó que en las situaciones de procesado consideradas (tejido fresco, cocido, cocido-congelado, congelado-cocido, escaldado-congelado-cocido), el tiempo de cocción y el tiempo de almacenamiento en congelación tuvieron un efecto significativo en las propiedades mecánicas derivadas de los ensayos de compresión uniaxial y corte-cizallamiento. Los resultados de los parámetros de textura (módulo de elasticidad y firmeza) para los tres procesos evaluados están compilados en el Anexo F.

Los valores de los parámetros reológicos módulo de elasticidad (E_d) y firmeza, que representan la respuesta mecánica de la presión interna celular, disminuyeron en todos los procesos térmicos evaluados, en relación con la muestra fresca; por consiguiente, la presión interna celular, la relación tensión-deformación de la pared celular, y en consecuencia, la rigidez total del tejido, se ven afectados por los tratamientos térmicos.

Los cambios en los parámetros texturales de la batata se relacionan con las transformaciones en las propiedades del almidón, posiblemente con un alto porcentaje de gelatinización, el cual se asocia con una gran absorción de agua que produce hidrólisis y solubilización de la pared celular (Truong y Avula, 2010; He *et al.*, 2014; Alvis *et al.*, 2015). También hay que destacar que las propiedades texturales de la batata y de muchos otros vegetales y verduras, dependen de la presencia de sustancias pécticas que son parte del material intercelular, como la enzima pectinmetilesterasa (PME), que durante el procesado se solubiliza más fácilmente que otros polímeros de la pared celular, dando lugar a una disminución de la adhesión intercelular, que posteriormente contribuye a la degradación de la textura (Van Dijk *et al.*, 2002; Walter *et al.*, 2003; He *et al.*, 2014).

En síntesis, los cambios de textura en los vegetales como la batata dependen de varios factores: la gelatinización del almidón, la degradación de la pectina, la ruptura de la pared celular y la separación de las células. Estos fenómenos se traducen en una marcada disminución de la rigidez, dureza y firmeza del tejido.

7.4.1. MÓDULO DE ELASTICIDAD

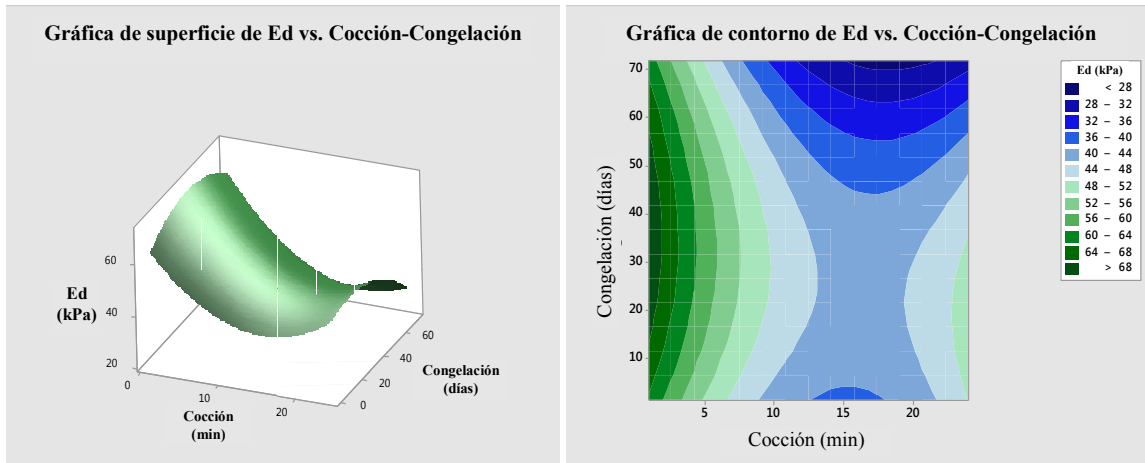
El módulo de elasticidad (E_d) de los tres procesos térmicos combinados se presenta en la Figura 20. De acuerdo a las gráficas de superficie de respuesta y de contorno, se observa que para los procesos 1 (C+F) y 2 (F+C) E_d presentó una disminución a mayores tiempos de cocción y de congelación, mientras que en el proceso 3 (B+F+C) E_d disminuyó en las muestras previamente escaldadas con tiempos de congelación mayores a 40 días. Valores mínimos de E_d se presentaron en todas las muestras con tiempos de cocción mayores a 15 min.

Los resultados del ANOVA ($p < 0.05$) indicaron que para todos los procesos la cocción y la congelación tienen un efecto significativo (lineal y cuadrático) sobre el módulo de elasticidad (Anexo G).

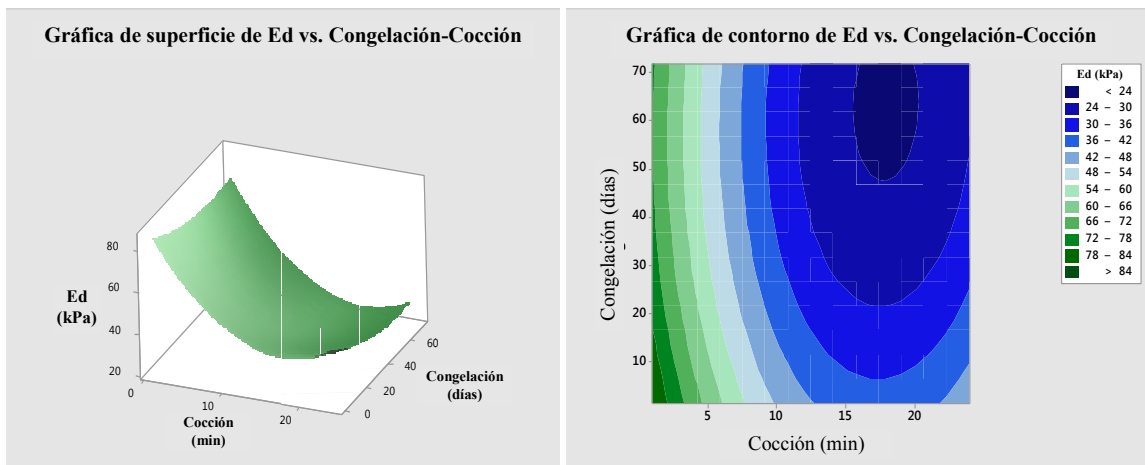
Para el caso del tratamiento control, el módulo de elasticidad disminuyó de 186 kPa (producto fresco) a 64 kPa (producto sometido a cocción por 15 min). Con base en el resultado del tratamiento control, se observa que en general las muestras cocidas-congeladas (proceso 1), congeladas-cocidas (proceso 2) y las muestras escaldadas-congeladas-cocidas (proceso 3) presentaron menores valores de E_d con respecto a las muestras solo cocidas. No obstante, se observa que E_d aumentó ligeramente en las muestras obtenidas bajo condiciones de 1 min de cocción y 37 días de congelación, en los tres procesos estudiados. Este aumento del módulo de elasticidad en las etapas intermedias del periodo de conservación estudiado, puede relacionarse con un incremento de la rigidez de la pared celular, atribuido a deformaciones plásticas o viscoelásticas de la misma, que a su vez son inducidas por modificaciones de la presión interna.

Asimismo, este aumento del módulo de elasticidad también puede deberse, a un incremento de la actividad enzimática pectinmetilesterasa (PME) detectado a los 37 días de congelación de las muestras con mínima cocción. Los resultados sugieren, que la contribución relativa de las paredes celulares al incremento de E_d alcanza un máximo de 37 días de conservación al estado congelado. Canet *et al.* (2005), reportaron resultados similares en patata conservada (en refrigeración), atribuyendo que el incremento en la actividad enzimática PME es responsable de los cambios en el material péctico de la pared celular observado a 35 días de conservación.

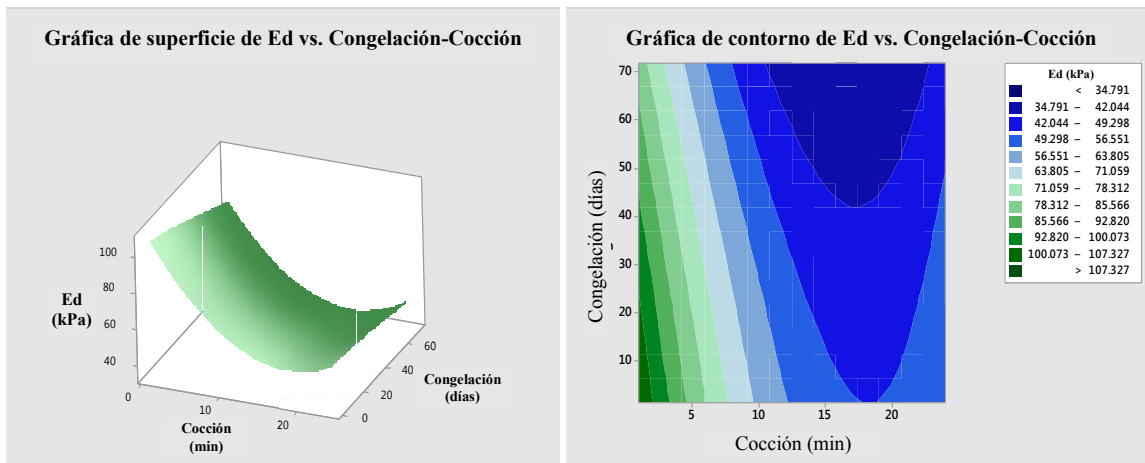
En los demás tratamientos, el módulo de elasticidad disminuyó en los tres procesos evaluados. Este ablandamiento parece reflejar un daño superior producido por los tratamientos térmicos en los tejidos de batata. La disminución de E_d durante el procesado térmico, puede considerarse una manifestación de la respuesta mecánica de la elasticidad de las membranas celulares o adhesión intercelular en el tejido, modificada según la magnitud de la degradación del almidón y de las sustancias de las paredes celulares (Truong *et al.*, 1997; Canet *et al.*, 2005).



a) Proceso 1 (C+F: Cocción-Congelación)



b) Proceso 2 (F+C: Congelación-Cocción)



c) Proceso 3 (B+F+C: Escaldado-Congelación-Cocción)

Figura 20. Gráficas de superficie de respuesta en función de los tiempos de cocción y congelación del módulo de elasticidad (Ed) para los tres procesos evaluados.

Fuente: El autor

Analizando los efectos que en la estructura original del producto tiene cada tratamiento térmico integrante del proceso de elaboración, así como sus combinaciones, se observa que Ed presenta una mayor disminución en las muestras congeladas-cocidas, seguida de las muestras cocidas-congeladas y una disminución menor en las muestras escaldadas-congeladas-cocidas (Proceso 2 > Proceso 1 > Proceso 3). Este comportamiento confirma el hecho de que la congelación y la cocción ablandan el tejido vegetal de manera muy distinta; la congelación causa rotura de paredes celulares, mientras que la cocción ocasiona un ablandamiento por separación celular, no produciéndose roturas y dejando casi intacta la estructura de la pared celular (Álvarez *et al.*, 2005; Truong y Avula, 2010).

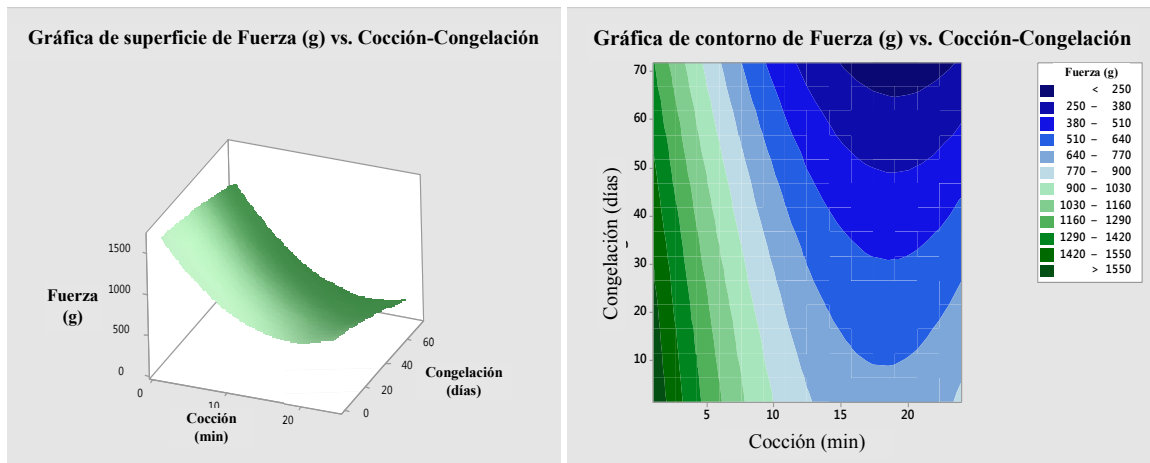
Siendo el almidón la sustancia predominante en la batata, las variaciones de textura durante la cocción se deben principalmente a los cambios producidos en él y en las materias pécticas. Se produce la gelatinización y retrogradación de almidón y una degradación enzimática y no enzimática de las pectinas que constituyen la pared celular. A su vez, la estructura del almidón gelatinizado se daña en la congelación debido a la presión ejercida por la matriz de hielo en los gránulos. Estos daños producidos en el tejido vegetal podrían dar lugar a una pérdida de función de la membrana celular, a la perturbación de los sistemas metabólicos, a la desnaturalización de proteínas, a la transferencia permanente de agua intracelular al medio extracelular, a la inactivación enzimática, y a una amplia ruptura celular (Canet *et al.*, 2005).

7.4.2. FIRMEZA

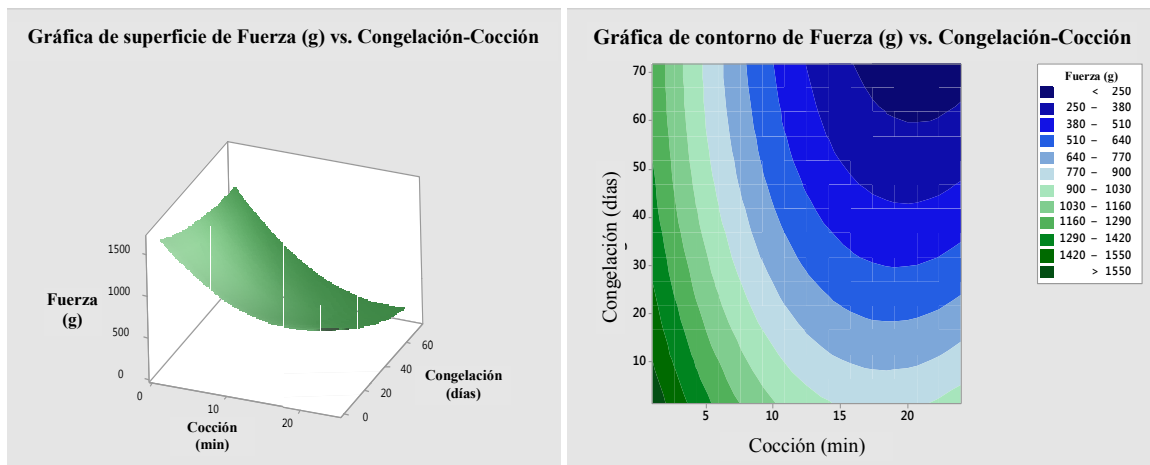
La firmeza de los cilindros de batata (derivada de los ensayos de corte/cizallamiento) obtenida en los procesos térmicos combinados se presenta en la Figura 21. En las gráficas de superficie de respuesta y de contorno se observa un comportamiento similar para todos los procesos evaluados, indicando una disminución de la fuerza a mayores tiempos de cocción y de congelación. Valores mínimos de fuerza se presentaron en muestras con tiempos de cocción mayores a 15 min y tiempos de congelación mayores a 40 días.

Los resultados del ANOVA ($p < 0.05$) indicaron que la cocción y la congelación tienen un efecto significativo en la firmeza de todos los procesos evaluados, la cocción adicionalmente con un efecto cuadrático (Anexo G).

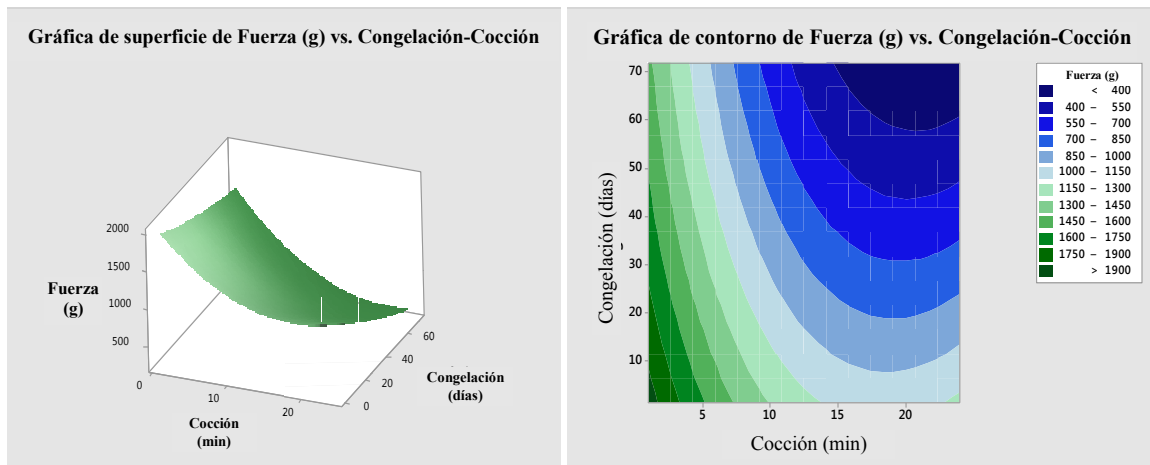
En el tratamiento control, la firmeza disminuyó de 5407 g en la batata fresca a 804 g en la batata cocida. Comparando con el resultado del tratamiento control, se observó en general una menor fuerza en las muestras congeladas-cocidas y cocidas-congeladas, que en la muestra solo cocida. Todas las muestras presentaron una fuerza mayor entre 1 y 37 días de congelación y tiempos muy cortos de cocción (1-4 min). Una tendencia análoga ofrecía el módulo de elasticidad, que mostraba valores máximos tras 1 mes de conservación al estado congelado, seguido de una cocción de 1 min. Este comportamiento puede ser atribuido a cambios sustanciales en la composición de los polímeros pécticos durante la congelación. Por lo tanto, se puede asumir que un incremento en la actividad enzimática pectinmetilesterasa (PME), sea probablemente responsable de los cambios en el material péctico de la pared celular, que dieron lugar, entre otros factores, a una textura más firme.



a) Proceso 1 (C+F: Cocción-Congelación)



b) Proceso 2 (F+C: Congelación-Cocción)



c) Proceso 3 (B+F+C: Escaldado-Congelación-Cocción)

Figura 21. Gráficas de superficie de respuesta en función de los tiempos de cocción y congelación de la firmeza para los tres procesos evaluados.

Fuente: El autor

Por otra parte, las diferencias observadas entre las muestras cocidas (control), congeladas-cocidas y cocidas-congeladas, pueden ser consecuencia del proceso de congelación, que produce efectos negativos en la calidad textural de los vegetales debido fundamentalmente a los fenómenos de cristalización. Incluso cuando la congelación se realiza a velocidades rápidas es inevitable que se produzca un cierto grado de daño y ruptura de paredes celulares. Además, algunos materiales de la pared celular, dañados en el proceso de congelación se pierden durante la posterior cocción, lo que justifica la menor firmeza observada en el tejido de batata congelado-cocido en comparación con la correspondiente a las muestras cocidas-congeladas y a la muestra control.

Otra posible explicación para este comportamiento es que la estructura del gránulo de almidón gelatinizado se daña a temperaturas de congelación debido a la presión ejercida por la matriz de hielo en los gránulos. Adicionalmente el almidón gelatinizado también sufre mayor retrogradación como consecuencia de la congelación/descongelación (Carbonell *et al.*, 2006).

En la aplicación del escaldado como pretratamiento, indiscutiblemente, cuando el tejido escaldado se somete posteriormente a un proceso de congelación con cocción final, la firmeza respecto a aquella del tejido únicamente cocido disminuye. Sin embargo, el escaldado produce un incremento de la textura con respecto a las demás muestras, lo que puede asociarse a un aumento de la resistencia mecánica del tejido de batata, el cual es especialmente notable tras ser sometido a posteriores operaciones de proceso.

Se ha puesto de manifiesto que el efecto en la firmeza que produce la desesterificación de las pectinas atribuible a la enzima pectinmetilesterasa (PME), se hace evidente después de un calentamiento a temperatura elevada, como es el caso de un escaldado o de una esterilización. La pectina desesterificada es menos susceptible a una posterior degradación, y por lo tanto, es más estable al calor. De esta forma, el procesado subsiguiente incrementa la insolubilidad de la pectina, lo que a su vez conlleva al aumento de la adhesión celular (Stolle-Smits *et al.*, 1998).

Conforme a Truong *et al.* (1998), el tejido de batata escaldada a cierta temperatura durante un tiempo determinado llega a comportarse con un sólido elástico con una textura resistente y fuerte. Sin embargo Binner *et al.* (2000), sugirieron que el efecto de firmeza detectado en batatas cocidas en agua, no es provocado únicamente por la enzima PME, sino por la descomposición del almidón en azúcares que migran de la célula sin provocar separación celular. Otros estudios, señalan incluso que la contribución del almidón a la textura y firmeza de patatas cocidas predomina sobre el papel desempeñado por los cambios en los polímeros constitutivos de la pared celular (Van Dijk *et al.*, 2002).

En productos vegetales, en los que el almidón es el constituyente mayoritario de la materia seca, el establecimiento de que componentes estructurales y sus modificaciones son responsables de la firmeza del tejido cuando son sometidos a tratamientos térmicos, es motivo de controversia entre distintos investigadores, atribuyéndose a menudo a la hidratación, hinchamiento, gelatinización y retrogradación del almidón, a la estabilidad de las sustancias pécticas de la pared celular y la lámina media, o a una combinación de las modificaciones de ambos elementos estructurales (Carbonell *et al.*, 2006).

7.5. CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA

El comportamiento viscoelástico lineal de las masas de batata fue determinado mediante barridos de amplitud a una frecuencia de 1 Hz, en muestras sólo cocidas (durante 15 min) y en muestras cocidas-congeladas (con 30 días de congelación). La Figura 22 muestra la constancia de las funciones viscoelásticas dinámicas durante el rango de deformación analizado, en el cual se cumple que tanto la componente elástica de la respuesta (G') como la viscosa (G'') son independientes respectivamente de la amplitud de la onda del esfuerzo de cizalla. Fasina *et al.* (2003) observaron un comportamiento similar en purés de batata.

Basado en los resultados de los barridos de amplitud, se seleccionó la amplitud de la onda del esfuerzo de cizalla a la que se estudió la influencia de la frecuencia (deformaciones del orden de 10^{-4}), para asegurar la inclusión del dominio viscoelástico lineal en la determinación de las propiedades reológicas dinámicas de las masas de batata, garantizando así la no destrucción irreversible de su estructura en el intervalo de frecuencias seleccionado (0.1 Hz a 10 Hz).

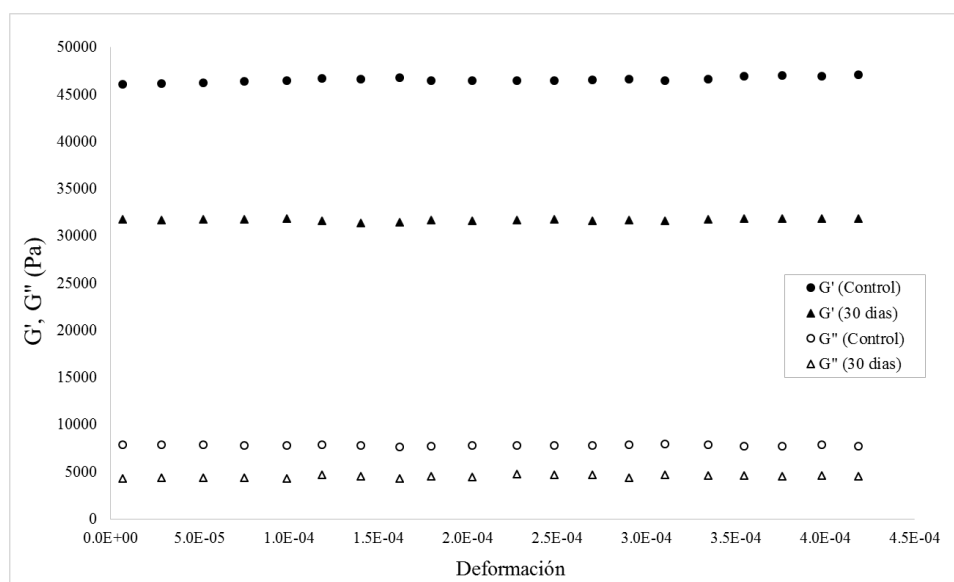


Figura 22. Barridos de amplitud de batata cocida y cocida congelada a 1 Hz y a 25°C.

Fuente: El autor

Una vez determinado el límite de viscoelasticidad lineal, se obtuvieron a partir de ensayos oscilatorios los parámetros o funciones viscoelásticas dinámicas para la caracterización reológica de las masas de batata. Los resultados para los tres procesos evaluados se presentan en la Tabla 7. Con estos resultados se analizó la influencia de la frecuencia del movimiento oscilatorio en el intervalo de frecuencias determinado sobre los valores de las funciones viscoelásticas G' y G'' (espectros mecánicos) que permitieron conocer tanto la respuesta elástica como la viscosa del material, según los procesos térmicos evaluados.

Los espectros mecánicos que describen el comportamiento viscoelástico de las masas de batata obtenidas en los tres procesos evaluados se muestran en la Figura 23.

Tabla 7. Parámetros oscilatorios para masas de batata tratadas y control (Anexo H).

Tratamiento	Módulo elástico G' (Pa)	Módulo viscoso G'' (Pa)	Módulo complejo G* (Pa)	Ángulo de fase δ (°)	Viscosidad compleja η^* (Pas)
Control*	49893.3 a	8016.3 a	49756.7 a	9.26 a	8076.3 a
Proceso 1 (C+F)					
1	40990.0 b	5367.7 b	41340.0 b	8.47 a	6579.3 b
2	36130.0 c	6021.3 b	36646.7 c	9.63 a	5832.3 c
3	39680.0 b,c	5677.7 b	40230.0 b,c	8.47 a	6403.0 b,c
4	19083.3 d	3108.0 c	19336.7 d	9.25 a	3077.7 d
Valor P**	(P<0.01)	(P<0.01)	(P<0.01)	(P<0.01)	(P<0.01)
Proceso 2 (F+C)					
5	36176.7 b	5112.3 b	36543.3 b	8.40 a	5816.0 b
6	32880.0 b	5085.3 b	33293.3 b	9.02 a	5298.7 b
7	27033.3 c	4007.0 b,c	27333.3 c	8.42 a	4349.7 c
8	20066.7 d	3269.0 c	20333.3 d	9.24 a	3235.7 d
Valor P**	(P<0.01)	(P<0.01)	(P<0.01)	(P<0.01)	(P<0.01)
Proceso 3 (B+F+C)					
9	50616.7 a	8501.0 a	49990.0 a	9.53 b	8168.3 a
10	48380.0 a	7726.0 a	48996.7 a	9.07 b	7797.7 a
11	47490.0 a	7725.7 a	48123.3 a	8.69 b	7659.0 a
12	24313.3 b	4944.7 b	24810.0 b	11.50 a	3948.7 b
Valor P**	(P<0.01)	(P<0.01)	(P<0.01)	(P<0.01)	(P<0.01)

* Masas de batata solo cocida durante 15 min.

** Nivel de significancia

Los valores corresponden a los promedios de las regresiones correspondientes a tres barridos de frecuencia a 1 Hz.

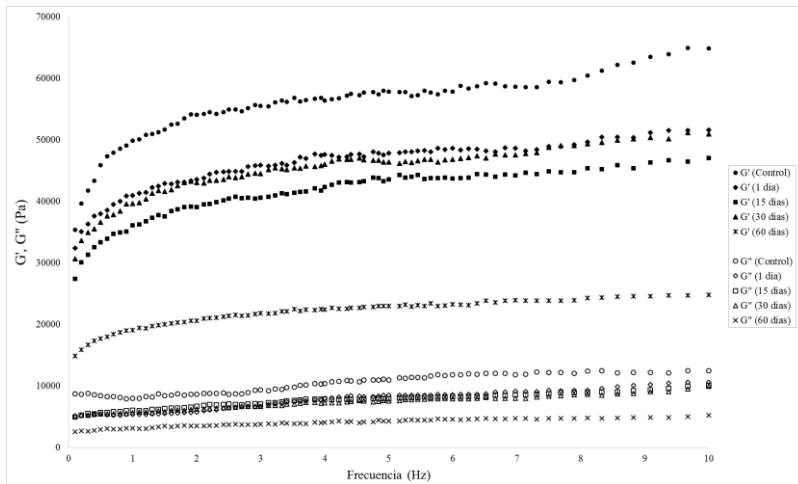
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: El autor

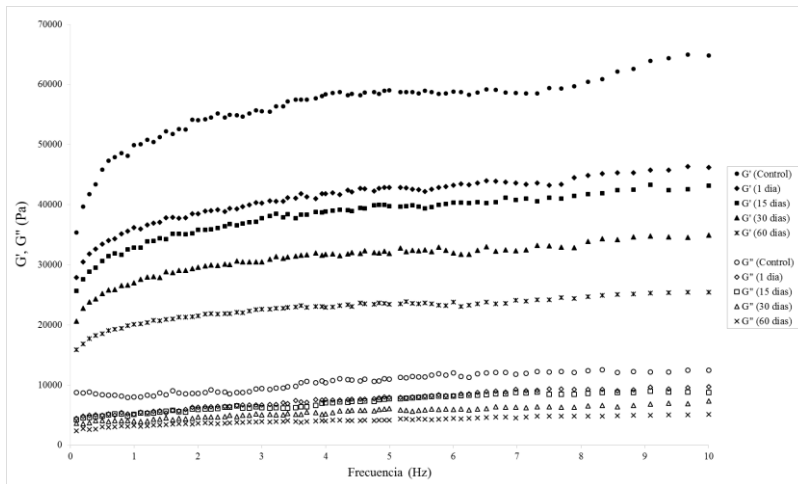
En las masas de batata tanto control como cocidas-congeladas, congeladas-cocidas y escaldadas-congeladas-cocidas, se observa una respuesta predominantemente elástica, con valores del módulo elástico o de almacenamiento (G') más elevados que los del módulo viscoso o de pérdida (G''), así como un aumento de los dos módulos en todo el intervalo de frecuencia estudiado.

La información que proporcionan los barridos de frecuencia de las masas de batata estudiadas, evidencia que no son geles verdaderos sino que presentan una estructura encuadrada entre un biopolímero concentrado y un gel verdadero, lo que permite clasificar su comportamiento reológico como característico de gel débil. Desde un punto de vista estructural, los geles verdaderos se caracterizan por presentar pendientes nulas en las regresiones lineales de ambos módulos frente a la frecuencia, mientras que los geles débiles y las soluciones altamente concentradas presentan pendientes positivas con valores de G' superiores a los de G'' en un amplio intervalo de frecuencia (Steffe, 1996).

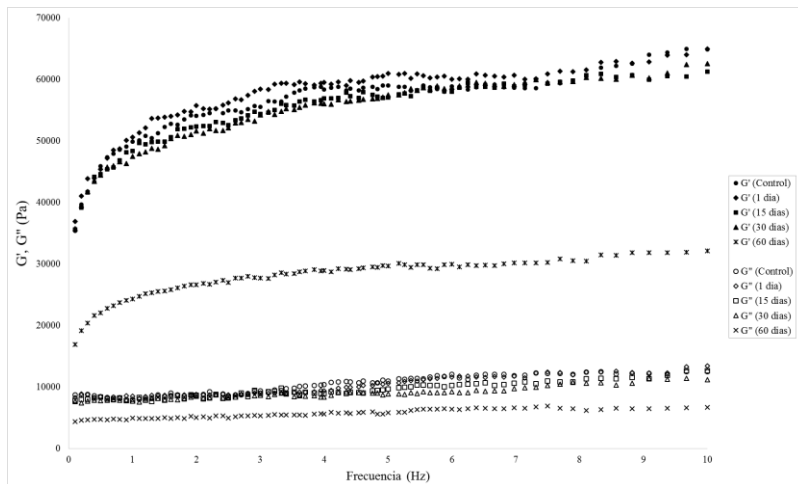
La forma del espectro mecánico de las masas de batata es similar al observado por Fasina *et al.* (2003) en puré de batata reestructurado y no reestructurado, exhibiendo propiedades reológicas que están más próximas a las de un gel débil que a las de una solución concentrada en el intervalo de frecuencia estudiado (0.1 a 100 Hz). Asimismo, Ahmed y Ramaswamy (2006) observaron un comportamiento de gel débil en compotas infantiles elaboradas a base de batata. Este comportamiento se ha identificado igualmente en otros productos, tales como purés frescos y congelados de patata (Álvarez *et al.*, 2004), pastas de almidón de maíz (Hirashima *et al.*, 2004) y geles de almidón modificado (Rosalina y Bhattacharya, 2002).



a) Proceso 1 (C+F: Cocción 15 min - Congelación)



b) Proceso 2 (F+C: Congelación - Cocción 15 min)



c) Proceso 3 (B+F+C: Escaldado 2 min - Congelación - Cocción 15 min)

Figura 23. Comparación de los módulos elástico (G') y viscoso (G'') para masas de batata de los tres procesos evaluados (congelación: 1, 15, 30 y 60 días) y control. Fuente: El autor

Un parámetro característico en la evaluación del comportamiento viscoelástico de los alimentos semisólidos es el ratio G''/G' que expresa la tangente del ángulo de fase δ ($\tan \delta$), y que mide la energía perdida en comparación con la energía almacenada en un ciclo de deformación. Un ángulo de fase de 90° indica que el material es completamente viscoso mientras que un material elástico se caracteriza por valores del ángulo de fase próximos a 0° (Ahmed y Ramaswamy, 2006).

Los valores de la $\tan \delta$ de las masas de batata tanto control como procesadas, fueron inferiores a uno, indicando el predominio de las propiedades elásticas sobre las viscosas. Las propiedades elásticas observadas pueden ser atribuidas a la asociación intermolecular de las cadenas de amilosa lixiviada de los gránulos de almidón, como señalan Chang *et al.* (2004). Igualmente, los valores de la $\tan \delta$ de dispersiones de harina de batata fueron inferiores a uno y disminuyeron con el aumento de la concentración, indicando el predominio de las propiedades elásticas sobre las viscosas, así como que las dispersiones son más elásticas con el aumento de concentración (Chun y Yoo, 2006).

Las medidas dinámicas también permitieron apreciar cómo el efecto del procesado fue significativamente distinto en el comportamiento reológico y la textura de las masas de batata. Los procesos de congelación-cocción y cocción-congelación dieron lugar a productos con valores de los parámetros reológicos dinámicos inferiores que los correspondientes a las muestras escaldadas-congeladas-cocidas y a la muestra control.

Las diferencias entre los espectros mecánicos correspondientes a las masas de batata podrían ser atribuibles al daño mecánico producido por la congelación, lo que da como resultado una ruptura de paredes celulares y consecuentemente a una dispersión del almidón intracelular. Esto a su vez resulta en una disminución de las propiedades reológicas G' , G'' , G^* y η^* en todas las frecuencias oscilatorias analizadas, concluyéndose que las masas de batata obtenidas bajo los diferentes procesos combinados constituyen dispersiones diluidas de gránulos de almidón gelatinizados. Resultados similares fueron reportados por Álvarez *et al.* (2004) en purés fresco y congelado de patata y por Álvarez y Canet (2001) en purés congelados de brócoli-patata, zanahoria-patata y apio-patata.

Asimismo, el tiempo de conservación al estado congelado juega un papel importante en las funciones viscoelásticas dinámicas, cuyo efecto negativo es más significativo a medida que aumenta el tiempo de congelación. Los valores de los parámetros reológicos representan la respuesta mecánica de la presión interna celular, que disminuye a lo largo del periodo de conservación (60 días), así como la disminución de las características elásticas de las paredes celulares. Este efecto está relacionado con las recrystalizaciones, asociadas con cambios en el tamaño, número, forma y orientación de los cristales de hielo, causadas posiblemente por ligeras fluctuaciones de la temperatura al aumentar el tiempo de conservación al estado congelado. Ello es probablemente la causa de un mayor grado de ruptura y daño mecánico en la estructura celular (Hermansson, 1997).

7.6. CONTENIDO DE BETA-CAROTENO

Un típico cromatograma de HPLC de los carotenoides presentes en la variedad de batata CIP 440287 se presenta en la Figura 24, demostrando la predominancia del beta-caroteno. La batata ha sido estudiada ampliamente, encontrando una variación del contenido de beta-caroteno de 0.2 µg/g en batatas de pulpa blanca, a 314 µg/g en batatas de pulpa anaranjada (Bovell-Benjamin, 2007).

El cromatograma obtenido que permite la separación de los isómeros *cis* y *trans*, mostró que el beta-caroteno de la variedad CIP-440287 es predominantemente *trans*. Se observa un pico muy pequeño correspondiente al 13-*cis*-β-caroteno, pero es considerablemente más bajo que el pico del *trans*-β-caroteno. Estos resultados son similares a los reportados en batata (Van Jaarsveld *et al.*, 2006; Kidmose *et al.*, 2007; Bengtsson *et al.*, 2008) y yuca (Chavez *et al.*, 2007; Carvalho *et al.*, 2012; Ceballos *et al.*, 2012).

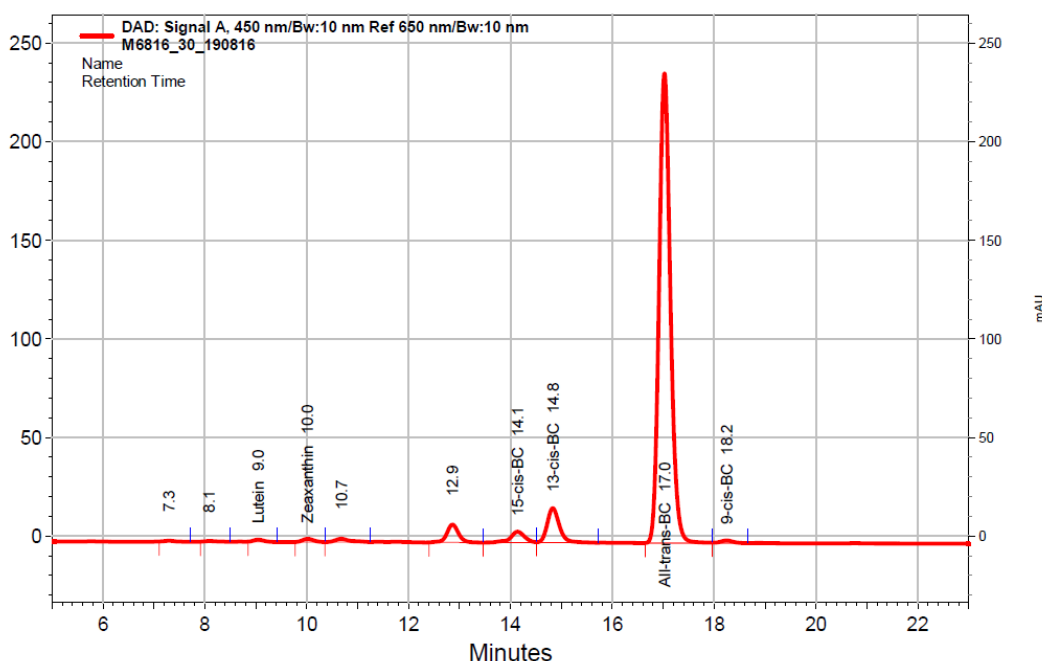


Figura 24. Cromatograma de HPLC (mostrando un pico de β-caroteno) del extracto de batata fresca, variedad CIP-440287. Fuente: El autor

Los contenidos de all-*trans*-β-caroteno de las muestras fresca, control y tratadas de acuerdo a los tres procesos evaluados se presentan en Tabla 8. Se observa una concentración inicial de 280 µg/g en el material fresco, y después de 15 min se obtuvo una concentración final de all-*trans*-β-caroteno de 218 µg/g. Los compuestos carotenoides son micronutrientes que se degradan fácilmente por el tratamiento térmico, la exposición a la luz y la oxigenación (Rodríguez-Amaya, 1999).

La tendencia en la disminución de la concentración all-*trans*-β-caroteno con el aumento de tiempo de cocción a temperatura de ebullición fue similar a lo reportado por Wu *et al.* (2008), quienes evaluaron trozos de batata variedad Yanshu N°5 en cocción a temperatura de ebullición,

obteniendo que el contenido de all-*trans*- β -caroteno disminuyó de 77 mg/kg en peso fresco a 63 mg/kg después de 20 min de cocción. De igual manera, Bengtsson *et al.* (2008) indicaron que la concentración de all-*trans*- β -caroteno disminuyó de 108 μ g/g en peso seco a 73 μ g/g cuando cocinaron batata variedad SPK004-1 a temperatura de ebullición durante 20 min.

Tabla 8. Contenidos de all-*trans*- β -caroteno (en base seca) para masas de batata fresca, tratadas y control (Anexo I).

Tratamiento	Contenido de all- <i>trans</i> - β -caroteno (μ g/g DM)
Fresco	280.26 a
Control*	217.71 b
Proceso 1 (C+F)	
1	213.60 b
2	200.93 b
3	184.00 b,c
4	153.35 c
Valor P**	(P<0.01)
Proceso 2 (F+C)	
5	189.91 b,c
6	164.34 c,d
7	142.96 d
8	101.13 e
Valor P**	(P<0.01)
Proceso 3 (B+F+C)	
9	206.91 b,c
10	194.25 b,c
11	181.53 c,d
12	147.80 d
Valor P**	(P<0.01)

* Masas de batata solo cocida durante 15 min.

** Nivel de significancia

Los valores corresponden a los promedios de dos determinaciones.

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: El autor

Van Jaarsveld *et al.* (2006) obtuvieron resultados similares, encontrando que la retención de los β -carotenos en batata variedad Resisto dependió de la forma y tiempo de cocción, con un 92% de retención de β -carotenos cuando fueron llevados a cocción en el menor tiempo posible (20 min) y cubiertos de agua en un recipiente tapado. En los últimos años, algunas investigaciones han demostrado que el contenido de carotenos en la batata disminuye durante la cocción, como principal forma de preparación (Bovell-Benjamin, 2007; Chávez *et al.*, 2007; Kidmose *et al.*, 2007; Bengtsson *et al.*, 2008; Wu *et al.*, 2008; Liu *et al.*, 2009; Truong y Avula, 2010; Zaccari, 2010; Carvalho *et al.*, 2012; Ceballos *et al.*, 2012; Velho, 2016).

En el procesamiento industrial y el almacenamiento de alimentos, generalmente existen las condiciones necesarias para la isomerización y oxidación de los carotenoides. Las consecuencias son pérdida de color y de la actividad de vitamina A y de otras actividades biológicas.

Del mismo modo, la combinación de los tratamientos térmicos y el aumento en el tiempo de conservación al estado congelado disminuyeron el contenido del all-*trans*- β -caroteno presente en las muestras de batata, los porcentajes de retención aparente de este compuesto después de 60 días de congelación fueron de 55%, 53% y 36% en masas cocidas-congeladas, escaldadas-congeladas-

cocidas y congeladas-cocidas respectivamente (Figura 25). El congelamiento (especialmente el congelamiento rápido) y el almacenamiento en congelación por lo general preservan las provitaminas, pero el descongelamiento por un tiempo prolongado y la posterior cocción es desfavorable.

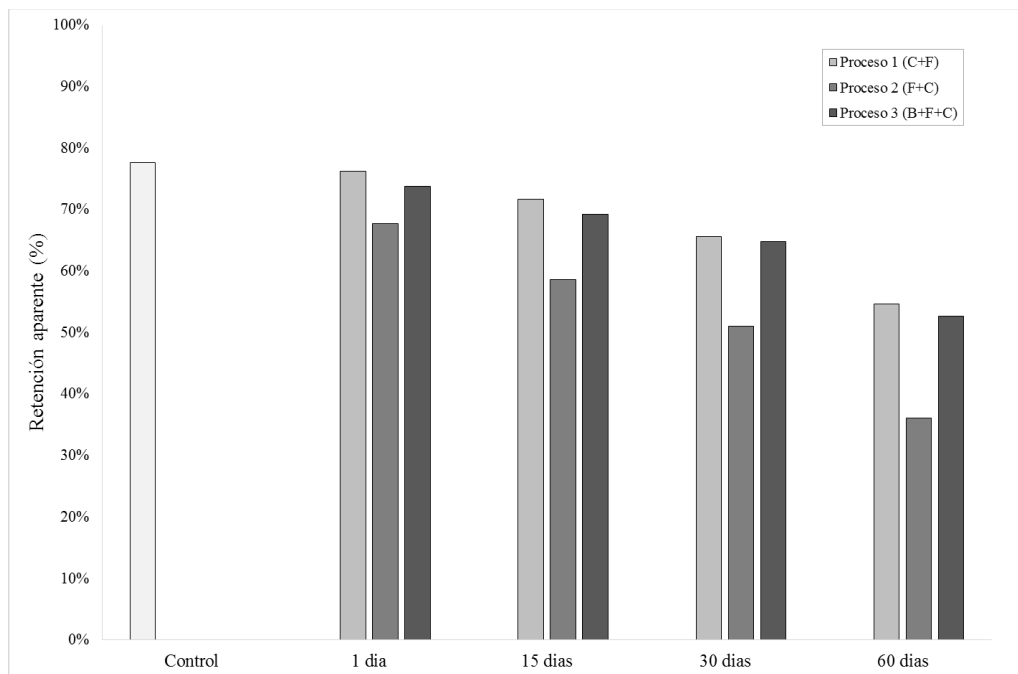


Figura 25. Retención de beta-caroteno en masas de batata de los tres procesos evaluados y control. Fuente: El autor

El tratamiento con escaldado puede provocar algunas pérdidas de las provitaminas A pero la inactivación de las enzimas oxidativas impiden pérdidas posteriores y mayores durante el procesamiento lento (como en el secado) y el almacenamiento. Aunque la mayoría de los carotenoides son resistentes al calor, algunos carotenoides podrían verse afectados (Van Het Hof *et al.*, 2000).

En relación al contenido de carotenoides en batata después del procesamiento térmico, también existen divergencias en la literatura. Chandler y Schwartz (1988) monitorearon la isomerización y pérdida de *all-trans*- β -caroteno durante el procesamiento de la batata, sobre la base del peso seco. Se observó un aumento significativo en el β -caroteno *trans* después de dos minutos de escaldado, de convertirlo en puré e inyectar vapor para gelatinizar el almidón. Las batatas escaldadas durante 10 minutos tuvieron menos β -caroteno *trans* que los escaldados por dos minutos. El supuesto aumento se atribuyó a una extractabilidad aumentada de las muestras tratadas térmicamente. El procesamiento térmico indujo la formación de isómeros *cis* especialmente 13-*cis*- β -caroteno.

Por otra parte, Sinha *et al.* (2015) observaron un efecto opuesto cuando evaluaron batatas de pulpa anaranjada encontrando que hubo una disminución de 15% en el contenido de carotenoides de las muestras después de una cocción al vapor, cuando fueron comparadas con la muestra fresca. Melendez-Martínez *et al.* (2004) describen que la preparación por cocción de los tejidos vegetales

modifica la textura y provoca el ablandamiento de los mismos, lo que probablemente colabore a dejar más libres y extraíbles los carotenoides.

Las transformaciones químicas que ocurren en el tratamiento con calor involucran la isomerización y epoxidación de las provitaminas A, no su formación. Los supuestos aumentos de beta-caroteno podrían deberse simplemente a la mayor facilidad con la cual se pueden extraer los carotenoides de muestras cocidas o procesadas en comparación con la extracción en alimentos frescos, donde los carotenoides están protegidos físicamente y/o están combinados con otros componentes de los alimentos que impiden la penetración de los solventes y extracción. Los aumentos también podrían deberse a una humedad no contabilizada y a pérdidas de sólidos solubles, las cuales concentrarían y aumentarían los niveles de provitamina A por unidad de peso de un alimento (Rodríguez-Amaya, 1999).

De acuerdo a los resultados obtenidos, y según el Codex Alimentarius (2016), el consumo de 100 gramos de masa de batata de pulpa anaranjada variedad CIP 440287, elaborada en este estudio mediante un proceso de escaldado-congelación-cocción y evaluada después de un periodo de almacenamiento en congelación por 2 meses, aportaría 4 veces el requerimiento diario de vitamina A (RE: Retinol Equivalente) en niños mayores de 4 años y adultos (CAC/GL 2-1985).

8. CONCLUSIONES

1. El procesado de la batata por tratamientos térmicos combinados, como escaldado, congelación y cocción, dio lugar a cambios físicos y químicos en el tejido vegetal.
2. El tiempo de almacenamiento en congelación y posterior descongelación presentó pérdidas significativas de fase líquida y de volumen en cilindros de batata, independientemente del proceso combinado térmico, asociado al crecimiento de cristales o recristalización. También se evidenció que el tiempo de almacenamiento en congelación mostró mayor influencia en los cambios físicos de la batata que el tiempo de cocción. Asimismo, la congelación ocasionó mayor daño estructural en las muestras frescas que en las cocidas.
3. La aplicación del escaldado previo al proceso de congelación disminuyó las pérdidas de fase líquida y los cambios de volumen en las muestras de batata, comparadas con los tratamientos sin escaldado. Los tratamientos con menores variaciones de volumen se presentaron en tiempos de congelación inferiores a 20 días.
4. Se evidenció que durante el tiempo de congelación todos los tratamientos térmicos presentaron oscurecimiento (disminución de luminosidad) de la batata; sin embargo, los tratamientos con aplicación de cocción o escaldado previo a la congelación mostraron menores pérdidas de luminosidad, pureza de color, ángulo del tono y cambio total de color, es decir de un color más claro y más intenso, que las muestras congeladas-cocidas.
5. Los parámetros de textura evidenciaron que los procesos térmicos con tiempos altos de cocción (>15 min) y de almacenamiento en congelación (>40 días) mostraron cilindros de batata más blandos. No obstante, el tratamiento con aplicación de escaldado mostró menores pérdidas de textura (módulo de elasticidad y firmeza) que los otros tratamientos térmicos.
6. Todas las masas de batata, cocidas-congeladas, congeladas-cocidas con pretratamiento previo o sin él, muestran un comportamiento elástico con valores del módulo de almacenamiento más elevados que los del módulo de pérdida, exhibiendo además propiedades de gel débil, siendo la estructura de gel mucho más débil en las masas congeladas-cocidas que en las escaldadas-congeladas-cocidas y que en la muestra control.
7. El contenido de beta-caroteno en las masas de batata se redujo en todos los procesos térmicos combinados con el incremento del tiempo de almacenamiento en congelación, presentándose menor degradación en los procesos con cocción o escaldado previos a la congelación.
8. De acuerdo a los resultados de este estudio, la aplicación de un escaldado previo a la congelación fue positivo para reducir las pérdidas de calidad de batata durante el almacenamiento en congelación en términos de reducción de pérdidas de fase líquida, volumen, color, firmeza y contenido de beta-caroteno, permitiendo la elaboración de masas de batata de alta calidad nutricional y con textura y color óptimos y ajustables a las preferencias del consumidor; estableciendo una base de conocimiento para el desarrollo y aplicación en productos alimenticios.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, J. y Ramaswamy, H.S. (2006). Viscoelastic properties of sweet potato puree infant food. *Journal of Food Engineering*, 74, 376-382.
- Álvarez, M. D. y Canet, W. (2001). Influence of cooking and freeze-thaw cycles on viscoelastic properties of vegetable purees. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 34, 549-555.
- Álvarez, M.D., Fernández, C. y Canet, W. (2004). Rheological behaviour of fresh and frozen potato puree in steady and dynamic shear at different temperatures. *Eur Food Res Technol*, 218, 544-553.
- Álvarez, M.D., Fernández, C. y Canet, W. (2005). Effect of freezing/thawing conditions and long-term frozen storage on the quality of mashed potatoes. *J Sci Food Agric*, 85, 2327-2340.
- Alvis, A., Jiménez, J. y Arrazola, G. (2015). Caracterización de las propiedades mecánicas de dos variedades de batata (*Ipomoea batatas* Lam). *Información Tecnológica*, 26(4), 75-80.
- Arándiga, G. y Díaz, S. (2008). *Estudio del licopeno del tomate como colorante natural desde la perspectiva analítica e industrial* (Tesis de maestría). Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España.
- Arrázola-Paternina, G., Alvis-Bermúdez, A. y García-Mogollón, C. (2016). Blanching treatment effect on the enzymatic activity of polyphenoloxidase in two varieties of sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1), 80-88.
- Ávila, I.M.L.B. y Silva, C.L.M. (1999). Modeling kinetics of thermal degradation of color in peach puree. *Journal of Food Engineering*, 39, 161-166.
- Ayala, A. y Cadena, M.I. (2014). Influencia de pretratamientos osmóticos sobre la calidad de muestras de melón (*Cucumis melo* L.) durante almacenamiento en congelación. *DYNA*, 81(186), 81-86.
- Badui, S. (2006). *Química de los Alimentos*. 4a Edición. Editorial Pearson, México.
- Bany, I.E. y Figen, E. (2008). Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method. *Journal of Food Engineering*, 85, 340-349.
- Bello, J. (1998). *Ciencia y tecnología culinaria: Fundamentos científicos de los procesos culinarios implicados en la restauración colectiva*. Ediciones Díaz de Santos.
- Bengtsson, A., Namutebi, A., Larsson, M. y Svanberg, U. (2008). Effects of various traditional processing methods on the all-*trans*- β -carotene content of orange-fleshed sweet potato. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21, 134-143.

- Binner, S., Jardine, W.G., Renard, C.M.C.G. y Jarvis, M.C. (2000). Cell wall modifications during cooking of potatoes and sweet potatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(2), 216-218.
- Brabet, C., Reynoso, D., Dufour, D., Mestres, C. Arredondo, J. y Scott, G. (1998). *Starch content and properties of 106 sweet potato clones from the world germplasm collection held at CIP, Peru*. CIP Program Report 1997-1998, International Center for Potato, Lima, Peru, pp. 279-286.
- Brennan, J.G., Butters, J.R., Cowell, N.D. y Lilly, A.E.V. (1990). *Food engineering operations*. 3rd Edition. Editorial Elsevier Applied Science, Londres.
- Brennan, J.G. (Ed.) (2006). *Food Processing Handbook*. Weinheim, Germany: Wiley-Vch Verlag GmbH & Co.
- Bovell-Benjamin, A. (2007). Sweet potato: A review of its past, present and future role in human nutrition. *Advances in Food and Nutrition Research*, 52, 1-59.
- Canet, W., Álvarez, M.D. y Fernández, C. (2005). Optimization of low-temperature blanching for retention of potato firmness: Effect of previous storage time on compression properties. *Eur Food Res Technol*, 221, 423-433.
- Canet, W., Álvarez M.D. y Fernández, C. (2007). Calidad y seguridad de vegetales congelados. III. Influencia del escaldado. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 220, 58-64.
- Carbonell, S., Oliveira, J.C. y Kelly, A.L. (2006). Effect of pretreatments and freezing rate on the firmness of potato tissue after a freeze-thaw cycle. *International Journal of Food Science and Technology*, 41, 757-767.
- Carvalho, L., Oliveira, A., Godoy, R., Pacheco, S., Nutti, M., De Carvalho, J.L., Pereira, E. y Fukuda, W. (2012). Retention of total carotenoid and β -carotene in yellow sweet cassava (*Manihot esculenta* Crantz) after domestic cooking. *Food & Nutrition Research*, 56: 5788.
- Ceballos, H., Luna, J.L., Escobar, A., Ortiz, D., Pérez, J.C., Sánchez, T., Pachón, H. y Dufour, D. (2012). Spatial distribution of dry matter in yellow fleshed cassava roots and its influence on carotenoid retention upon boiling. *Food Research International*, 45, 52-59.
- Chandler, L.A. y Schwartz, S.J. (1988). Isomerization and losses of trans- β -carotene in sweet potatoes as affected by processing treatments. *J. Agric. Food Chem.* 36, 129-133.
- Chang, Y.H.; Lim, S.T. y Yoo, B. (2004). Dynamic rheology of corn starch-sugar composites. *Journal of Food Engineering*, 64(4), 521-527.
- Chávez, A.L., Sánchez, T., Ceballos, H., Rodríguez-Amaya, D.B., Nestel, P., Tohme, J. y Ishitani, M. (2007). Retention of carotenoids in cassava roots submitted to different processing methods. *J Sci Food Agric*, 87, 388-393.

- Chun, S.Y. y Yoo, B. (2006). Steady and dynamic shear rheological properties of sweet potato flour dispersions. *European Food Research and Technology*, 223, 313-319.
- Ciurzynska, A., Lenart, A. y Greda, K.J. (2014). Effect of pre-treatment conditions on content and activity of water and colour of freeze-dried pumpkin. *LWT - Food Science and Technology*, 59, 1075-1081.
- Codex Alimentarius. International Food Standards. (2016) *Guidelines on Nutrition Labelling*. CAC/GL 2-1985. Recuperado de:
<http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/standards/list-of-standards/en/>
- Collado, L.S., Mabesa, R.C., y Corke, H. (1999). Genetic variation in the physical properties of sweet potato starch. *Journal of agricultural and food chemistry*, 47(10), 4195-4201.
- Collins, J.L. y Walter, W.M.Jr. (1992). Processing and processed products. In: Fifty Years of Cooperative Sweet potato Research 1939-1989. In Jones, A. y Bouwkamp, J.C. (Eds.), *Southern Cooperative Series*. Bulletin No. 369 (pp. 71-87). Louisiana, USA: Louisiana State University Agricultural Center.
- De Ancos, B., Sánchez-Moreno, C.S., De Pascual, T. y Cano, M.P. (2006). Fruit freezing principles. En Y.H. Hui (Ed.), *Handbook of fruits and fruit processing* (pp. 59-81). Ames, Iowa: Blackwell Publishing Inc.
- Dufour, D., Gibert, O., Giraldo, A., Sánchez, T., Reynes, M., Pain, J.P., González, A., Fernández, A. y Díaz, A. (2009). Differentiation between cooking bananas and dessert bananas. 2. Thermal and functional characterization of cultivated Colombian musaceae (*Musa* sp.). *J. Agric. Food Chem.*, 57, 7870-7876.
- FAO STAT. *Estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura*. Producción mundial de batata (*Ipomoea batatas* L) en 2013. Recuperado de:
<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>
- Fasina, O.O., Walter, W.M. Jr., Fleming, H.P. y Simunovic, N. (2003). Viscoelastic properties of restructured sweet potato puree. *International Journal of Food Science and Technology*, 38, 421-425.
- Fennema, O. (2009). *Food Chemistry*. 4th Edition. Editorial Marcel&Dekker, New York.
- Fetuga, G., Tomlins, K., Henshaw, F. y Idowu, M. (2014). Effect of variety and processing method on functional properties of traditional sweet potato flour (“elubo”) and sensory acceptability of cooked paste (“amala”). *Food Science & Nutrition*, 2(6), 682-691.
- Gao, L., Lin, L., Zhao, L.C. y Wu, F. (2014). Study on heat stability of polyphenol oxidase from purple sweet potato. *Appl. Mechanics Mat.*, 716-717, 122-125.

- Gladney, D. (2005). *Evaluation of a beverage made from hydroponic sweet potatoes* (MS Thesis). Tuskegee University, Tuskegee, AL, USA.
- Geankoplis, C.J. (2006). *Procesos de transporte y principios de procesos de separación (incluye operaciones unitarias)*. 4a Edición. Grupo Patria Cultural, S.A. De C.V., México.
- Gibert, O., Giraldo, A., Uclés-Santos, J.R., Sánchez, T., Fernández, A., Bohuon, P., Reynes, M., González, A., Pain, J-P. y Dufour, D. (2010). A kinetic approach to textural changes of different banana genotypes (*Musa* sp.) cooked in boiling water in relation to starch gelatinization. *Journal of Food Engineering*, 98, 471-479.
- Gunasekaran, S. y Ak, M.M. (2000). Dynamic oscillatory shear testing of foods-selected applications. *Trends in Food Science and Technology*, 11, 115-127.
- Gutiérrez, H. y De la Vara, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. 3a Edición. Editorial McGraw Hill, México.
- Harvest Plus. (2014). *Key Findings for Orange Sweet Potato*. Recuperado de: <http://www.harvestplus.org/content/key-findings-orange-sweet-potato>
- He, J., Cheng, L., Gu, Z., Hong, Y. y Li, Z. (2014). Effects of low-temperature blanching on tissue firmness and cell wall strengthening during sweet potato flour processing. *International Journal of Food Science and Technology*, 49, 1360-1366.
- Hermansson, A.M. (1997). Biopolymer Microstructure and Rheology. In: *The International Symposium on Food Rheology and Structure*. ETH Zurich.
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J.G., Chel-Guerrero, L. y Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterização físico-química de amidos de tubérculos cultivados em Yucatán, México. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 28(3), 718-726.
- Hirashima, M.; Takahashi, R. y Nishimari, K. (2004). Effects of citric acid on the viscoelasticity of corn starch pastes. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 52, 2929-2933.
- Hui, Y.H. (Ed.). (2007). *Handbook of Food Products Manufacturing*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Ibarz, A. y Barbosa-Cánovas, G.V. (2003). *Unit Operations in Food Engineering*. CRC Press LLC, USA.
- International Life Sciences Institute (ILSI). (2008). Nutritionally improved sweet potato. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7(1), 81-91.
- International Potato Center (CIP). (2010). *Sweet Potato*. Recuperado de: <http://cipotato.org/sweetpotato-1/>

- International Potato Center (CIP). (2014). *Sweet Potato Nutrition*. Recuperado de: <http://cipotato.org/sweetpotato/nutrition-2/>
- Jangchud, K., Phimolsiripol, Y., y Haruthaithanasan, V. (2003). Physicochemical properties of sweet potato flour and starch as affected by blanching and processing. *Starch/Stärke*, 55(6), 258-264.
- Kidmose, U., Christensen, L.P., Agili, S.M. y Thilsted, S.H. (2007). Effect of home preparation practices on the content of provitamin A carotenoids in coloured sweet potato varieties (*Ipomoea batatas* Lam.) from Kenya. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8(3), 399-406.
- Konica Minolta Sensing, Inc. (2003). *Comunicación precisa de los colores*. Recuperado de: <http://sensing.konicaminolta.com.mx/learning-center/color-measurement/colorbasics.pdf>
- K'osambo, L.M., Craey, E.E., Misra, A.K., Wilkes, J. y Hagenimana, V. (1998). Influence of age, farming site, and boiling on pro-vitamin A content in sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) storage roots. *J. Agric. Food Chem.*, 11, 305-321.
- Krokida, M.K., Maroulis, Z.B. y Saravacos, G.D. (2001). Rheological properties of fluid fruit and vegetable puree products: Compilation of literature data. *International Journal of Food Properties*, 4, 179-200.
- Kyereme, M., Hale, S.A. y Farkas, B.E. (1999). Modeling the temperature effect on the flow behavior of sweet potato puree. *Journal of Food Process Engineering*, 22, 235-247.
- Lawless, H.T. y Heymann, H. (2010). *Sensory Evaluation of Food*. 2nd Edition. Springer Science & Business Media, LLC, London.
- Leighton, C.S., Schoenfeldt, H.C. y Kruger, R. (2010). Quantitative descriptive sensory analysis of five different cultivars of sweetpotato to determine sensory and textural profiles. *J. Sensory Studies*, 25, 2-18.
- Liu, S., Lin, J. y Yang, D. (2009). Determination of *cis*-and *trans*- α -and β -carotenoids in Taiwanese sweet potatoes (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) harvest at various times. *Food Chemistry*, 116, 605-610.
- Liu, P., Mujumdar, A., Zhang, M. y Jiang, H. (2015). Comparison of three blanching treatments on the color and anthocyanin level of the microwave-assisted sprouted bed drying of purple flesh sweet potato. *Drying Technol.* 33, 66-71.
- Low, J., Kinyae, P., Gichuki, S., Oyunga, M.A., Hagenimana, V. y Kabira, J. (1997). *Combating vitamin A deficiency through the use of sweetpotato*. International Potato Center (CIP); Kenya Agricultural Research Institute (KARI), Kenia.

- Ma, S., Silva, J.L., Hearnberger, J.O. y Garner, J. (1992). Prevention of enzymic darkening in frozen sweet potatoes [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] by water blanching: Relationship among darkening, phenols, and polyphenol oxidase activity. *J. Agric. Food Chem.*, 40 (5), 864-867.
- Melendez-Martinez, A.J., Vicário, I.M. y Heredia, F.J. (2004). Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(2), 209-215.
- Mohapatra, S., Panda, S.H., Sahoo, S.K., Sivakumar, P.S. y Ray, R.C. (2007). β -Carotene-rich sweet potato curd: production, nutritional and proximate composition. *International Journal of Food Science and Technology*, 42, 1305-1314.
- Osundahunsi, O.F., Fagbemi, T.N., Kesselman, E., y Shimoni, E. (2003). Comparison of the physicochemical properties and pasting characteristics of flour and starch from red and white sweet potato cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(8), 2232-2236.
- Parrott, D. (2010). Microwave Technology Sterilizes Sweet Potato Puree. *Food Technology Magazine*, 64(7), 66-70.
- Ridley, S.C., Lim, M., Heenan, S. y Bremer, P. (2005). Evaluation of sweet potato cultivars and heating methods for control of maltose production, viscosity and sensory quality. *Journal of Food Quality*, 28, 191-204.
- Rodríguez-Amaya, D. (1999). Changes in carotenoids during processing and storage of foods. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 49, 38-47.
- Rodríguez-Amaya, D.B. y Kimura, M. (2004). *HarvestPlus handbook for carotenoid analysis*. HarvestPlus Technical Monograph 2. Washington DC and Cali, Colombia: International Food Policy Research Institute (IFPRI) and International Center for Tropical Agriculture (CIAT).
- Rosalina, I. y Bhattacharya, M. (2002). Dynamic rheological measurements and analysis of starch gels. *Carbohydrate Polymers*, 48, 191-202.
- Saigusa, N., Terahara, N. y Ohba, R. (2005). Evaluation of DPPH-radical-scavenging activity and antimutagenicity and analysis of anthocyanins in an alcoholic fermented beverage produced from cooked or raw purple-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* cv. Ayamurasaki) roots. *Food Science and Technology Research*, 11(4), 390-394.
- Servicio Nacional del Aprendizaje (SENA) y Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC). (2011). *El cultivo de la batata. Una oportunidad agroalimentaria para pequeños productores de clima cálido*. Recuperado de:
<http://www.sac.org.co/images/contenidos/Cartillas/Cartilla%20Batata.pdf>
- Shao, Y-Y. y Huang, Y-C. (2008). Effects of steaming and kneading with presteaming treatments on the physicochemical properties of various genotypes of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Journal of Food Process Engineering*, 31, 739-753.

- Sinha, J., Chawla, P. y Singh, H. (2015). Effect of cooking methods on β carotene, anthocyanin, vitamin C and antioxidant content of sweet potato. *International Journal of Food and Nutritional Sciences*, 4, 114-119.
- Steffe, J.F. (1996). *Rheological methods in food process engineering*. 2nd Edition. East Lansing, MI, USA: Freeman Press.
- Stolle-Smits, T., Donkers, J., Van Dijk, C., Derksen, J. y Sassen, M.M.A. (1998). An electron microscopy study on the texture of fresh, blanched and sterilized green bean pods (*Phaseolus vulgaris* L.). *Lebensmittel Wissenschaft und-Technologie*, 31(3), 237-244.
- Takahata, Y., Noda, T. y Nagata, T. (1994). Effect of α -amylase stability and starch gelatinization during heating on varietal differences in maltose content in sweet potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42, 2564-2569.
- Takahata, Y., Noda, T. y Sato, T. (1995). Changes in carbohydrates and enzyme activities of sweet potato lines during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, 1923-1928.
- Tanumihardjo, S.A. (2008). Food-based approaches for ensuring adequate vitamin A nutrition. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7, 373-381.
- Techeira, N., Sívoli, L., Perdomo, B., Ramírez, A. y Sosa, F. (2014). Caracterización físicoquímica, funcional y nutricional de harinas crudas obtenidas a partir de diferentes variedades de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), batata (*Ipomoea batatas* Lam) y ñame (*Dioscorea alata*), cultivadas en Venezuela. *Interciencia*, 39(3), 191-197.
- Tomlins, K., Rwiza, E., Nyango, A., Amour, R., Ngendello, T., Kapinga, R., Rees, D. y Jolliffe, F. (2004). The use of sensory evaluation and consumer preference for the selection of sweetpotato cultivars in East Africa. *J. Sci. Food Agric.* 84, 791-799.
- Truong, V.D., Walter, W.M.Jr. y Hamann, D.D. (1997). Relationship between instrumental and sensory parameters of cooked sweetpotato texture. *Journal of Texture Studies*, 28, 163-185.
- Truong, V.D., Walter W.M. y Bett K.L. (1998). Textural properties and sensory quality of processed sweet potatoes as affected by low temperature blanching. *Journal of Food Science*, 63(4), 739-743.
- Truong, V.D. y Avula, R.Y. (2010). Sweet potato purees and powders for functional food ingredients. In R.C. Ray & K.I. Tomlins (Eds.), *Sweet Potato: Post Harvest Aspects in Food* (pp. 117-161). New York: Nova Science Publishers, Inc.
- Truong, V.D., Avula, R.Y., Pecota, K. y Yencho, C.G. (2011). Sweetpotatoes. In N.K. Sinha (Ed.), *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing* (pp. 717-737). Iowa: Wiley-Blackwell.

- Utomo, J.S., Che Man, Y.B., Rahman, R.A. y Saad, M.S. (2005). Physical and chemical characteristics of restructured sweet potato sticks made from three sweet potato cultivars. In: *Second International Symposium on Sweet potato and Cassava*. Kaula Lumpur, Malaysia.
- Van Dijk, C., Fischer, M., Beekhuizen, J.G., Boeriu, C. y Stolle-Smits, T. (2002). Texture of cooked potatoes (*Solanum tuberosum*). 3. Preheating and the consequences for the texture and cell wall chemistry. *J Agric Food Chem*, 50, 5098-5106.
- Van Hal, M. (2000). Quality of sweet potato flour during processing and storage. *Food Reviews International*, 16, 1-37.
- Van Het Hof, K.H., West, C.E., Weststrate, J.A. y Hautvast, J.G. (2000). Dietary factors that affect the bioavailability of carotenoids. *Journal of Nutrition*, 130, 503-506.
- Van Jaarsveld, P.J., Faber, M., Tanumihardjo, S.A., Nestel, P., Lombard, C.J. y Benade, J.S. (2005). β -carotene-rich orange-fleshed sweet potato improves the vitamin A status of primary school children assessed with the modified-relative-dose-response test. *American Journal of Clinical Nutrition*, 81, 1080-1087.
- Van Jaarsveld, P., De Wet, M., Harmse, E., Nestel, P. y Rodriguez-Amaya, D. (2006). Retention of b-carotene in boiled, mashed orange fleshed sweet potato. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 321-329.
- Velho, L.C. (2016). *Avaliação da retenção de nutrientes, aspectos sensoriais e microbiológicos de batata-doce (Ipomoea batatas (L.) Lam.) submetida a diferentes métodos de cocção* (Dissertação Mestrado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil.
- Walter, W.M.Jr. y Wilson, P.W. (1992). Frozen sweet potato products. In Hill, W.A., Bonsi, C.K., Loretan, P.A. (Eds.), *Sweet Potato Technology for the 21st Century* (pp. 400-406). Alabama, USA.
- Walter, W.M.Jr. y Schwartz, S.J. (1993). Controlled heat processing of Jewel sweet potatoes for puree production. *Journal of Food Quality*, 16, 71-80.
- Walter, W.M.Jr., Truong, V.D. y Espinel, K.R. (1999). Effects of puree processing methods on the textural characteristics of an alginate-texturized sweet potato product. *Journal Food Quality*, 22, 631-640.
- Walter, W.M.Jr., Truong, V.D., Simunovic, N. y Mcfeeters, R.F. (2003). Low-temperature blanching of sweetpotatoes to improve firmness retention: Effect on compositional and textural properties. *Journal of Food Science*, 68(4), 1244-1247.
- Welti-Chanes, J., Vélez-Ruiz, J.F. y Barbosa-Cánovas, G.V. (Eds.). (2003). *Transport phenomena in food processing*. Boca Ratón, FL, USA: CRC Press LLC.

- Woolfe, J.A. (1992). *Sweetpotato: An untapped food resource*. Cambridge University Press, New York.
- Wu, X., Sun, C., Yang, L., Zeng, G., Liu, Z. y Li, Y. (2008). β -carotene content in sweet potato varieties from China and the effect of preparation on β -carotene retention in the Yanshu N°. 5. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9, 581-586.
- Yasufumi, K. y Shigeki, M. (2000). Effect of lactic acid bacteria on antioxidant activity of sweet potato yogurt. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology*, 47, 727-730.
- Zaccari, F. (2010). Color y contenido de β -carotenos en boniatos, crudos y cocidos, durante su almacenamiento en Uruguay. *Agrociencia Uruguay* 16(1), 24-32.

10. ANEXOS

ANEXO A. Diseño experimental (Diseño Central Compuesto Rotable DCCR)

ANEXO B. Resultados de pérdida de fase líquida y variación de volumen

ANEXO C. Análisis estadístico de pérdida de fase líquida y variación de volumen

ANEXO D. Resultados de color

ANEXO E. Análisis estadístico de color

ANEXO F. Resultados de textura

ANEXO G. Análisis estadístico de textura

ANEXO H. Análisis estadístico de reología dinámica

ANEXO I. Análisis estadístico de contenido de beta-caroteno

ANEXO A. DISEÑO EXPERIMENTAL DCCR

Tabla 9. Matriz del diseño del DCCR para los factores tiempo de cocción y tiempo de congelación.

Tratamiento	<i>Codificado</i>	<i>Valor real</i>	Cocción (min)	Congelación (días)	
	Cocción	Congelación			
1	-1	-1	4	13	4 puntos del factorial 2 ²
2	-1	1	4	60	
3	1	-1	20	13	
4	1	1	20	60	
5	-1,5	0	1	37	4 puntos axiales con $\alpha=1.5$
6	1,5	0	24	37	
7	0	-1,5	12	1	
8	0	1,5	12	72	
9	0	0	12	37	5 puntos centrales
10	0	0	12	37	
11	0	0	12	37	
12	0	0	12	37	
13	0	0	12	37	

ANEXO B. RESULTADOS DE PÉRDIDA DE FASE LÍQUIDA Y VOLUMEN

Tabla 10. Variables codificadas y no codificadas del DCCR y resultados de pérdida de fase líquida y variación de volumen para muestras de batata después de la descongelación.

Tratamiento	Codificado		No codificado		Pérdida de Fase Líquida	Variación de Volumen
	X1	X2	Cocción (min)	Congelación (días)	Δm	ΔV
Proceso 1 (C+F)						
1	-1	-1	4	13	0.011 a	0.046 a
2	-1	1	4	60	0.026 b,c	0.091 c-e
3	1	-1	20	13	0.020 a,b	0.068 b
4	1	1	20	60	0.026 b,c	0.114 f,g
5	-1,5	0	1	37	0.028 b,c	0.088 c,d
6	1,5	0	24	37	0.038 c	0.113 f,g
7	0	-1,5	12	1	0.019 a,b	0.073 b,c
8	0	1,5	12	72	0.033 b,c	0.141 h
9	0	0	12	37	0.030 b,c	0.116 g
10	0	0	12	37	0.027 b,c	0.098 d-f
11	0	0	12	37	0.025 a-c	0.090 c-e
12	0	0	12	37	0.028 b,c	0.106 d-g
13	0	0	12	37	0.028 b,c	0.107 e-g
Valor P*					(P<0.002)	(P<0.002)
Proceso 2 (F+C)						
14	-1	-1	4	13	0.029 a,b	0.134 a,b
15	-1	1	4	60	0.033 a-c	0.163 c,d
16	1	-1	20	13	0.039 a-c	0.148 b,c
17	1	1	20	60	0.045 b,c	0.167 c,d
18	-1,5	0	1	37	0.040 a-c	0.156 c,d
19	1,5	0	24	37	0.043 b,c	0.176 d
20	0	-1,5	12	1	0.024 a	0.125 a
21	0	1,5	12	72	0.048 c	0.211 e
22	0	0	12	37	0.042 b,c	0.164 c,d
23	0	0	12	37	0.040 a-c	0.177 d
24	0	0	12	37	0.041 b,c	0.175 d
25	0	0	12	37	0.043 b,c	0.157 c,d
26	0	0	12	37	0.041 a-c	0.159 c,d
Valor P*					(P<0.002)	(P<0.002)
Proceso 3 (B+F+C)						
27	-1	-1	4	13	0.010 a	0.032 a
28	-1	1	4	60	0.014 a	0.071 b-d
29	1	-1	20	13	0.010 a	0.055 b
30	1	1	20	60	0.019 a,b	0.106 g
31	-1,5	0	1	37	0.014 a	0.076 d,e
32	1,5	0	24	37	0.020 a,b	0.102 f,g
33	0	-1,5	12	1	0.015 a,b	0.057 b,c
34	0	1,5	12	72	0.027 b	0.128 h
35	0	0	12	37	0.015 a,b	0.091 e-g
36	0	0	12	37	0.011 a	0.074 c-e
37	0	0	12	37	0.014 a	0.081 d,e
38	0	0	12	37	0.013 a	0.077 d,e
39	0	0	12	37	0.013 a	0.087 d-f
Valor P*					(P<0.002)	(P<0.002)

* Nivel de significancia

Los valores corresponden a los promedios de tres determinaciones.

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: El autor

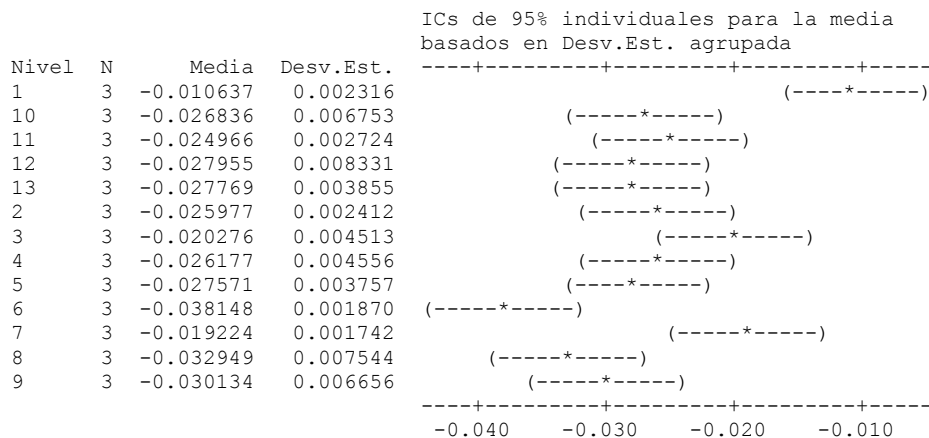
ANEXO C. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PÉRDIDA DE FASE LÍQUIDA Y VOLUMEN

PROCESO 1 (COCCIÓN-CONGELACIÓN)

ANOVA unidireccional: Am vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	12	0.0016165	0.0001347	5.62	0.000
Error	26	0.0006229	0.0000240		
Total	38	0.0022394			

S = 0.004895 R-cuad. = 72.18% R-cuad.(ajustado) = 59.35%



Desv.Est. agrupada = 0.004895

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
1	3	-0.010637	A
7	3	-0.019224	A B
3	3	-0.020276	A B
11	3	-0.024966	A B C
2	3	-0.025977	B C
4	3	-0.026177	B C
10	3	-0.026836	B C
5	3	-0.027571	B C
13	3	-0.027769	B C
12	3	-0.027955	B C
9	3	-0.030134	B C
8	3	-0.032949	B C
6	3	-0.038148	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.88%

ANOVA unidireccional: AV vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	12	0.0218690	0.0018224	46.64	0.000
Error	26	0.0010159	0.0000391		
Total	38	0.0228849			

S = 0.006251 R-cuad. = 95.56% R-cuad.(ajustado) = 93.51%

				ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada			
Nivel	N	Media	Desv.Est.	+-----+-----+-----+-----			
1	3	-0.04572	0.00152				(---)
10	3	-0.09776	0.00706		(---)		
11	3	-0.09040	0.00850		(---)		
12	3	-0.10572	0.00786		(---)		
13	3	-0.10732	0.00756		(---)		
2	3	-0.09112	0.00376		(---)		
3	3	-0.06802	0.00393			(---)	
4	3	-0.11408	0.00581	(---)			
5	3	-0.08769	0.00834		(---)		
6	3	-0.11322	0.00523	(---)			
7	3	-0.07313	0.00638			(---)	
8	3	-0.14145	0.00499	(---)			
9	3	-0.11643	0.00624		(---)		
				+-----+-----+-----+-----			
				-0.150	-0.120	-0.090	-0.060

Desv.Est. agrupada = 0.00625

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
1	3	-0.04572	A
3	3	-0.06802	B
7	3	-0.07313	B C
5	3	-0.08769	C D
11	3	-0.09040	C D E
2	3	-0.09112	C D E
10	3	-0.09776	D E F
12	3	-0.10572	D E F G
13	3	-0.10732	E F G
6	3	-0.11322	F G
4	3	-0.11408	F G
9	3	-0.11643	G
8	3	-0.14145	H

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.88%

Regresión de superficie de respuesta: Am vs. Cocción-Congelación

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	10.8663	2.17326	6.22	0.000
Lineal	2	8.2225	4.11124	11.77	0.000
Coccion	1	2.4603	2.46026	7.04	0.012
Congelacion	1	5.7622	5.76223	16.50	0.000
Cuadrado	2	1.5520	0.77598	2.22	0.124
Coccion*Coccion	1	0.0531	0.05308	0.15	0.699
Congelacion*Congelacion	1	1.3684	1.36835	3.92	0.056
Interacción de 2 factores	1	0.6682	0.66824	1.91	0.176
Coccion*Congelacion	1	0.6682	0.66824	1.91	0.176
Error	33	11.5273	0.34931		
Falta de ajuste	3	4.8760	1.62534	7.33	0.001
Error puro	30	6.6513	0.22171		
Total	38	22.3936			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.591027	48.52%	40.72%	25.94%

Coeficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		2.744	0.153	17.99	0.000	
Coccion	0.913	0.457	0.172	2.65	0.012	1.00
Congelacion	1.432	0.716	0.176	4.06	0.000	1.01
Coccion*Coccion	0.204	0.102	0.261	0.39	0.699	1.03
Congelacion*Congelacion	-1.053	-0.526	0.266	-1.98	0.056	1.03
Coccion*Congelacion	-1.018	-0.509	0.368	-1.38	0.176	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\Delta m = 0.489 + 0.0663 \text{ Coccion} + 0.0669 \text{ Congelacion} + 0.00077 \text{ Coccion} * \text{Coccion} - 0.000424 \text{ Congelacion} * \text{Congelacion} - 0.001255 \text{ Coccion} * \text{Congelacion}$$

Regresión de superficie de respuesta: ΔV vs. Cocción-Congelación

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	170.807	34.161	19.42	0.000
Lineal	2	155.236	77.618	44.13	0.000
Coccion	1	23.460	23.460	13.34	0.001
Congelacion	1	131.775	131.775	74.92	0.000
Cuadrado	2	12.975	6.488	3.69	0.036
Coccion*Coccion	1	12.069	12.069	6.86	0.013
Congelacion*Congelacion	1	2.280	2.280	1.30	0.263
Interacción de 2 factores	1	0.003	0.003	0.00	0.966
Coccion*Congelacion	1	0.003	0.003	0.00	0.966
Error	33	58.043	1.759		
Falta de ajuste	3	36.148	12.049	16.51	0.000
Error puro	30	21.895	0.730		
Total	38	228.849			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.32622	74.64%	70.79%	63.00%

Coeficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		10.348	0.342	30.24	0.000	
Coccion	2.821	1.410	0.386	3.65	0.001	1.00
Congelacion	6.848	3.424	0.396	8.66	0.000	1.01
Coccion*Coccion	-3.073	-1.536	0.587	-2.62	0.013	1.03
Congelacion*Congelacion	-1.359	-0.679	0.597	-1.14	0.263	1.03
Coccion*Congelacion	0.071	0.036	0.826	0.04	0.966	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

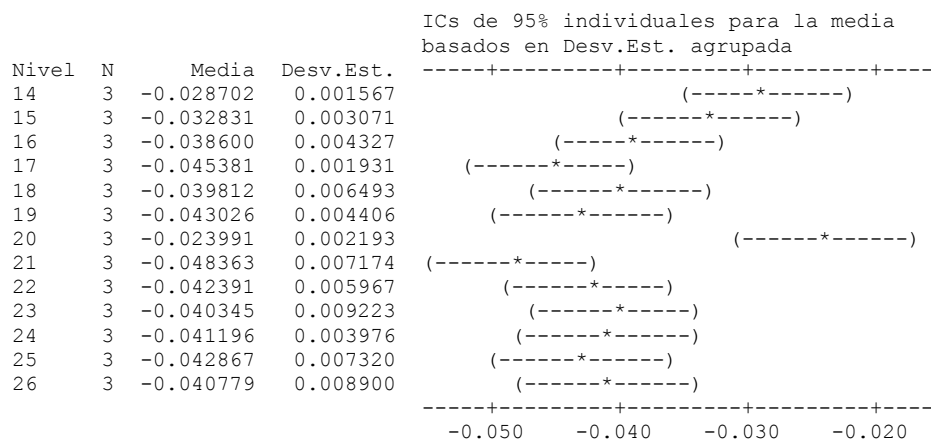
$$\Delta V = 2.77 + 0.410 \text{ Coccion} + 0.1359 \text{ Congelacion} - 0.01162 \text{ Coccion} * \text{Coccion} - 0.000547 \text{ Congelacion} * \text{Congelacion} + 0.00009 \text{ Coccion} * \text{Congelacion}$$

PROCESO 2 (CONGELACIÓN-COCCIÓN)

ANOVA unidireccional: Δm vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	12	0.0016527	0.0001377	4.25	0.001
Error	26	0.0008429	0.0000324		
Total	38	0.0024957			

S = 0.005694 R-cuad. = 66.22% R-cuad. (ajustado) = 50.63%



Desv.Est. agrupada = 0.005694

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
20	3	-0.023991	A
14	3	-0.028702	A B
15	3	-0.032831	A B C
16	3	-0.038600	A B C
18	3	-0.039812	A B C
23	3	-0.040345	A B C
26	3	-0.040779	A B C
24	3	-0.041196	B C
22	3	-0.042391	B C
25	3	-0.042867	B C
19	3	-0.043026	B C
17	3	-0.045381	B C
21	3	-0.048363	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

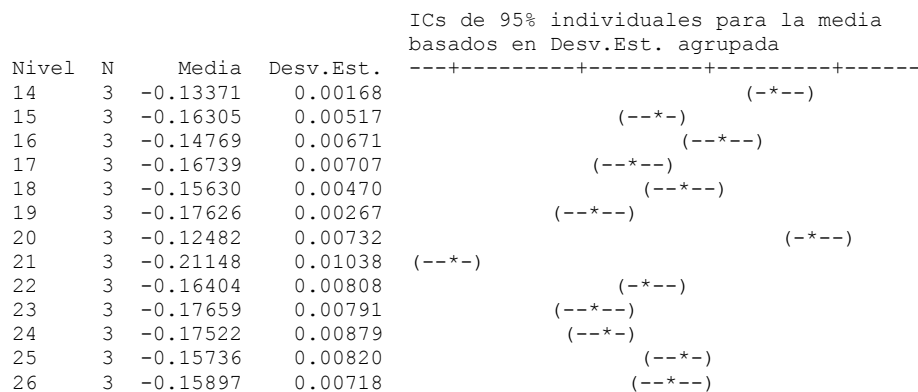
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.88%

ANOVA unidireccional: ΔV vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	12	0.0165619	0.0013802	28.08	0.000
Error	26	0.0012779	0.0000492		
Total	38	0.0178399			

S = 0.007011 R-cuad. = 92.84% R-cuad.(ajustado) = 89.53%



-----+-----+-----+-----+-----
-0.210 -0.180 -0.150 -0.120

Desv.Est. agrupada = 0.00701

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
20	3	-0.12482	A
14	3	-0.13371	A B
16	3	-0.14769	B C
18	3	-0.15630	C D
25	3	-0.15736	C D
26	3	-0.15897	C D
15	3	-0.16305	C D
22	3	-0.16404	C D
17	3	-0.16739	C D
24	3	-0.17522	D
19	3	-0.17626	D
23	3	-0.17659	D
21	3	-0.21148	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.88%

Regresión de superficie de respuesta: Am vs. Congelación-Cocción

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	12.9242	2.58485	7.09	0.000
Lineal	2	10.6517	5.32584	14.61	0.000
Coccion	1	2.6469	2.64695	7.26	0.011
Congelacion	1	8.0047	8.00472	21.95	0.000
Cuadrado	2	2.1603	1.08014	2.96	0.066
Coccion*Coccion	1	0.1844	0.18436	0.51	0.482
Congelacion*Congelacion	1	2.1232	2.12323	5.82	0.022
Interacción de 2 factores	1	0.0527	0.05272	0.14	0.706
Coccion*Congelacion	1	0.0527	0.05272	0.14	0.706
Error	33	12.0326	0.36462		
Falta de ajuste	3	3.4649	1.15495	4.04	0.016
Error puro	30	8.5677	0.28559		
Total	38	24.9568			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.603840	51.79%	44.48%	32.98%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		4.176	0.156	26.80	0.000	
Coccion	0.948	0.474	0.176	2.69	0.011	1.00
Congelacion	1.688	0.844	0.180	4.69	0.000	1.01
Coccion*Coccion	-0.380	-0.190	0.267	-0.71	0.482	1.03
Congelacion*Congelacion	-1.311	-0.656	0.272	-2.41	0.022	1.03
Coccion*Congelacion	0.286	0.143	0.376	0.38	0.706	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

Am = 2.020 + 0.0642 Coccion + 0.0581 Congelacion - 0.00144 Coccion*Coccion
- 0.000528 Congelacion*Congelacion + 0.000353 Coccion*Congelacion

Regresión de superficie de respuesta: ΔV vs. Congelación-Cocción

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	125.291	25.058	15.57	0.000
Lineal	2	118.453	59.226	36.80	0.000
Coccion	1	7.851	7.851	4.88	0.034
Congelacion	1	110.602	110.602	68.73	0.000
Cuadrado	2	3.157	1.578	0.98	0.386
Coccion*Coccion	1	2.609	2.609	1.62	0.212
Congelacion*Congelacion	1	0.991	0.991	0.62	0.438
Interacción de 2 factores	1	0.697	0.697	0.43	0.515
Coccion*Congelacion	1	0.697	0.697	0.43	0.515
Error	33	53.108	1.609		
Falta de ajuste	3	30.603	10.201	13.60	0.000
Error puro	30	22.505	0.750		
Total	38	178.399			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.26859	70.23%	65.72%	56.44%

Coeficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		16.631	0.327	50.80	0.000	
Coccion	1.632	0.816	0.369	2.21	0.034	1.00
Congelacion	6.274	3.137	0.378	8.29	0.000	1.01
Coccion*Coccion	-1.429	-0.714	0.561	-1.27	0.212	1.03
Congelacion*Congelacion	-0.896	-0.448	0.571	-0.78	0.438	1.03
Coccion*Congelacion	-1.039	-0.520	0.790	-0.66	0.515	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$\Delta V = 10.59 + 0.253 \text{ Coccion} + 0.1313 \text{ Congelacion} - 0.00540 \text{ Coccion} \cdot \text{Coccion}$
 $- 0.000360 \text{ Congelacion} \cdot \text{Congelacion} - 0.00128 \text{ Coccion} \cdot \text{Congelacion}$

PROCESO 3 (ESCALDADO-CONGELACIÓN-COCCIÓN)

ANOVA unidireccional: Δm vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	12	0.0007559	0.0000630	3.82	0.002
Error	26	0.0004282	0.0000165		
Total	38	0.0011841			

S = 0.004058 R-cuad. = 63.83% R-cuad. (ajustado) = 47.14%

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
27	3	-0.010194	0.002115	(-----*-----)
28	3	-0.013757	0.003385	(-----*-----)
29	3	-0.010471	0.003539	(-----*-----)
30	3	-0.018679	0.004854	(-----*-----)
31	3	-0.014288	0.002060	(-----*-----)
32	3	-0.020156	0.002353	(-----*-----)
33	3	-0.015089	0.004289	(-----*-----)
34	3	-0.027063	0.005616	(-----*-----)
35	3	-0.015140	0.005158	(-----*-----)
36	3	-0.011433	0.005383	(-----*-----)
37	3	-0.014152	0.004650	(-----*-----)
38	3	-0.013331	0.004715	(-----*-----)

37	3	-0.08144	D E
39	3	-0.08702	D E F
35	3	-0.09147	E F G
32	3	-0.10228	F G
30	3	-0.10601	G
34	3	-0.12830	H

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.88%

Regresión de superficie de respuesta: Δm vs. Congelación-Cocción

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	5.4008	1.08015	5.53	0.001
Lineal	2	3.9736	1.98679	10.18	0.000
Coccion	1	0.7496	0.74957	3.84	0.059
Congelacion	1	3.2240	3.22401	16.52	0.000
Cuadrado	2	1.4070	0.70352	3.60	0.038
Coccion*Coccion	1	0.0712	0.07120	0.36	0.550
Congelacion*Congelacion	1	1.4017	1.40167	7.18	0.011
Interacción de 2 factores	1	0.1618	0.16182	0.83	0.369
Coccion*Congelacion	1	0.1618	0.16182	0.83	0.369
Error	33	6.4402	0.19516		
Falta de ajuste	3	1.9251	0.64169	4.26	0.013
Error puro	30	4.5151	0.15050		
Total	38	11.8409			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.441765	45.61%	37.37%	21.70%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		1.331	0.114	11.68	0.000	
Coccion	0.504	0.252	0.129	1.96	0.059	1.00
Congelacion	1.071	0.536	0.132	4.06	0.000	1.01
Coccion*Coccion	0.236	0.118	0.195	0.60	0.550	1.03
Congelacion*Congelacion	1.065	0.533	0.199	2.68	0.011	1.03
Coccion*Congelacion	0.501	0.250	0.275	0.91	0.369	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$\Delta m = 1.495 - 0.0229 \text{ Coccion} - 0.0238 \text{ Congelacion} + 0.00089 \text{ Coccion} \cdot \text{Coccion}$
 $+ 0.000429 \text{ Congelacion} \cdot \text{Congelacion} + 0.000618 \text{ Coccion} \cdot \text{Congelacion}$

Regresión de superficie de respuesta: ΔV vs. Congelación-Cocción

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	173.190	34.638	21.44	0.000
Lineal	2	170.853	85.426	52.88	0.000
Coccion	1	33.682	33.682	20.85	0.000
Congelacion	1	137.171	137.171	84.91	0.000
Cuadrado	2	1.655	0.827	0.51	0.604
Coccion*Coccion	1	1.602	1.602	0.99	0.327
Congelacion*Congelacion	1	0.000	0.000	0.00	0.989
Interacción de 2 factores	1	1.010	1.010	0.63	0.435
Coccion*Congelacion	1	1.010	1.010	0.63	0.435

Error	33	53.310	1.615		
Falta de ajuste	3	37.107	12.369	22.90	0.000
Error puro	30	16.203	0.540		
Total	38	226.499			

Resumen del modelo

	S	R-cuad.	R-cuad.	R-cuad.	R-cuad.
			(ajustado)	(pred)	
1.27100	76.46%	72.90%	64.79%		

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		8.226	0.328	25.08	0.000	
Coccion	3.380	1.690	0.370	4.57	0.000	1.00
Congelacion	6.987	3.493	0.379	9.21	0.000	1.01
Coccion*Coccion	-1.120	-0.560	0.562	-1.00	0.327	1.03
Congelacion*Congelacion	0.015	0.008	0.572	0.01	0.989	1.03
Coccion*Congelacion	1.251	0.626	0.791	0.79	0.435	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\Delta V = 2.82 + 0.196 \text{ Coccion} + 0.0794 \text{ Congelacion} - 0.00423 \text{ Coccion} * \text{Coccion} + 0.000006 \text{ Congelacion} * \text{Congelacion} + 0.00154 \text{ Coccion} * \text{Congelacion}$$

ANEXO D. RESULTADOS DE COLOR

Tabla 11. Variables codificadas y no codificadas del DCCR y resultados de los parámetros de color para muestras de batata fresca, tratadas y control.

Tratamiento	Codificado		No codificado		PARÁMETROS DE COLOR					
	X1	X2	Cocción (min)	Congelación (días)	L*	a*	b*	ΔE	C*	h
Fresco					69.65 a	22.13 a	48.63 a	-	53.43 a	65.54 d
Proceso 1 (C+F)										
Control*					55.57 e,f	15.16 g	43.28 b-d	16.71 a,b	45.86 b-e	70.70 a
1	-1	-1	4	13	56.88 c-e	21.91 a,b	42.72 c-d	14.18 a-d	48.01 b-e	62.85 e
2	-1	1	4	60	56.38 d,e	21.66 a,b	40.18 d-e	15.92 a,b	45.65 c-e	61.71 e
3	1	-1	20	13	56.62 c-e	16.91 e-g	43.01 c,d	15.18 a-c	46.21 b-e	68.55 b
4	1	1	20	60	55.39 e,f	15.85 f,g	41.44 c-e	17.26 a	44.37 d,e	69.08 a,b
5	-1,5	0	1	37	57.91 b-d	20.81 a-c	39.10 e	15.29 a-c	44.30 e	61.99 e
6	1,5	0	24	37	59.39 b	17.73 d-f	46.68 a,b	11.40 d	49.93 a,b	69.20 a,b
7	0	-1,5	12	1	54.23 f	18.92 c-e	41.97 c-e	17.17 a	46.04 b-e	65.73 c,d
8	0	1,5	12	72	58.70 b,c	19.42 b-e	43.50 b-d	12.47 c,d	47.64 b-e	65.95 c,d
9	0	0	12	37	56.07 d-f	20.02 a-d	44.12 b,c	14.56 a-d	48.45 b-d	65.59 d
10	0	0	12	37	56.45 d,e	19.05 c-e	44.14 b,c	14.35 a-d	48.07 b-e	66.66 c,d
11	0	0	12	37	56.98 c-e	19.05 c-e	43.13 b-d	14.24 a-d	47.15 b-e	66.17 c,d
12	0	0	12	37	56.74 c-e	17.61 d-g	42.39 c-e	15.12 a-c	45.90 b-e	67.45 b,c
13	0	0	12	37	56.94 c-e	19.66 a-d	44.68 b,c	13.63 b-d	48.81 b,c	66.25 c,d
Valor P**					(P<0.001)	(P<0.001)	(P<0.001)	(P<0.001)	(P<0.001)	(P<0.001)
Proceso 2 (F+C)										
Control*					55.57 b,c	15.15 d,e	43.28 b	16.71 d-f	45.86 b	70.70 a
14	-1	-1	4	13	54.55 b-e	17.89 b	37.43 d-f	19.33 b-e	41.48 d-f	64.45 e,f
15	-1	1	4	60	55.67 b,c	21.06 a	39.97 c,d	16.58 d-f	45.18 b,c	62.23 f
16	1	-1	20	13	53.55 c-f	14.43 d,e	38.67 d-f	20.48 b,c	41.28 d-f	69.54 a,b
17	1	1	20	60	50.97 f	13.72 e	33.78 g	25.34 a	36.46 g	67.92 b-d
18	-1,5	0	1	37	56.51 b	20.55 a	39.71 c,d	16.04 e,f	44.71 b,c	62.64 f
19	1,5	0	24	37	52.75 d-f	13.79 e	37.44 d-f	21.95 b,c	39.91 e,f	69.77 a,b
20	0	-1,5	12	1	56.68 b	15.76 c-e	42.07 b,c	15.91 f	44.92 b,c	69.47 a,b
21	0	1,5	12	72	55.19 b-d	14.35 d,e	36.89 e,f	20.26 b,c	39.59 f	68.72 a-c
22	0	0	12	37	54.08 b-e	16.28 b-d	39.74 c,d	18.90 c-f	42.94 c,d	67.72 b-d
23	0	0	12	37	53.55 c-f	17.34 b,c	40.00 c,d	18.95 c-f	43.59 b-d	66.56 c-e
24	0	0	12	37	52.37 e,f	14.99 d,e	36.39 f,g	22.41 a,b	39.36 f	67.61 b-d
25	0	0	12	37	54.91 b-e	14.82 d,e	39.74 c,d	18.73 c-f	42.41 c-e	69.56 a,b
26	0	0	12	37	53.72 c-f	15.33 c-e	39.59 c-e	19.58 b-d	42.46 c-e	68.83 a-c
Valor P**					(P<0.001)	(P<0.001)	(P<0.001)	(P<0.001)	(P<0.001)	(P<0.001)
Proceso 3 (B+F+C)										
Control*					55.57 d-f	15.15 g	43.28 b	16.71 b,c	45.86 b,c	70.70 a
27	-1	-1	4	13	55.27 d-f	19.71 b,c	42.29 b,c	15.99 b,c	46.66 b	65.01 e,f
28	-1	1	4	60	56.92 c-e	19.92 b	41.58 b,c	14.82 b-d	46.11 b,c	64.41 f
29	1	-1	20	13	53.70 f	15.46 g	38.86 d	19.90 a	41.82 d	68.31 a-c
30	1	1	20	60	56.19 d,e	16.16 e-g	42.72 b,c	15.91 b,c	45.68 b,c	69.27 a,b
31	-1,5	0	1	37	59.25 b	19.78 b,c	42.18 b,c	12.53 d	46.59 b	64.87 e,f
32	1,5	0	24	37	56.96 c,d	15.69 f,g	42.00 b,c	15.72 b,c	44.83 b,c	69.52 a,b
33	0	-1,5	12	1	56.66 c-e	18.41 b-d	43.04 b	14.71 b-d	46.82 b	66.86 c-e
34	0	1,5	12	72	58.51 b,c	19.92 b	40.23 c,d	14.19 c,d	44.89 b,c	63.65 f
35	0	0	12	37	54.75 e,f	17.06 d-g	41.22 b-d	17.45 a,b	44.61 b,c	67.51 b-d
36	0	0	12	37	56.26 d,e	17.74 c-f	43.12 b	15.19 b-d	46.63 b	67.65 b-d
37	0	0	12	37	55.69 d-f	16.64 d-g	40.47 c,d	17.11 a,b	43.76 c,d	67.66 b-d
38	0	0	12	37	55.65 d-f	16.28 e-g	41.42 b,c	16.87 b,c	44.51 b,c	68.55 a-c
39	0	0	12	37	56.63 c-e	18.17 b-e	43.24 b	14.71 b-d	46.90 b	67.20 b-e
Valor P**					(P<0.001)	(P<0.001)	(P<0.001)	(P<0.001)	(P<0.001)	(P<0.001)

* Muestras de batata solo cocida durante 15 min.

** Nivel de significancia

Los valores corresponden a los promedios de tres determinaciones.

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: El autor

ANEXO E. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE COLOR

PROCESO 1 (COCCIÓN-CONGELACIÓN)

ANOVA unidireccional: L* vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	14	534.534	38.181	76.90	0.000
Error	30	14.895	0.497		
Total	44	549.429			

S = 0.7046 R-cuad. = 97.29% R-cuad. (ajustado) = 96.02%

				ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada	
Nivel	N	Media	Desv.Est.	-----+-----+-----+-----	
1	3	56.880	0.630	(-*)	
10	3	56.445	0.295	(-*)	
11	3	56.980	0.248	(-*)	
12	3	56.742	1.037	(*)	
13	3	56.935	0.833	(-*)	
2	3	56.378	1.005	(*)	
3	3	56.623	0.279	(*)	
4	3	55.385	1.158	(-*)	
5	3	57.905	0.282	(-*)	
6	3	59.385	1.266	(-*)	
7	3	54.230	0.801	(*)	
8	3	58.697	0.136	(*)	
9	3	56.067	0.451	(-*)	
Control	3	55.574	0.358	(-*)	
Fresco	3	69.646	0.178		(*)
				-----+-----+-----+-----	
				55.0	60.0 65.0 70.0

Desv.Est. agrupada = 0.705

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Fresco	3	69.646	A
6	3	59.385	B
8	3	58.697	B C
5	3	57.905	B C D
11	3	56.980	C D E
13	3	56.935	C D E
1	3	56.880	C D E
12	3	56.742	C D E
3	3	56.623	C D E
10	3	56.445	D E
2	3	56.378	D E
9	3	56.067	D E F
Control	3	55.574	E F
4	3	55.385	E F
7	3	54.230	F

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

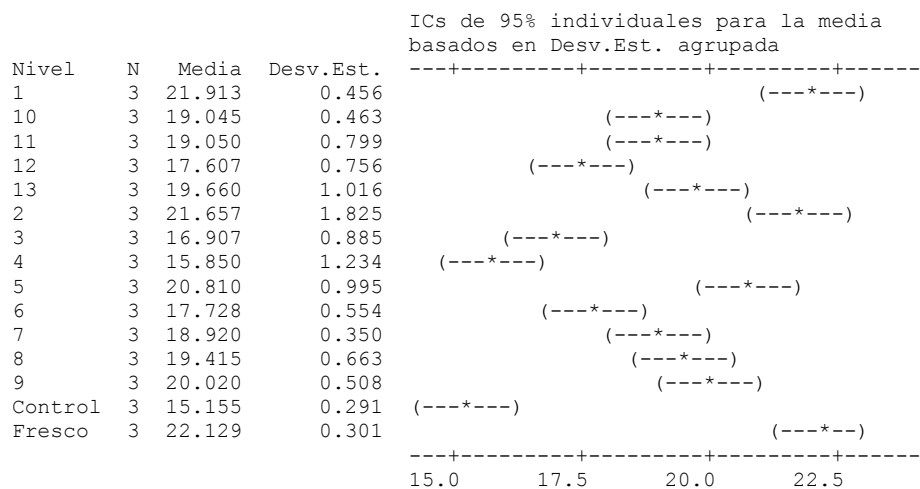
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.91%

ANOVA unidireccional: a* vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	14	188.615	13.473	19.07	0.000
Error	30	21.190	0.706		
Total	44	209.806			

S = 0.8404 R-cuad. = 89.90% R-cuad.(ajustado) = 85.19%



Desv.Est. agrupada = 0.840

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Fresco	3	22.129	A
1	3	21.913	A B
2	3	21.657	A B
5	3	20.810	A B C
9	3	20.020	A B C D
13	3	19.660	A B C D
8	3	19.415	B C D E
11	3	19.050	C D E
10	3	19.045	C D E
7	3	18.920	C D E
6	3	17.728	D E F
12	3	17.607	D E F G
3	3	16.907	E F G
4	3	15.850	F G
Control	3	15.155	G

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

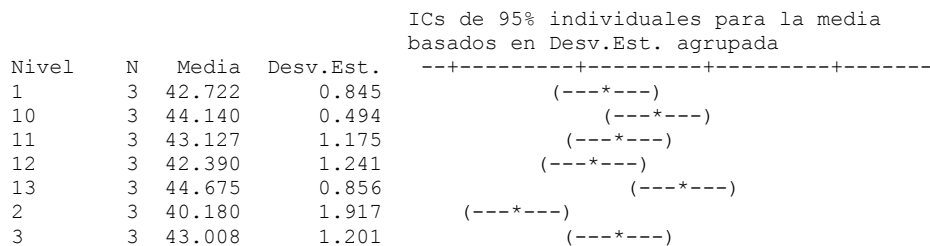
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

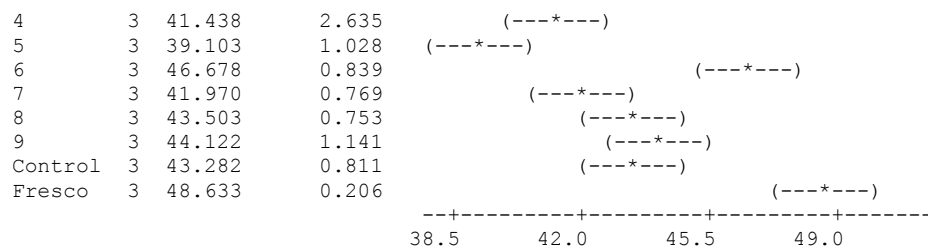
Nivel de confianza individual = 99.91%

ANOVA unidireccional: b* vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	14	231.02	16.50	11.46	0.000
Error	30	43.18	1.44		
Total	44	274.19			

S = 1.200 R-cuad. = 84.25% R-cuad.(ajustado) = 76.90%





Desv.Est. agrupada = 1.200

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Fresco	3	48.633	A
6	3	46.678	A B
13	3	44.675	B C
10	3	44.140	B C
9	3	44.122	B C
8	3	43.503	B C D
Control	3	43.282	B C D
11	3	43.127	B C D
3	3	43.008	C D
1	3	42.722	C D
12	3	42.390	C D E
7	3	41.970	C D E
4	3	41.438	C D E
2	3	40.180	D E
5	3	39.103	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

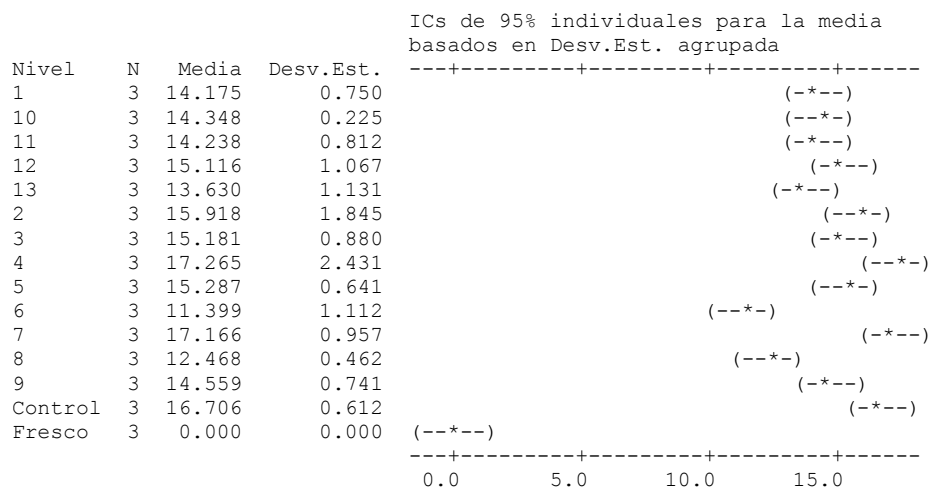
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.91%

ANOVA unidireccional: ΔE vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	14	723.98	51.71	44.38	0.000
Error	30	34.96	1.17		
Total	44	758.94			

S = 1.079 R-cuad. = 95.39% R-cuad.(ajustado) = 93.24%



Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
4	3	17.265	A
7	3	17.166	A
Control	3	16.706	A B
2	3	15.918	A B
5	3	15.287	A B C
3	3	15.181	A B C
12	3	15.116	A B C
9	3	14.559	A B C D
10	3	14.348	A B C D
11	3	14.238	A B C D
1	3	14.175	A B C D
13	3	13.630	B C D
8	3	12.468	C D
6	3	11.399	D
Fresco	3	0.000	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

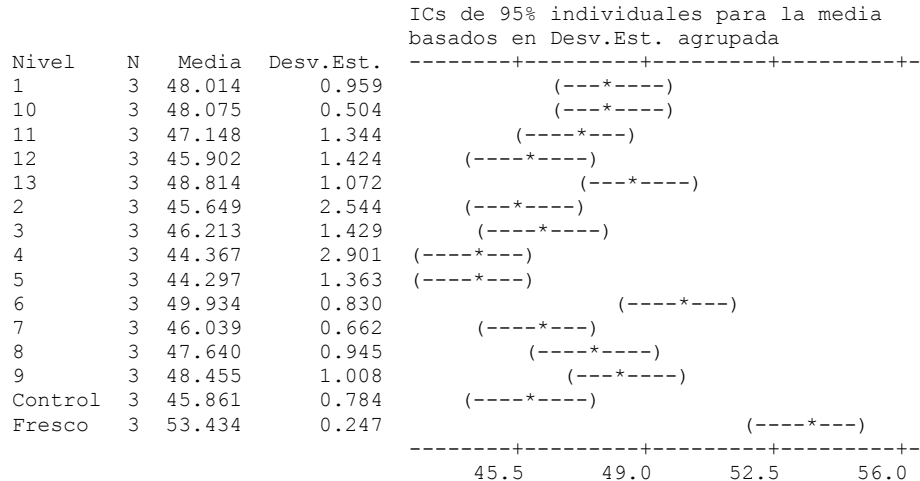
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.91%

ANOVA unidireccional: C* vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	14	229.73	16.41	8.59	0.000
Error	30	57.31	1.91		
Total	44	287.04			

S = 1.382 R-cuad. = 80.03% R-cuad.(ajustado) = 70.72%



Desv.Est. agrupada = 1.382

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Fresco	3	53.434	A
6	3	49.934	A B
13	3	48.814	B C
9	3	48.455	B C D
10	3	48.075	B C D E
1	3	48.014	B C D E
8	3	47.640	B C D E
11	3	47.148	B C D E
3	3	46.213	B C D E

Nivel de confianza individual = 99.91%

Regresión de superficie de respuesta: L* vs. Cocción-Congelación

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	25.0875	5.0175	3.15	0.020
Lineal	2	8.9041	4.4520	2.79	0.076
Coccion	1	0.6290	0.6290	0.39	0.534
Congelacion	1	8.2751	8.2751	5.19	0.029
Cuadrado	2	15.5469	7.7735	4.88	0.014
Coccion*Coccion	1	11.0038	11.0038	6.90	0.013
Congelacion*Congelacion	1	2.4249	2.4249	1.52	0.226
Interacción de 2 factores	1	0.4070	0.4070	0.26	0.617
Coccion*Congelacion	1	0.4070	0.4070	0.26	0.617
Error	33	52.5956	1.5938		
Falta de ajuste	3	36.2823	12.0941	22.24	0.000
Error puro	30	16.3133	0.5438		
Total	38	77.6831			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.26246	32.29%	22.04%	0.00%

Coeficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		56.585	0.326	173.70	0.000	
Coccion	0.462	0.231	0.368	0.63	0.534	1.00
Congelacion	1.716	0.858	0.377	2.28	0.029	1.01
Coccion*Coccion	2.934	1.467	0.558	2.63	0.013	1.03
Congelacion*Congelacion	-1.401	-0.701	0.568	-1.23	0.226	1.03
Coccion*Congelacion	-0.794	-0.397	0.786	-0.51	0.617	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

L* = 55.98 - 0.221 Coccion + 0.0778 Congelacion + 0.01109 Coccion*Coccion - 0.000564 Congelacion*Congelacion - 0.00098 Coccion*Congelacion

Regresión de superficie de respuesta: a* vs. Cocción-Congelación

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	86.611	17.3223	11.74	0.000
Lineal	2	84.832	42.4161	28.75	0.000
Coccion	1	84.672	84.6718	57.40	0.000
Congelacion	1	0.160	0.1605	0.11	0.744
Cuadrado	2	0.582	0.2912	0.20	0.822
Coccion*Coccion	1	0.578	0.5785	0.39	0.535
Congelacion*Congelacion	1	0.004	0.0039	0.00	0.959
Interacción de 2 factores	1	0.480	0.4800	0.33	0.572
Coccion*Congelacion	1	0.480	0.4800	0.33	0.572
Error	33	48.681	1.4752		
Falta de ajuste	3	17.664	5.8880	5.69	0.003
Error puro	30	31.017	1.0339		
Total	38	135.293			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.21457	64.02%	58.57%	48.06%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		18.913	0.313	60.35	0.000	
Coccion	-5.359	-2.679	0.354	-7.58	0.000	1.00
Congelacion	-0.239	-0.119	0.362	-0.33	0.744	1.01
Coccion*Coccion	0.673	0.336	0.537	0.63	0.535	1.03
Congelacion*Congelacion	0.056	0.028	0.547	0.05	0.959	1.03
Coccion*Congelacion	-0.863	-0.431	0.756	-0.57	0.572	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

a* = 21.89 - 0.258 Coccion + 0.0082 Congelacion + 0.00254 Coccion*Coccion + 0.000023 Congelacion*Congelacion - 0.00106 Coccion*Congelacion

Regresión de superficie de respuesta: b* vs. Cocción-Congelación

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	73.331	14.6662	4.55	0.003
Lineal	2	55.754	27.8769	8.65	0.001
Coccion	1	54.763	54.7628	17.00	0.000
Congelacion	1	0.991	0.9910	0.31	0.583
Cuadrado	2	14.434	7.2172	2.24	0.122
Coccion*Coccion	1	7.527	7.5271	2.34	0.136
Congelacion*Congelacion	1	9.262	9.2621	2.87	0.099
Interacción de 2 factores	1	0.708	0.7081	0.22	0.642
Coccion*Congelacion	1	0.708	0.7081	0.22	0.642
Error	33	106.322	3.2219		
Falta de ajuste	3	54.444	18.1480	10.49	0.000
Error puro	30	51.878	1.7293		
Total	38	179.653			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.79496	40.82%	31.85%	11.06%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		43.697	0.463	94.34	0.000	
Coccion	4.310	2.155	0.523	4.12	0.000	1.00
Congelacion	-0.594	-0.297	0.535	-0.55	0.583	1.01
Coccion*Coccion	-2.427	-1.213	0.794	-1.53	0.136	1.03
Congelacion*Congelacion	-2.739	-1.369	0.808	-1.70	0.099	1.03
Coccion*Congelacion	1.05	0.52	1.12	0.47	0.642	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

b* = 39.35 + 0.370 Coccion + 0.0559 Congelacion - 0.00917 Coccion*Coccion - 0.001102 Congelacion*Congelacion + 0.00129 Coccion*Congelacion

Regresión de superficie de respuesta: AE vs. Cocción-Congelación

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	15.774	3.1548	0.90	0.495
Lineal	2	7.842	3.9209	1.11	0.340
Coccion	1	4.313	4.3128	1.23	0.276
Congelacion	1	3.529	3.5290	1.00	0.324
Cuadrado	2	7.757	3.8787	1.10	0.344
Coccion*Coccion	1	0.789	0.7888	0.22	0.639
Congelacion*Congelacion	1	6.041	6.0414	1.72	0.199

Interacción de 2 factores	1	0.087	0.0870	0.02	0.876
Coccion*Congelacion	1	0.087	0.0870	0.02	0.876
Error	33	116.065	3.5171		
Falta de ajuste	3	78.385	26.1282	20.80	0.000
Error puro	30	37.680	1.2560		
Total	38	131.839			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.87540	11.96%	0.00%	0.00%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		14.449	0.484	29.86	0.000	
Coccion	-1.209	-0.605	0.546	-1.11	0.276	1.00
Congelacion	-1.121	-0.560	0.559	-1.00	0.324	1.01
Coccion*Coccion	-0.786	-0.393	0.829	-0.47	0.639	1.03
Congelacion*Congelacion	2.212	1.106	0.844	1.31	0.199	1.03
Coccion*Congelacion	0.37	0.18	1.17	0.16	0.876	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\Delta E = 16.61 + 0.005 \text{ Coccion} - 0.0865 \text{ Congelacion} - 0.00297 \text{ Coccion}^2 - 0.000890 \text{ Congelacion}^2 + 0.00045 \text{ Coccion} \cdot \text{Congelacion}$$

Regresión de superficie de respuesta: C* vs. Cocción-Congelación

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	20.526	4.1051	0.96	0.459
Lineal	2	9.750	4.8750	1.14	0.334
Coccion	1	8.687	8.6871	2.02	0.164
Congelacion	1	1.063	1.0630	0.25	0.622
Cuadrado	2	9.809	4.9046	1.14	0.331
Coccion*Coccion	1	3.831	3.8307	0.89	0.352
Congelacion*Congelacion	1	7.472	7.4722	1.74	0.196
Interacción de 2 factores	1	0.202	0.2016	0.05	0.830
Coccion*Congelacion	1	0.202	0.2016	0.05	0.830
Error	33	141.710	4.2942		
Falta de ajuste	3	69.290	23.0966	9.57	0.000
Error puro	30	72.420	2.4140		
Total	38	162.235			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
2.07225	12.65%	0.00%	0.00%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		47.618	0.535	89.05	0.000	
Coccion	1.717	0.858	0.603	1.42	0.164	1.00
Congelacion	-0.615	-0.308	0.618	-0.50	0.622	1.01
Coccion*Coccion	-1.731	-0.866	0.916	-0.94	0.352	1.03
Congelacion*Congelacion	-2.460	-1.230	0.932	-1.32	0.196	1.03
Coccion*Congelacion	0.56	0.28	1.29	0.22	0.830	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$C^* = 44.98 + 0.213 \text{ Coccion} + 0.0549 \text{ Congelacion} - 0.00654 \text{ Coccion}^2 - 0.000990 \text{ Congelacion}^2 + 0.00069 \text{ Coccion} \cdot \text{Congelacion}$$

Regresión de superficie de respuesta: h vs. Cocción-Congelación

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	211.461	42.292	73.85	0.000
Lineal	2	198.032	99.016	172.90	0.000
Coccion	1	198.031	198.031	345.80	0.000
Congelacion	1	0.001	0.001	0.00	0.970
Cuadrado	2	7.535	3.768	6.58	0.004
Coccion*Coccion	1	6.453	6.453	11.27	0.002
Congelacion*Congelacion	1	2.084	2.084	3.64	0.065
Interacción de 2 factores	1	2.084	2.084	3.64	0.065
Coccion*Congelacion	1	2.084	2.084	3.64	0.065
Error	33	18.898	0.573		
Falta de ajuste	3	3.367	1.122	2.17	0.112
Error puro	30	15.531	0.518		
Total	38	230.359			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.756747	91.80%	90.55%	88.94%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		66.618	0.195	341.16	0.000	
Coccion	8.195	4.098	0.220	18.60	0.000	1.00
Congelacion	-0.017	-0.009	0.226	-0.04	0.970	1.01
Coccion*Coccion	-2.247	-1.123	0.335	-3.36	0.002	1.03
Congelacion*Congelacion	-1.299	-0.650	0.341	-1.91	0.065	1.03
Coccion*Congelacion	1.797	0.899	0.471	1.91	0.065	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

h = 61.161 + 0.4878 Coccion + 0.0102 Congelacion - 0.00849 Coccion*Coccion - 0.000523 Congelacion*Congelacion + 0.00222 Coccion*Congelacion

PROCESO 2 (CONGELACIÓN-COCCIÓN)

ANOVA unidireccional: L* vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	14	762.212	54.444	65.02	0.000
Error	30	25.120	0.837		
Total	44	787.332			

S = 0.9151 R-cuad. = 96.81% R-cuad. (ajustado) = 95.32%

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
14	3	54.547	0.705	(-*)
15	3	55.668	0.838	(-*)
16	3	53.552	0.386	(-*)
17	3	50.972	0.896	(-*)
18	3	56.505	0.779	(-*)
19	3	52.748	1.501	(-*)
20	3	56.675	1.073	(*)
21	3	55.187	1.418	(-*)
22	3	54.077	0.454	(-*)
23	3	53.545	0.023	(-*)
24	3	52.367	1.307	(-*)
25	3	54.908	1.460	(*)

24	3	36.388	F G
17	3	33.775	G

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

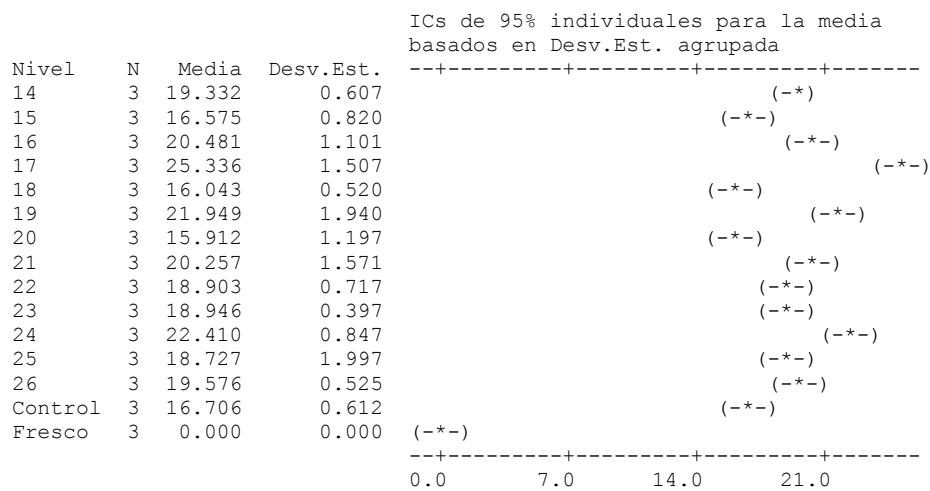
Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
 Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.91%

ANOVA unidireccional: ΔE vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	14	1327.24	94.80	76.92	0.000
Error	30	36.97	1.23		
Total	44	1364.21			

S = 1.110 R-cuad. = 97.29% R-cuad.(ajustado) = 96.03%



Desv.Est. agrupada = 1.110

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
17	3	25.336	A
24	3	22.410	A B
19	3	21.949	B C
16	3	20.481	B C
21	3	20.257	B C
26	3	19.576	B C D
14	3	19.332	B C D E
23	3	18.946	C D E F
22	3	18.903	C D E F
25	3	18.727	C D E F
Control	3	16.706	D E F
15	3	16.575	D E F
18	3	16.043	E F
20	3	15.912	F
Fresco	3	0.000	G

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

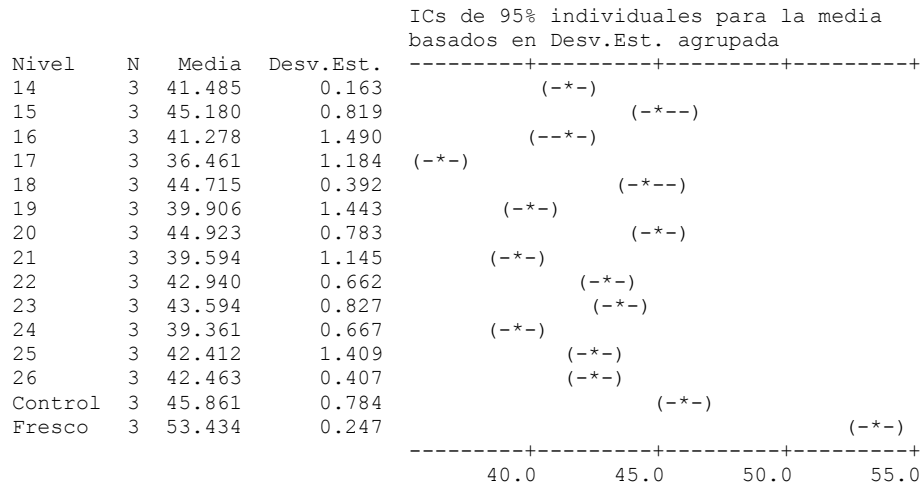
Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
 Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.91%

ANOVA unidireccional: C* vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	14	635.234	45.374	52.88	0.000
Error	30	25.740	0.858		
Total	44	660.975			

S = 0.9263 R-cuad. = 96.11% R-cuad.(ajustado) = 94.29%



Desv.Est. agrupada = 0.926

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Fresco	3	53.434	A
Control	3	45.861	B
15	3	45.180	B C
20	3	44.923	B C
18	3	44.715	B C
23	3	43.594	B C D
22	3	42.940	C D
26	3	42.463	C D E
25	3	42.412	C D E
14	3	41.485	D E F
16	3	41.278	D E F
19	3	39.906	E F
21	3	39.594	F
24	3	39.361	F
17	3	36.461	G

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

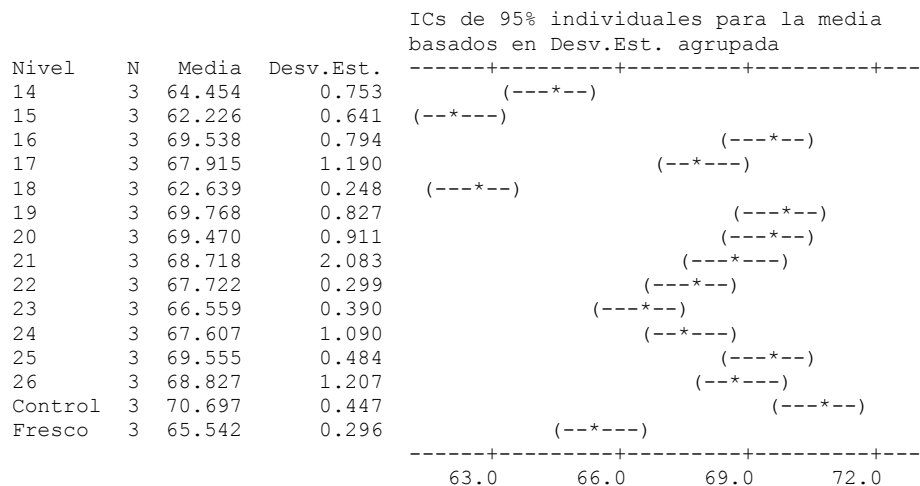
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.91%

ANOVA unidireccional: h vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	14	289.326	20.666	25.11	0.000
Error	30	24.696	0.823		
Total	44	314.022			

S = 0.9073 R-cuad. = 92.14% R-cuad.(ajustado) = 88.47%



Desv.Est. agrupada = 0.907

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Control	3	70.697	A
19	3	69.768	A B
25	3	69.555	A B
16	3	69.538	A B
20	3	69.470	A B
26	3	68.827	A B C
21	3	68.718	A B C
17	3	67.915	B C D
22	3	67.722	B C D
24	3	67.607	B C D
23	3	66.559	C D E
Fresco	3	65.542	D E
14	3	64.454	E F
18	3	62.639	F
15	3	62.226	F

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.91%

Regresión de superficie de respuesta: L* vs. Congelación-Cocción

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	71.716	14.3433	9.54	0.000
Lineal	2	50.153	25.0763	16.68	0.000
Coccion	1	44.029	44.0293	29.30	0.000
Congelacion	1	6.123	6.1232	4.07	0.052
Cuadrado	2	11.731	5.8654	3.90	0.030
Coccion*Coccion	1	0.356	0.3565	0.24	0.629
Congelacion*Congelacion	1	11.730	11.7296	7.80	0.009
Interacción de 2 factores	1	10.277	10.2768	6.84	0.013
Coccion*Congelacion	1	10.277	10.2768	6.84	0.013
Error	33	49.597	1.5029		
Falta de ajuste	3	14.593	4.8643	4.17	0.014
Error puro	30	35.004	1.1668		
Total	38	121.313			

Resumen del modelo

S R-cuad. R-cuad.
 1.22594 59.12% (ajustado) (pred)
 52.92% 41.35%
 Coeficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		53.591	0.316	169.41	0.000	
Coccion	-3.864	-1.932	0.357	-5.41	0.000	1.00
Congelacion	-1.476	-0.738	0.366	-2.02	0.052	1.01
Coccion*Coccion	0.528	0.264	0.542	0.49	0.629	1.03
Congelacion*Congelacion	3.082	1.541	0.552	2.79	0.009	1.03
Coccion*Congelacion	-3.991	-1.995	0.763	-2.61	0.013	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$L^* = 56.17 - 0.038 \text{ Coccion} - 0.0499 \text{ Congelacion} + 0.00200 \text{ Coccion} \cdot \text{Coccion}$
 $+ 0.001240 \text{ Congelacion} \cdot \text{Congelacion} - 0.00492 \text{ Coccion} \cdot \text{Congelacion}$

Regresión de superficie de respuesta: a* vs. Congelación-Cocción

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	185.303	37.061	33.36	0.000
Lineal	2	148.797	74.398	66.96	0.000
Coccion	1	148.786	148.786	133.91	0.000
Congelacion	1	0.010	0.010	0.01	0.924
Cuadrado	2	20.848	10.424	9.38	0.001
Coccion*Coccion	1	17.936	17.936	16.14	0.000
Congelacion*Congelacion	1	0.974	0.974	0.88	0.356
Interacción de 2 factores	1	11.242	11.242	10.12	0.003
Coccion*Congelacion	1	11.242	11.242	10.12	0.003
Error	33	36.666	1.111		
Falta de ajuste	3	9.892	3.297	3.69	0.022
Error puro	30	26.773	0.892		
Total	38	221.969			

Resumen del modelo

S R-cuad. R-cuad.
 1.05408 83.48% (ajustado) (pred)
 80.98% 77.00%

Coeficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		15.606	0.272	57.38	0.000	
Coccion	-7.104	-3.552	0.307	-11.57	0.000	1.00
Congelacion	-0.060	-0.030	0.314	-0.10	0.924	1.01
Coccion*Coccion	3.746	1.873	0.466	4.02	0.000	1.03
Congelacion*Congelacion	-0.888	-0.444	0.474	-0.94	0.356	1.03
Coccion*Congelacion	-4.174	-2.087	0.656	-3.18	0.003	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$a^* = 18.89 - 0.475 \text{ Coccion} + 0.0896 \text{ Congelacion} + 0.01416 \text{ Coccion} \cdot \text{Coccion}$
 $- 0.000357 \text{ Congelacion} \cdot \text{Congelacion} - 0.00515 \text{ Coccion} \cdot \text{Congelacion}$

Regresión de superficie de respuesta: b* vs. Congelación-Cocción

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	109.777	21.9554	9.45	0.000
Lineal	2	69.200	34.6000	14.90	0.000
Coccion	1	25.994	25.9943	11.19	0.002
Congelacion	1	43.206	43.2057	18.61	0.000

Cuadrado	2	7.233	3.6166	1.56	0.226
Coccion*Coccion	1	7.166	7.1659	3.09	0.088
Congelacion*Congelacion	1	0.484	0.4843	0.21	0.651
Interacción de 2 factores	1	41.534	41.5338	17.89	0.000
Coccion*Congelacion	1	41.534	41.5338	17.89	0.000
Error	33	76.632	2.3222		
Falta de ajuste	3	25.983	8.6609	5.13	0.006
Error puro	30	50.649	1.6883		
Total	38	186.409			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.52387	58.89%	52.66%	42.56%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		38.966	0.393	99.10	0.000	
Coccion	-2.969	-1.485	0.444	-3.35	0.002	1.00
Congelacion	-3.921	-1.961	0.455	-4.31	0.000	1.01
Coccion*Coccion	-2.368	-1.184	0.674	-1.76	0.088	1.03
Congelacion*Congelacion	-0.626	-0.313	0.686	-0.46	0.651	1.03
Coccion*Congelacion	-8.023	-4.012	0.949	-4.23	0.000	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

b* = 36.36 + 0.456 Coccion + 0.0865 Congelacion - 0.00895 Coccion*Coccion - 0.000252 Congelacion*Congelacion - 0.00990 Coccion*Congelacion

Regresión de superficie de respuesta: ΔE vs. Congelación-Cocción

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	196.787	39.357	13.90	0.000
Lineal	2	155.644	77.822	27.48	0.000
Coccion	1	123.207	123.207	43.51	0.000
Congelacion	1	32.438	32.438	11.46	0.002
Cuadrado	2	3.325	1.662	0.59	0.562
Coccion*Coccion	1	0.002	0.002	0.00	0.980
Congelacion*Congelacion	1	3.208	3.208	1.13	0.295
Interacción de 2 factores	1	43.459	43.459	15.35	0.000
Coccion*Congelacion	1	43.459	43.459	15.35	0.000
Error	33	93.438	2.831		
Falta de ajuste	3	28.692	9.564	4.43	0.011
Error puro	30	64.746	2.158		
Total	38	290.225			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.68269	67.81%	62.93%	54.59%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		19.920	0.434	45.88	0.000	
Coccion	6.464	3.232	0.490	6.60	0.000	1.00
Congelacion	3.398	1.699	0.502	3.38	0.002	1.01
Coccion*Coccion	0.037	0.018	0.744	0.02	0.980	1.03
Congelacion*Congelacion	-1.612	-0.806	0.757	-1.06	0.295	1.03
Coccion*Congelacion	8.21	4.10	1.05	3.92	0.000	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\Delta E = 18.42 - 0.092 \text{ Coccion} - 0.0310 \text{ Congelacion} + 0.00014 \text{ Coccion} * \text{Coccion} - 0.000649 \text{ Congelacion} * \text{Congelacion} + 0.01012 \text{ Coccion} * \text{Congelacion}$$

Regresión de superficie de respuesta: C* vs. Congelación-Cocción

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	176.658	35.3316	14.15	0.000
Lineal	2	129.071	64.5354	25.85	0.000
Coccion	1	92.328	92.3278	36.99	0.000
Congelacion	1	36.743	36.7431	14.72	0.001
Cuadrado	2	1.182	0.5909	0.24	0.791
Coccion*Coccion	1	0.408	0.4079	0.16	0.689
Congelacion*Congelacion	1	0.946	0.9463	0.38	0.542
Interacción de 2 factores	1	54.339	54.3391	21.77	0.000
Coccion*Congelacion	1	54.339	54.3391	21.77	0.000
Error	33	82.379	2.4963		
Falta de ajuste	3	26.024	8.6747	4.62	0.009
Error puro	30	56.354	1.8785		
Total	38	259.037			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.57997	68.20%	63.38%	55.97%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		41.980	0.408	102.97	0.000	
Coccion	-5.596	-2.798	0.460	-6.08	0.000	1.00
Congelacion	-3.616	-1.808	0.471	-3.84	0.001	1.01
Coccion*Coccion	-0.565	-0.282	0.699	-0.40	0.689	1.03
Congelacion*Congelacion	-0.875	-0.438	0.711	-0.62	0.542	1.03
Coccion*Congelacion	-9.177	-4.588	0.983	-4.67	0.000	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$C^* = 40.93 + 0.223 \text{ Coccion} + 0.1159 \text{ Congelacion} - 0.00214 \text{ Coccion} * \text{Coccion} - 0.000352 \text{ Congelacion} * \text{Congelacion} - 0.01132 \text{ Coccion} * \text{Congelacion}$$

Regresión de superficie de respuesta: h vs. Congelación-Cocción

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	211.985	42.397	24.05	0.000
Lineal	2	162.548	81.274	46.10	0.000
Coccion	1	154.147	154.147	87.44	0.000
Congelacion	1	8.400	8.400	4.76	0.036
Cuadrado	2	42.209	21.105	11.97	0.000
Coccion*Coccion	1	38.732	38.732	21.97	0.000
Congelacion*Congelacion	1	0.667	0.667	0.38	0.543
Interacción de 2 factores	1	0.275	0.275	0.16	0.695
Coccion*Congelacion	1	0.275	0.275	0.16	0.695
Error	33	58.179	1.763		
Falta de ajuste	3	17.866	5.955	4.43	0.011
Error puro	30	40.313	1.344		
Total	38	270.163			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.32778	78.47%	75.20%	69.23%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		68.171	0.343	198.97	0.000	
Coccion	7.231	3.615	0.387	9.35	0.000	1.00
Congelacion	-1.729	-0.864	0.396	-2.18	0.036	1.01
Coccion*Coccion	-5.505	-2.752	0.587	-4.69	0.000	1.03
Congelacion*Congelacion	0.735	0.367	0.597	0.61	0.543	1.03
Coccion*Congelacion	0.653	0.326	0.826	0.40	0.695	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

h = 62.65 + 0.805 Coccion - 0.0562 Congelacion - 0.02081 Coccion*Coccion
+ 0.000296 Congelacion*Congelacion + 0.00081 Coccion*Congelacion

PROCESO 3 (ESCALDADO-CONGELACIÓN-COCCIÓN)

ANOVA unidireccional: L* vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	14	578.319	41.309	78.65	0.000
Error	30	15.756	0.525		
Total	44	594.075			

S = 0.7247 R-cuad. = 97.35% R-cuad. (ajustado) = 96.11%

				ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada	
Nivel	N	Media	Desv.Est.	-----+-----+-----+-----+-----	
27	3	55.265	0.303	(-*)	
28	3	56.915	0.303	(--*)	
29	3	53.698	0.617	(*-)	
30	3	56.193	0.219	(*-)	
31	3	59.245	0.707		(*-)
32	3	56.958	0.475	(--*)	
33	3	56.657	1.203	(*-)	
34	3	58.508	1.448		(--*)
35	3	54.750	1.353	(-*)	
36	3	56.260	0.286	(-*)	
37	3	55.693	0.253	(*-)	
38	3	55.653	0.783	(*-)	
39	3	56.627	0.496	(*-)	
Control	3	55.574	0.358	(--*)	
Fresco	3	69.646	0.178		(*-)
				-----+-----+-----+-----+-----	
				55.0	60.0 65.0 70.0

Desv.Est. agrupada = 0.725

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Fresco	3	69.646	A
31	3	59.245	B
34	3	58.508	B C
32	3	56.958	C D
28	3	56.915	C D E
33	3	56.657	C D E
39	3	56.627	C D E
36	3	56.260	D E
30	3	56.193	D E
37	3	55.693	D E F
38	3	55.653	D E F
Control	3	55.574	D E F
27	3	55.265	D E F
35	3	54.750	E F
29	3	53.698	F

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.91%

ANOVA unidireccional: a* vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	14	178.807	12.772	25.59	0.000
Error	30	14.970	0.499		
Total	44	193.777			

S = 0.7064 R-cuad. = 92.27% R-cuad. (ajustado) = 88.67%

				ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada			
Nivel	N	Media	Desv.Est.	-----+-----+-----+-----+-----			
27	3	19.713	0.806		(--*--)		
28	3	19.920	1.173		(---*--)		
29	3	15.457	0.415	(---*--)			
30	3	16.157	0.759	(---*--)			
31	3	19.783	0.295		(--*--)		
32	3	15.687	0.063	(---*--)			
33	3	18.405	1.483		(---*--)		
34	3	19.917	0.371		(---*--)		
35	3	17.063	0.560	(--*--)			
36	3	17.737	0.757	(--*--)			
37	3	16.635	0.635	(---*--)			
38	3	16.275	0.748	(---*--)			
39	3	18.168	0.509		(---*--)		
Control	3	15.155	0.291	(---*--)			
Fresco	3	22.129	0.301		(---*--)		
				-----+-----+-----+-----+-----			
				15.0	17.5	20.0	22.5

Desv.Est. agrupada = 0.706

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Fresco	3	22.1293	A
28	3	19.9200	B
34	3	19.9167	B
31	3	19.7833	B C
27	3	19.7133	B C
33	3	18.4050	B C D
39	3	18.1683	B C D E
36	3	17.7367	C D E F
35	3	17.0633	D E F G
37	3	16.6350	D E F G
38	3	16.2750	E F G
30	3	16.1567	E F G
32	3	15.6867	F G
29	3	15.4567	G
Control	3	15.1548	G

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

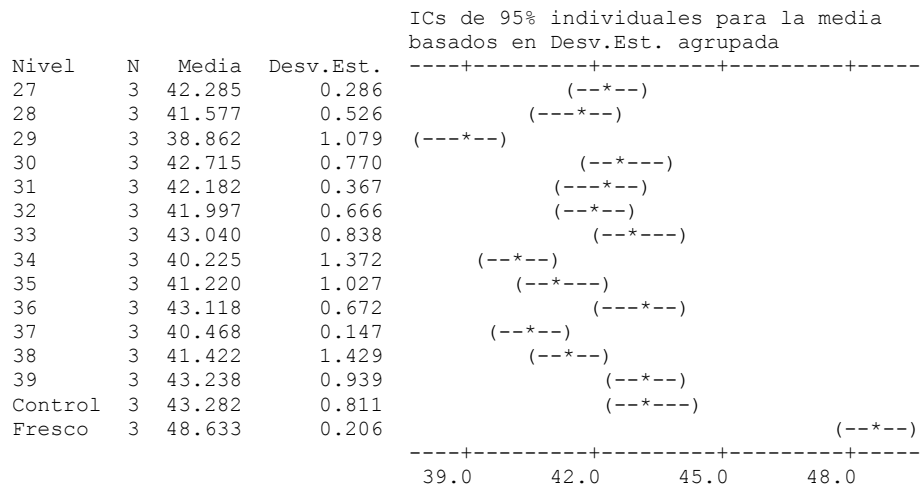
Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.91%

ANOVA unidireccional: b* vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	14	196.153	14.011	20.14	0.000
Error	30	20.866	0.696		
Total	44	217.019			

S = 0.8340 R-cuad. = 90.39% R-cuad.(ajustado) = 85.90%



Desv.Est. agrupada = 0.834

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Fresco	3	48.633	A
Control	3	43.282	B
39	3	43.238	B
36	3	43.118	B
33	3	43.040	B
30	3	42.715	B C
27	3	42.285	B C
31	3	42.182	B C
32	3	41.997	B C
28	3	41.577	B C
38	3	41.422	B C
35	3	41.220	B C D
37	3	40.468	C D
34	3	40.225	C D
29	3	38.862	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.91%

ANOVA unidireccional: ΔE vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	14	823.467	58.819	66.65	0.000
Error	30	26.476	0.883		
Total	44	849.943			

S = 0.9394 R-cuad. = 96.88% R-cuad.(ajustado) = 95.43%

				ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada			
Nivel	N	Media	Desv.Est.	-----+-----+-----+-----			
27	3	15.985	0.309			(-*)	
28	3	14.825	0.281			(--*)	
29	3	19.897	1.107				(--*)
30	3	15.913	0.258			(-*)	
31	3	12.530	0.564		(--*)		
32	3	15.723	0.691			(--*)	
33	3	14.711	1.626			(-*)	
34	3	14.193	1.988			(--*)	
35	3	17.450	1.527				(--*)
36	3	15.194	0.218			(--*)	
37	3	17.115	0.376				(-*)
38	3	16.867	1.032				(--*)
39	3	14.706	0.649			(-*)	
Control	3	16.706	0.612				(--*)
Fresco	3	0.000	0.000	(--*)			
				-----+-----+-----+-----			
				0.0	6.0	12.0	18.0

Desv.Est. agrupada = 0.939

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
29	3	19.897	A
35	3	17.450	A B
37	3	17.115	A B
38	3	16.867	B C
Control	3	16.706	B C
27	3	15.985	B C
30	3	15.913	B C
32	3	15.723	B C
36	3	15.194	B C D
28	3	14.825	B C D
33	3	14.711	B C D
39	3	14.706	B C D
34	3	14.193	C D
31	3	12.530	D
Fresco	3	0.000	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.91%

ANOVA unidireccional: C* vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	14	261.767	18.698	23.71	0.000
Error	30	23.659	0.789		
Total	44	285.425			

S = 0.8880 R-cuad. = 91.71% R-cuad. (ajustado) = 87.84%

				ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada			
Nivel	N	Media	Desv.Est.	-----+-----+-----+-----			
27	3	46.659	0.324			(--*)	
28	3	46.107	0.981			(--*)	
29	3	41.823	1.144	(--*)			
30	3	45.675	0.498		(--*)		
31	3	46.591	0.399			(--*)	
32	3	44.831	0.646		(--*)		
33	3	46.823	1.070			(--*)	
34	3	44.886	1.382		(--*)		
35	3	44.614	1.045		(--*)		

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Control	3	70.697	A
32	3	69.516	A B
30	3	69.274	A B
38	3	68.546	A B C
29	3	68.309	A B C
37	3	67.658	B C D
36	3	67.646	B C D
35	3	67.510	B C D
39	3	67.204	B C D E
33	3	66.860	C D E
Fresco	3	65.542	D E F
27	3	65.008	E F
31	3	64.873	E F
28	3	64.415	F
34	3	63.651	F

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.91%

Regresión de superficie de respuesta: L* vs. Congelación-Cocción

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	37.7566	7.5513	4.57	0.003
Lineal	2	27.0133	13.5066	8.17	0.001
Coccion	1	9.6909	9.6909	5.87	0.021
Congelacion	1	17.3223	17.3223	10.48	0.003
Cuadrado	2	9.7375	4.8687	2.95	0.066
Coccion*Coccion	1	7.9694	7.9694	4.82	0.035
Congelacion*Congelacion	1	3.1529	3.1529	1.91	0.176
Interacción de 2 factores	1	0.5355	0.5355	0.32	0.573
Coccion*Congelacion	1	0.5355	0.5355	0.32	0.573
Error	33	54.5263	1.6523		
Falta de ajuste	3	33.0000	11.0000	15.33	0.000
Error puro	30	21.5263	0.7175		
Total	38	92.2828			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad.	R-cuad.
		(ajustado)	(pred)
1.28542	40.91%	31.96%	11.32%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		55.695	0.332	167.91	0.000	
Coccion	-1.813	-0.906	0.374	-2.42	0.021	1.00
Congelacion	2.483	1.241	0.383	3.24	0.003	1.01
Coccion*Coccion	2.497	1.248	0.568	2.20	0.035	1.03
Congelacion*Congelacion	1.598	0.799	0.578	1.38	0.176	1.03
Coccion*Congelacion	0.911	0.456	0.800	0.57	0.573	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

L* = 58.24 - 0.356 Coccion - 0.0258 Congelacion + 0.00944 Coccion*Coccion
+ 0.000643 Congelacion*Congelacion + 0.00112 Coccion*Congelacion

Regresión de superficie de respuesta: a* vs. Congelación-Cocción

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	90.126	18.0251	22.60	0.000
Lineal	2	73.553	36.7766	46.12	0.000
Coccion	1	69.879	69.8794	87.63	0.000
Congelacion	1	3.674	3.6738	4.61	0.039
Cuadrado	2	15.047	7.5235	9.43	0.001
Coccion*Coccion	1	0.940	0.9404	1.18	0.285
Congelacion*Congelacion	1	14.932	14.9319	18.73	0.000
Interacción de 2 factores	1	0.183	0.1825	0.23	0.635
Coccion*Congelacion	1	0.183	0.1825	0.23	0.635
Error	33	26.314	0.7974		
Falta de ajuste	3	4.447	1.4822	2.03	0.130
Error puro	30	21.868	0.7289		
Total	38	116.440			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.892974	77.40%	73.98%	68.24%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		17.037	0.230	73.94	0.000	
Coccion	-4.868	-2.434	0.260	-9.36	0.000	1.00
Congelacion	1.143	0.572	0.266	2.15	0.039	1.01
Coccion*Coccion	0.858	0.429	0.395	1.09	0.285	1.03
Congelacion*Congelacion	3.477	1.739	0.402	4.33	0.000	1.03
Coccion*Congelacion	0.532	0.266	0.556	0.48	0.635	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

a* = 21.762 - 0.3167 Coccion - 0.0941 Congelacion + 0.00324 Coccion*Coccion + 0.001399 Congelacion*Congelacion + 0.00066 Coccion*Congelacion

Regresión de superficie de respuesta: b* vs. Congelación-Cocción

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	19.5310	3.9062	2.16	0.083
Lineal	2	2.4190	1.2095	0.67	0.519
Coccion	1	2.3412	2.3412	1.29	0.264
Congelacion	1	0.0779	0.0779	0.04	0.837
Cuadrado	2	1.2024	0.6012	0.33	0.720
Coccion*Coccion	1	0.0000	0.0000	0.00	0.997
Congelacion*Congelacion	1	1.1720	1.1720	0.65	0.427
Interacción de 2 factores	1	15.6066	15.6066	8.62	0.006
Coccion*Congelacion	1	15.6066	15.6066	8.62	0.006
Error	33	59.7352	1.8102		
Falta de ajuste	3	22.2205	7.4068	5.92	0.003
Error puro	30	37.5146	1.2505		
Total	38	79.2662			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.34542	24.64%	13.22%	0.00%

Coeficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		41.845	0.347	120.53	0.000	
Coccion	-0.891	-0.446	0.392	-1.14	0.264	1.00
Congelacion	-0.166	-0.083	0.401	-0.21	0.837	1.01
Coccion*Coccion	-0.005	-0.003	0.595	-0.00	0.997	1.03
Congelacion*Congelacion	-0.974	-0.487	0.605	-0.80	0.427	1.03
Coccion*Congelacion	4.918	2.459	0.837	2.94	0.006	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$b^* = 44.66 - 0.260 \text{ Coccion} - 0.0496 \text{ Congelacion} - 0.00002 \text{ Coccion}^2 - 0.000392 \text{ Congelacion}^2 + 0.00607 \text{ Coccion} \cdot \text{Congelacion}$$

Regresión de superficie de respuesta: ΔE vs. Congelación-Cocción

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	59.088	11.818	4.60	0.003
Lineal	2	44.887	22.444	8.73	0.001
Coccion	1	31.016	31.016	12.07	0.001
Congelacion	1	13.872	13.872	5.40	0.026
Cuadrado	2	8.285	4.142	1.61	0.215
Coccion*Coccion	1	6.332	6.332	2.46	0.126
Congelacion*Congelacion	1	3.211	3.211	1.25	0.272
Interacción de 2 factores	1	5.976	5.976	2.32	0.137
Coccion*Congelacion	1	5.976	5.976	2.32	0.137
Error	33	84.818	2.570		
Falta de ajuste	3	40.893	13.631	9.31	0.000
Error puro	30	43.925	1.464		
Total	38	143.906			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.60319	41.06%	32.13%	13.75%

Coeficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		16.410	0.414	39.67	0.000	
Coccion	3.243	1.622	0.467	3.47	0.001	1.00
Congelacion	-2.222	-1.111	0.478	-2.32	0.026	1.01
Coccion*Coccion	-2.226	-1.113	0.709	-1.57	0.126	1.03
Congelacion*Congelacion	-1.612	-0.806	0.721	-1.12	0.272	1.03
Coccion*Congelacion	-3.043	-1.522	0.998	-1.52	0.137	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\Delta E = 11.91 + 0.488 \text{ Coccion} + 0.0628 \text{ Congelacion} - 0.00842 \text{ Coccion}^2 - 0.000649 \text{ Congelacion}^2 - 0.00375 \text{ Coccion} \cdot \text{Congelacion}$$

Regresión de superficie de respuesta: C* vs. Congelación-Cocción

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	37.243	7.4485	3.75	0.009
Lineal	2	22.235	11.1177	5.59	0.008
Coccion	1	21.898	21.8983	11.01	0.002
Congelacion	1	0.337	0.3371	0.17	0.683
Cuadrado	2	0.473	0.2363	0.12	0.888
Coccion*Coccion	1	0.194	0.1940	0.10	0.757
Congelacion*Congelacion	1	0.352	0.3518	0.18	0.677

Interacción de 2 factores	1	14.546	14.5457	7.32	0.011
Coccion*Congelacion	1	14.546	14.5457	7.32	0.011
Error	33	65.614	1.9883		
Falta de ajuste	3	19.890	6.6301	4.35	0.012
Error puro	30	45.724	1.5241		
Total	38	102.857			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.41007	36.21%	26.54%	12.38%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		45.182	0.364	124.18	0.000	
Coccion	-2.725	-1.363	0.411	-3.32	0.002	1.00
Congelacion	0.346	0.173	0.421	0.41	0.683	1.01
Coccion*Coccion	0.390	0.195	0.624	0.31	0.757	1.03
Congelacion*Congelacion	0.534	0.267	0.634	0.42	0.677	1.03
Coccion*Congelacion	4.748	2.374	0.878	2.70	0.011	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

C* = 49.67 - 0.369 Coccion - 0.0840 Congelacion + 0.00147 Coccion*Coccion + 0.000215 Congelacion*Congelacion + 0.00586 Coccion*Congelacion

Regresión de superficie de respuesta: h vs. Congelación-Cocción

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	115.665	23.1329	23.76	0.000
Lineal	2	85.909	42.9544	44.12	0.000
Coccion	1	79.627	79.6271	81.79	0.000
Congelacion	1	6.282	6.2816	6.45	0.016
Cuadrado	2	25.439	12.7193	13.06	0.000
Coccion*Coccion	1	1.026	1.0261	1.05	0.312
Congelacion*Congelacion	1	25.404	25.4036	26.09	0.000
Interacción de 2 factores	1	1.820	1.8198	1.87	0.181
Coccion*Congelacion	1	1.820	1.8198	1.87	0.181
Error	33	32.128	0.9736		
Falta de ajuste	3	10.787	3.5958	5.05	0.006
Error puro	30	21.341	0.7114		
Total	38	147.793			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.986705	78.26%	74.97%	67.71%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		67.850	0.255	266.49	0.000	
Coccion	5.197	2.598	0.287	9.04	0.000	1.00
Congelacion	-1.495	-0.748	0.294	-2.54	0.016	1.01
Coccion*Coccion	-0.896	-0.448	0.436	-1.03	0.312	1.03
Congelacion*Congelacion	-4.536	-2.268	0.444	-5.11	0.000	1.03
Coccion*Congelacion	1.679	0.840	0.614	1.37	0.181	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

h = 63.784 + 0.235 Coccion + 0.0861 Congelacion - 0.00339 Coccion*Coccion - 0.001825 Congelacion*Congelacion + 0.00207 Coccion*Congelacion

ANEXO F. RESULTADOS DE TEXTURA

Tabla 12. Variables codificadas y no codificadas del DCCR y resultados de los parámetros de textura para muestras de batata fresca, tratadas y control.

Tratamiento	Codificado		No codificado		PARÁMETROS DE TEXTURA	
	X1	X2	Cocción (min)	Congelación (días)	Ed (kPa)	Firmeza (g)
Fresco					186.23 a	5406.91 a
Proceso 1 (C+F)						
Control*					64.06 c	804.20 d,e
1	-1	-1	4	13	49.45 d	1254.40 c
2	-1	1	4	60	47.12 d,e	995.61 d
3	1	-1	20	13	47.60 d	748.73 e,f
4	1	1	20	60	37.56 g	411.02 g,h
5	-1,5	0	1	37	84.06 b	1608.88 b
6	1,5	0	24	37	42.34 f	423.59 g,h
7	0	-1,5	12	1	42.89 f	768.29 d-f
8	0	1,5	12	72	34.08 h	332.63 h
9	0	0	12	37	43.76 f	638.47 e-g
10	0	0	12	37	44.53 e,f	578.25 e-g
11	0	0	12	37	44.75 e,f	555.32 f-h
12	0	0	12	37	44.08 f	635.44 e-g
13	0	0	12	37	44.55 e,f	661.02 e,f
Valor P**					(P<0.001)	(P<0.001)
Proceso 2 (F+C)						
Control*					64.06 c	804.20 d,e
14	-1	-1	4	13	57.87 d	1178.57 c
15	-1	1	4	60	54.38 e	974.57 c,d
16	1	-1	20	13	35.37 g	791.28 d-f
17	1	1	20	60	29.28 h,i	410.30 g-i
18	-1,5	0	1	37	80.13 b	1451.23 b
19	1,5	0	24	37	28.33 h,i	345.55 h,i
20	0	-1,5	12	1	46.53 f	983.84 c,d
21	0	1,5	12	72	27.20 i	315.62 i
22	0	0	12	37	31.11 h	586.44 e-h
23	0	0	12	37	31.21 h	552.65 f-i
24	0	0	12	37	31.36 h	538.84 g-i
25	0	0	12	37	31.36 h	613.79 e-g
26	0	0	12	37	31.27 h	632.04 e-g
Valor P**					(P<0.001)	(P<0.001)
Proceso 3 (B+F+C)						
Control*					64.06 d	804.20 f
27	-1	-1	4	13	74.61 c	1390.56 c
28	-1	1	4	60	61.62 d	1137.30 d,e
29	1	-1	20	13	51.36 e	957.27 e,f
30	1	1	20	60	45.17 f	513.87 h
31	-1,5	0	1	37	109.38 b	1850.56 b
32	1,5	0	24	37	44.77 f	566.36 g,h
33	0	-1,5	12	1	61.05 d	1295.91 c,d
34	0	1,5	12	72	39.70 g	473.27 h
35	0	0	12	37	48.15 e,f	820.21 f
36	0	0	12	37	48.71 e,f	781.14 f,g
37	0	0	12	37	47.99 e,f	791.65 f
38	0	0	12	37	48.22 e,f	841.75 f
39	0	0	12	37	50.98 e	797.32 f
Valor P**					(P<0.001)	(P<0.001)

* Muestras de batata solo cocida durante 15 min.

** Nivel de significancia

Los valores corresponden a los promedios de tres determinaciones.

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: El autor

ANEXO G. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE TEXTURA

PROCESO 1 (COCCIÓN-CONGELACIÓN)

ANOVA unidireccional: Ed (kPa) vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	14	59537.07	4252.65	5218.56	0.000
Error	30	24.45	0.81		
Total	44	59561.51			

S = 0.9027 R-cuad. = 99.96% R-cuad. (ajustado) = 99.94%

				ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada			
Nivel	N	Media	Desv.Est.	+-----+-----+-----+-----			
1	3	49.454	0.302	*)			
2	3	47.120	1.546	*			
3	3	47.601	0.224	*			
4	3	37.564	0.328	*)			
5	3	84.061	0.142	*			
6	3	42.341	1.724	(*)			
7	3	42.889	0.193	(*)			
8	3	34.081	0.641	(*)			
9	3	43.763	0.368	*			
10	3	44.529	0.511	*			
11	3	44.753	1.594	*			
12	3	44.083	0.071	*			
13	3	44.551	0.193	*			
Control	3	64.065	1.765	*			
Fresco	3	186.233	0.219	(*)			
				+-----+-----+-----+-----			
				40	80	120	160

Desv.Est. agrupada = 0.903

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Fresco	3	186.233	A
5	3	84.061	B
Control	3	64.065	C
1	3	49.454	D
3	3	47.601	D
2	3	47.120	D E
11	3	44.753	E F
13	3	44.551	E F
10	3	44.529	E F
12	3	44.083	F
9	3	43.763	F
7	3	42.889	F
6	3	42.341	F
4	3	37.564	G
8	3	34.081	H

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

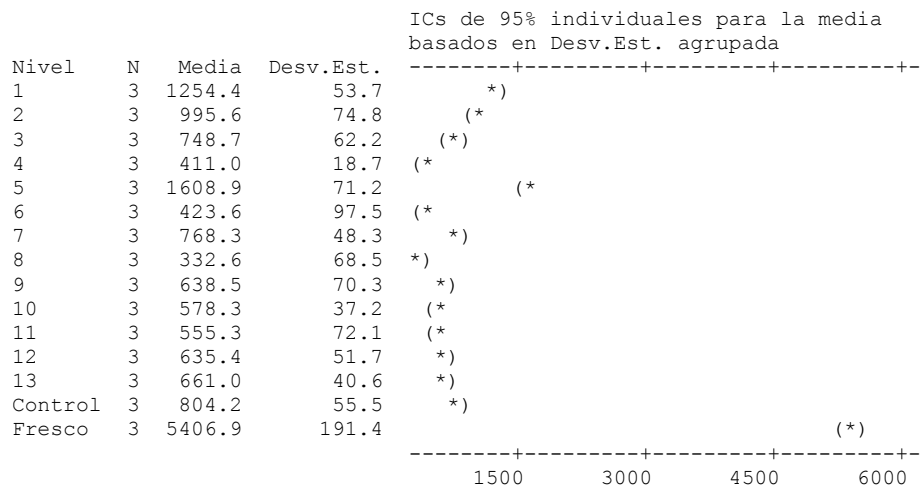
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.91%

ANOVA unidireccional: Fuerza (g) vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	14	65535149	4681082	781.31	0.000
Error	30	179739	5991		
Total	44	65714889			

S = 77.40 R-cuad. = 99.73% R-cuad.(ajustado) = 99.60%



Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Fresco	3	5406.9	A
5	3	1608.9	B
1	3	1254.4	C
2	3	995.6	D
Control	3	804.2	D E
7	3	768.3	D E F
3	3	748.7	E F
13	3	661.0	E F
9	3	638.5	E F G
12	3	635.4	E F G
10	3	578.3	E F G
11	3	555.3	F G H
6	3	423.6	G H
4	3	411.0	G H
8	3	332.6	H

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.91%

Regresión de superficie de respuesta: Ed vs. Cocción-Congelación

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	3943.34	788.67	21.64	0.000
Lineal	2	1908.44	954.22	26.19	0.000
Coccion	1	1660.66	1660.66	45.57	0.000
Congelacion	1	247.78	247.78	6.80	0.014
Cuadrado	2	1896.93	948.47	26.03	0.000
Coccion*Coccion	1	1263.70	1263.70	34.68	0.000
Congelacion*Congelacion	1	360.19	360.19	9.88	0.004
Interacción de 2 factores	1	44.49	44.49	1.22	0.277
Coccion*Congelacion	1	44.49	44.49	1.22	0.277
Error	33	1202.55	36.44		
Falta de ajuste	3	1182.48	394.16	589.13	0.000
Error puro	30	20.07	0.67		
Total	38	5145.90			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
6.03664	76.63%	73.09%	63.20%

Coeficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		43.94	1.56	28.21	0.000	
Coccion	-23.73	-11.87	1.76	-6.75	0.000	1.00
Congelacion	-9.39	-4.70	1.80	-2.61	0.014	1.01
Coccion*Coccion	31.44	15.72	2.67	5.89	0.000	1.03
Congelacion*Congelacion	-17.08	-8.54	2.72	-3.14	0.004	1.03
Coccion*Congelacion	-8.30	-4.15	3.76	-1.10	0.277	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

Ed = 66.44 - 3.630 Coccion + 0.497 Congelacion + 0.1189 Coccion*Coccion
- 0.00687 Congelacion*Congelacion - 0.01024 Coccion*Congelacion

Regresión de superficie de respuesta: Fuerza vs. Cocción-Congelación

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	4425248	885050	91.71	0.000
Lineal	2	3222633	1611316	166.96	0.000
Coccion	1	2666498	2666498	276.30	0.000
Congelacion	1	556134	556134	57.63	0.000
Cuadrado	2	1062445	531223	55.04	0.000
Coccion*Coccion	1	999065	999065	103.52	0.000
Congelacion*Congelacion	1	7062	7062	0.73	0.398
Interacción de 2 factores	1	4670	4670	0.48	0.492
Coccion*Congelacion	1	4670	4670	0.48	0.492
Error	33	318478	9651		
Falta de ajuste	3	194198	64733	15.63	0.000
Error puro	30	124280	4143		
Total	38	4743727			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
98.2388	93.29%	92.27%	89.82%

Coeficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		598.3	25.3	23.60	0.000	
Coccion	-951.0	-475.5	28.6	-16.62	0.000	1.00
Congelacion	-444.9	-222.4	29.3	-7.59	0.000	1.01
Coccion*Coccion	884.1	442.0	43.4	10.17	0.000	1.03
Congelacion*Congelacion	-75.6	-37.8	44.2	-0.86	0.398	1.03
Coccion*Congelacion	-85.1	-42.5	61.1	-0.70	0.492	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

Fuerza = 1779.3 - 121.1 Coccion - 2.78 Congelacion + 3.342 Coccion*Coccion
- 0.0304 Congelacion*Congelacion - 0.105 Coccion*Congelacion

PROCESO 2 (CONGELACIÓN-COCCIÓN)

ANOVA unidireccional: Ed (kPa) vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	14	69390.78	4956.48	4674.00	0.000
Error	30	31.81	1.06		
Total	44	69422.59			

S = 1.030 R-cuad. = 99.95% R-cuad.(ajustado) = 99.93%

				ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada	
Nivel	N	Media	Desv.Est.	-----+-----+-----+-----+-----	
14	3	57.87	0.13	(*	
15	3	54.38	2.93	*	
16	3	35.37	0.44	*	
17	3	29.28	0.79	*	
18	3	80.13	0.53		*
19	3	28.33	0.52	(*	
20	3	46.53	0.16	*)	
21	3	27.20	0.19	*)	
22	3	31.11	0.45	*	
23	3	31.21	0.18	*	
24	3	31.36	0.98	*)	
25	3	31.36	0.67	*)	
26	3	31.27	1.03	*	
Control	3	64.06	1.76		*
Fresco	3	186.23	0.22		*
				-----+-----+-----+-----+-----	
				50	100 150 200

Desv.Est. agrupada = 1.03

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Fresco	3	186.23	A
18	3	80.13	B
Control	3	64.06	C
14	3	57.87	D
15	3	54.38	E
20	3	46.53	F
16	3	35.37	G
24	3	31.36	H
25	3	31.36	H
26	3	31.27	H
23	3	31.21	H
22	3	31.11	H
17	3	29.28	H I
19	3	28.33	H I
21	3	27.20	I

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

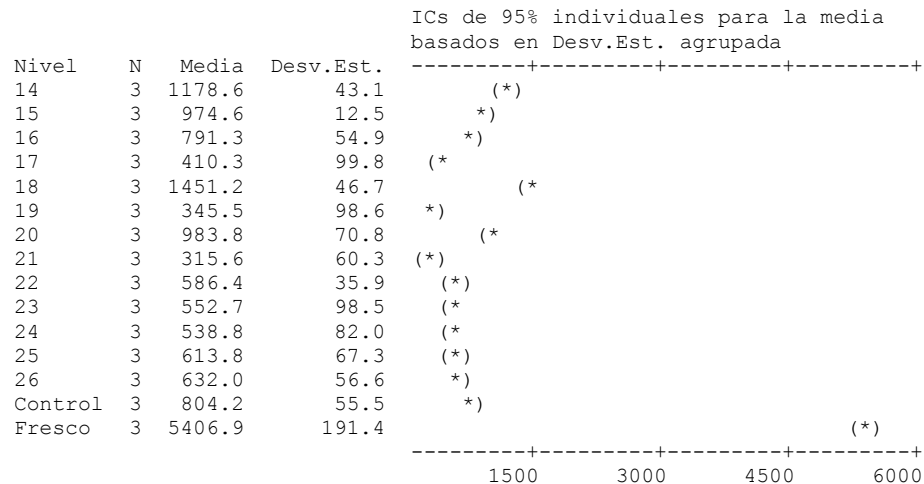
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.91%

ANOVA unidireccional: Fuerza (g) vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	14	65487371	4677669	696.77	0.000
Error	30	201402	6713		
Total	44	65688774			

S = 81.94 R-cuad. = 99.69% R-cuad.(ajustado) = 99.55%



Desv.Est. agrupada = 81.9

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Fresco	3	5406.9	A
18	3	1451.2	B
14	3	1178.6	C
20	3	983.8	C D
15	3	974.6	C D
Control	3	804.2	D E
16	3	791.3	D E F
26	3	632.0	E F G
25	3	613.8	E F G
22	3	586.4	E F G H
23	3	552.7	F G H I
24	3	538.8	G H I
17	3	410.3	G H I
19	3	345.5	H I
21	3	315.6	I

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.91%

Regresión de superficie de respuesta: Ed vs. Congelación-Cocción

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	8529.93	1705.99	116.77	0.000
Lineal	2	5523.20	2761.60	189.03	0.000
Coccion	1	4993.37	4993.37	341.79	0.000
Congelacion	1	529.83	529.83	36.27	0.000
Cuadrado	2	2672.17	1336.08	91.45	0.000
Coccion*Coccion	1	2664.74	2664.74	182.40	0.000
Congelacion*Congelacion	1	124.85	124.85	8.55	0.006
Interacción de 2 factores	1	5.07	5.07	0.35	0.560
Coccion*Congelacion	1	5.07	5.07	0.35	0.560
Error	33	482.12	14.61		
Falta de ajuste	3	456.50	152.17	178.19	0.000
Error puro	30	25.62	0.85		
Total	38	9012.04			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
3.82226	94.65%	93.84%	91.55%

Coeficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		30.479	0.986	30.90	0.000	
Coccion	-41.15	-20.58	1.11	-18.49	0.000	1.00
Congelacion	-13.73	-6.87	1.14	-6.02	0.000	1.01
Coccion*Coccion	45.66	22.83	1.69	13.51	0.000	1.03
Congelacion*Congelacion	10.06	5.03	1.72	2.92	0.006	1.03
Coccion*Congelacion	-2.80	-1.40	2.38	-0.59	0.560	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

Ed = 90.74 - 5.979 Coccion - 0.447 Congelacion + 0.1726 Coccion*Coccion
+ 0.00405 Congelacion*Congelacion - 0.00346 Coccion*Congelacion

Regresión de superficie de respuesta: Fuerza vs. Congelación-Cocción

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	3890551	778110	68.14	0.000
Lineal	2	3136026	1568013	137.32	0.000
Coccion	1	2227770	2227770	195.10	0.000
Congelacion	1	908255	908255	79.54	0.000
Cuadrado	2	639369	319684	28.00	0.000
Coccion*Coccion	1	634020	634020	55.52	0.000
Congelacion*Congelacion	1	41219	41219	3.61	0.066
Interacción de 2 factores	1	23491	23491	2.06	0.161
Coccion*Congelacion	1	23491	23491	2.06	0.161
Error	33	376822	11419		
Falta de ajuste	3	236188	78729	16.79	0.000
Error puro	30	140634	4688		
Total	38	4267373			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
106.859	91.17%	89.83%	86.65%

Coeficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		571.4	27.6	20.72	0.000	
Coccion	-869.2	-434.6	31.1	-13.97	0.000	1.00
Congelacion	-568.5	-284.3	31.9	-8.92	0.000	1.01
Coccion*Coccion	704.3	352.1	47.3	7.45	0.000	1.03
Congelacion*Congelacion	182.7	91.4	48.1	1.90	0.066	1.03
Coccion*Congelacion	-190.8	-95.4	66.5	-1.43	0.161	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

Fuerza = 1745 - 95.8 Coccion - 10.49 Congelacion + 2.663 Coccion*Coccion
+ 0.0735 Congelacion*Congelacion - 0.235 Coccion*Congelacion

PROCESO 3 (ESCALDADO-CONGELACIÓN-COCCIÓN)

ANOVA unidireccional: Ed (kPa) vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	14	59187.38	4227.67	2255.00	0.000
Error	30	56.24	1.87		
Total	44	59243.62			

S = 1.369 R-cuad. = 99.91% R-cuad.(ajustado) = 99.86%

				ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada			
Nivel	N	Media	Desv.Est.	+-----+-----+-----+-----+			
27	3	74.61	0.79	(*)			
28	3	61.62	1.55	*)			
29	3	51.36	0.56	(*)			
30	3	45.17	0.31	*)			
31	3	109.38	2.10	*)			
32	3	44.77	0.85	*)			
33	3	61.05	0.02	*)			
34	3	39.70	0.09	*			
35	3	48.15	1.58	*			
36	3	48.71	3.15	*)			
37	3	47.99	1.29	*			
38	3	48.22	1.38	*			
39	3	50.98	0.59	(*)			
Control	3	64.06	1.76	*			
Fresco	3	186.23	0.22	(*)			
				+-----+-----+-----+-----+			
				40	80	120	160

Desv.Est. agrupada = 1.37

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Fresco	3	186.23	A
31	3	109.38	B
27	3	74.61	C
Control	3	64.06	D
28	3	61.62	D
33	3	61.05	D
29	3	51.36	E
39	3	50.98	E
36	3	48.71	E F
38	3	48.22	E F
35	3	48.15	E F
37	3	47.99	E F
30	3	45.17	F
32	3	44.77	F
34	3	39.70	G

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

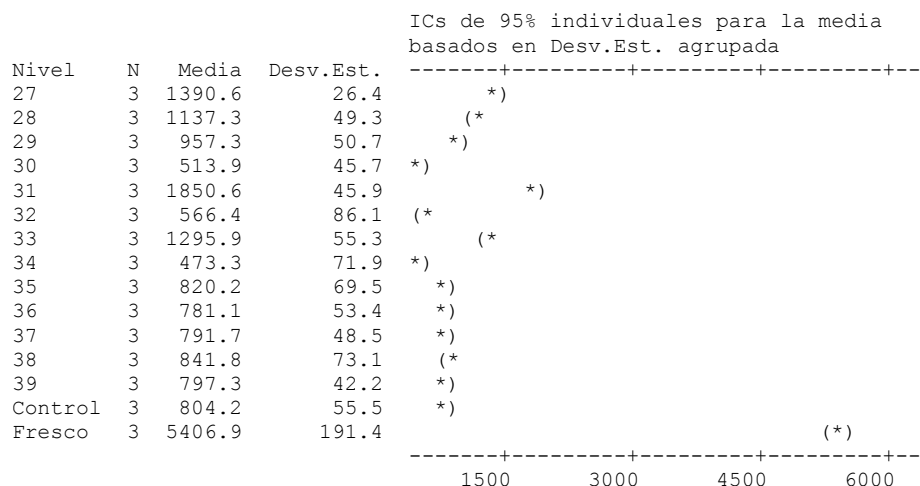
Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.91%

ANOVA unidireccional: Fuerza (g) vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	14	61654432	4403888	801.64	0.000
Error	30	164809	5494		
Total	44	61819241			

S = 74.12 R-cuad. = 99.73% R-cuad.(ajustado) = 99.61%



Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Fresco	3	5406.9	A
31	3	1850.6	B
27	3	1390.6	C
33	3	1295.9	C D
28	3	1137.3	D E
29	3	957.3	E F
38	3	841.8	F
35	3	820.2	F
Control	3	804.2	F
39	3	797.3	F
37	3	791.7	F
36	3	781.1	F G
32	3	566.4	G H
30	3	513.9	H
34	3	473.3	H

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.91%

Regresión de superficie de respuesta: Ed vs. Congelación-Cocción

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	10677.7	2135.53	46.59	0.000
Lineal	2	6730.1	3365.03	73.42	0.000
Coccion	1	5844.3	5844.35	127.52	0.000
Congelacion	1	885.7	885.70	19.32	0.000
Cuadrado	2	3491.1	1745.54	38.09	0.000
Coccion*Coccion	1	3347.2	3347.15	73.03	0.000
Congelacion*Congelacion	1	5.4	5.40	0.12	0.734
Interacción de 2 factores	1	34.7	34.68	0.76	0.391
Coccion*Congelacion	1	34.7	34.68	0.76	0.391
Error	33	1512.5	45.83		
Falta de ajuste	3	1444.0	481.34	211.01	0.000
Error puro	30	68.4	2.28		
Total	38	12190.1			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
6.76994	87.59%	85.71%	80.60%

Coeficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		47.98	1.75	27.47	0.000	
Coccion	-44.52	-22.26	1.97	-11.29	0.000	1.00
Congelacion	-17.75	-8.88	2.02	-4.40	0.000	1.01
Coccion*Coccion	51.17	25.59	2.99	8.55	0.000	1.03
Congelacion*Congelacion	-2.09	-1.05	3.05	-0.34	0.734	1.03
Coccion*Congelacion	7.33	3.67	4.21	0.87	0.391	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

Ed = 114.61 - 7.102 Coccion - 0.303 Congelacion + 0.1935 Coccion*Coccion
- 0.00084 Congelacion*Congelacion + 0.0090 Coccion*Congelacion

Regresión de superficie de respuesta: Fuerza vs. Congelación-Cocción

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	5141581	1028316	78.96	0.000
Lineal	2	4237985	2118992	162.70	0.000
Coccion	1	2898930	2898930	222.59	0.000
Congelacion	1	1339055	1339055	102.82	0.000
Cuadrado	2	764752	382376	29.36	0.000
Coccion*Coccion	1	764264	764264	58.68	0.000
Congelacion*Congelacion	1	14863	14863	1.14	0.293
Interacción de 2 factores	1	27113	27113	2.08	0.158
Coccion*Congelacion	1	27113	27113	2.08	0.158
Error	33	429788	13024		
Falta de ajuste	3	337272	112424	36.46	0.000
Error puro	30	92516	3084		
Total	38	5571369			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
114.122	92.29%	91.12%	88.08%

Coeficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		787.9	29.4	26.76	0.000	
Coccion	-991.6	-495.8	33.2	-14.92	0.000	1.00
Congelacion	-690.3	-345.2	34.0	-10.14	0.000	1.01
Coccion*Coccion	773.2	386.6	50.5	7.66	0.000	1.03
Congelacion*Congelacion	109.7	54.9	51.3	1.07	0.293	1.03
Coccion*Congelacion	-205.0	-102.5	71.0	-1.44	0.158	1.01

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

Fuerza = 2084 - 107.0 Coccion - 9.85 Congelacion + 2.923 Coccion*Coccion
+ 0.0441 Congelacion*Congelacion - 0.253 Coccion*Congelacion

ANEXO H. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE REOLOGÍA DINÁMICA

PROCESO 1 (COCCIÓN-CONGELACIÓN)

ANOVA unidireccional: G' (Pa) vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	4	1532951240	383237810	178.73	0.000
Error	10	21442733	2144273		
Total	14	1554393973			

S = 1464 R-cuad. = 98.62% R-cuad.(ajustado) = 98.07%

				ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada	
Nivel	N	Media	Desv.Est.	-----+-----+-----+-----+-----	
1	3	40990	1024		(--*)
2	3	36130	2544		(--*)
3	3	39680	1626		(--*)
4	3	19083	581	(--*)	
Control	3	49893	471		(--*)
				-----+-----+-----+-----+-----	
				20000	30000 40000 50000

Desv.Est. agrupada = 1464

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Control	3	49893	A
1	3	40990	B
3	3	39680	B C
2	3	36130	C
4	3	19083	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.18%

ANOVA unidireccional: G'' (Pa) vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	4	36836902	9209225	51.54	0.000
Error	10	1786793	178679		
Total	14	38623694			

S = 422.7 R-cuad. = 95.37% R-cuad.(ajustado) = 93.52%

				ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada	
Nivel	N	Media	Desv.Est.	-----+-----+-----+-----+-----	
1	3	5367.7	321.4		(---*--)
2	3	6021.3	334.1		(---*--)
3	3	5677.7	152.3		(---*--)
4	3	3108.0	41.1	(---*--)	
Control	3	8016.3	808.4		(---*--)
				-----+-----+-----+-----+-----	
				3000	4500 6000 7500

Desv.Est. agrupada = 422.7

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Control	3	8016.3	A

2	3	6021.3	B
3	3	5677.7	B
1	3	5367.7	B
4	3	3108.0	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.18%

ANOVA unidireccional: G* (Pa) vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	4	1509156040	377289010	167.78	0.000
Error	10	22487600	2248760		
Total	14	1531643640			

S = 1500 R-cuad. = 98.53% R-cuad. (ajustado) = 97.94%

				ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada			
Nivel	N	Media	Desv.Est.	-----+-----+-----+-----			
1	3	41340	991			(-*)	
2	3	36647	2537		(-*)		
3	3	40230	1311		(-*)		
4	3	19337	577	(-*)			
Control	3	49757	1331				(-*)
				-----+-----+-----+-----			
				20000	30000	40000	50000

Desv.Est. agrupada = 1500

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Control	3	49757	A
1	3	41340	B
3	3	40230	B C
2	3	36647	C
4	3	19337	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.18%

ANOVA unidireccional: δ (°) vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	4	3.256	0.814	2.36	0.124
Error	10	3.454	0.345		
Total	14	6.710			

S = 0.5877 R-cuad. = 48.53% R-cuad. (ajustado) = 27.94%

				ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada			
Nivel	N	Media	Desv.Est.	+-----+-----+-----+-----			
1	3	8.470	0.568	(-----*-----)			
2	3	9.630	0.789		(-----*-----)		
3	3	8.473	0.440	(-----*-----)			
4	3	9.253	0.289		(-----*-----)		
Control	3	9.260	0.710		(-----*-----)		
				+-----+-----+-----+-----			
				7.70	8.40	9.10	9.80

Desv.Est. agrupada = 0.588

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
2	3	9.6300	A
Control	3	9.2600	A
4	3	9.2533	A
3	3	8.4733	A
1	3	8.4700	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

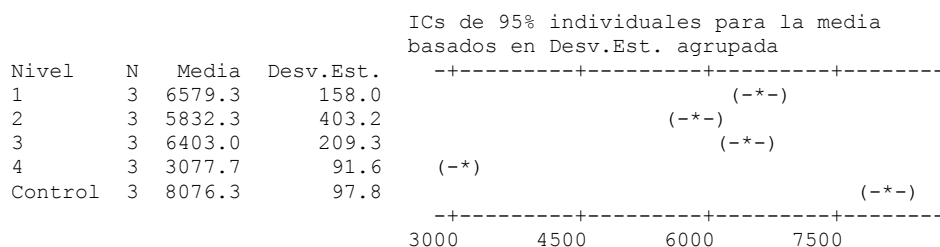
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.18%

ANOVA unidireccional: η (Pas) vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	4	40131432	10032858	201.21	0.000
Error	10	498625	49862		
Total	14	40630057			

S = 223.3 R-cuad. = 98.77% R-cuad.(ajustado) = 98.28%



Desv.Est. agrupada = 223.3

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Control	3	8076.3	A
1	3	6579.3	B
3	3	6403.0	B C
2	3	5832.3	C
4	3	3077.7	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

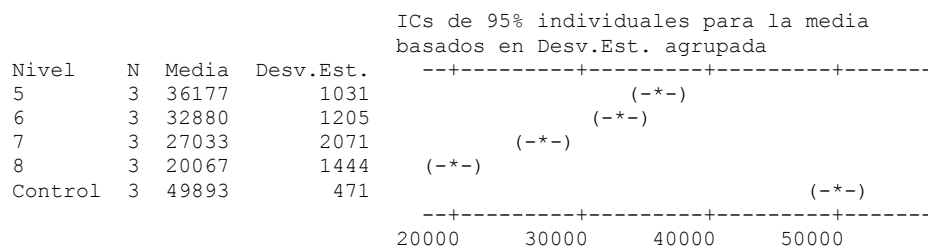
Nivel de confianza individual = 99.18%

PROCESO 2 (CONGELACIÓN-COCCIÓN)

ANOVA unidireccional: G' (Pa) vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	4	1494426133	373606533	205.01	0.000
Error	10	18223467	1822347		
Total	14	1512649600			

S = 1350 R-cuad. = 98.80% R-cuad.(ajustado) = 98.31%



Desv.Est. agrupada = 1350

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Control	3	49893	A
5	3	36177	B
6	3	32880	B
7	3	27033	C
8	3	20067	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

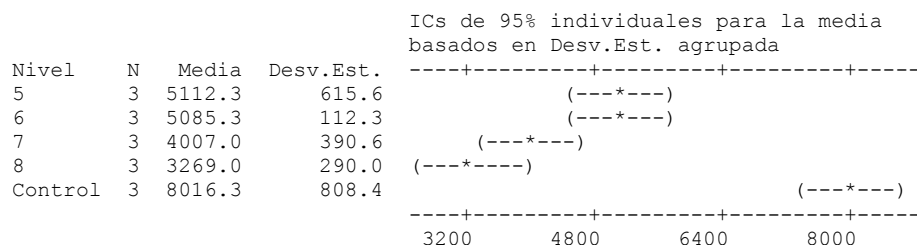
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.18%

ANOVA unidireccional: G" (Pa) vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	4	39157672	9789418	38.19	0.000
Error	10	2563518	256352		
Total	14	41721190			

S = 506.3 R-cuad. = 93.86% R-cuad.(ajustado) = 91.40%



Desv.Est. agrupada = 506.3

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Control	3	8016.3	A
5	3	5112.3	B
6	3	5085.3	B
7	3	4007.0	B C
8	3	3269.0	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

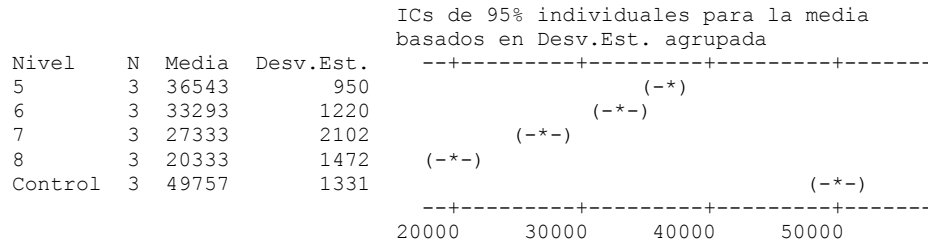
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.18%

ANOVA unidireccional: G* (Pa) vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	4	1454883507	363720877	169.17	0.000
Error	10	21500933	2150093		
Total	14	1476384440			

S = 1466 R-cuad. = 98.54% R-cuad.(ajustado) = 97.96%



Desv.Est. agrupada = 1466

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Control	3	49757	A
5	3	36543	B
6	3	33293	B
7	3	27333	C
8	3	20333	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

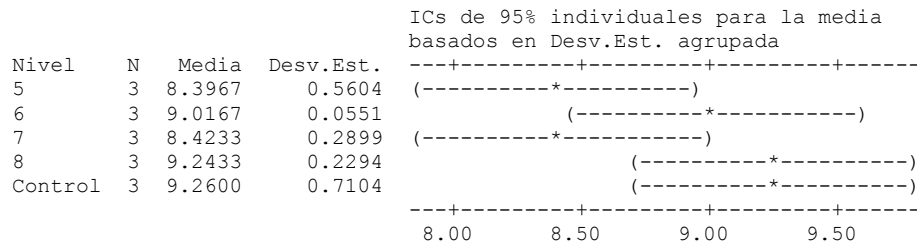
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.18%

ANOVA unidireccional: δ (°) vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	4	2.210	0.552	2.88	0.080
Error	10	1.917	0.192		
Total	14	4.126			

S = 0.4378 R-cuad. = 53.55% R-cuad.(ajustado) = 34.97%



Desv.Est. agrupada = 0.4378

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Control	3	9.2600	A
8	3	9.2433	A
6	3	9.0167	A
7	3	8.4233	A
5	3	8.3967	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

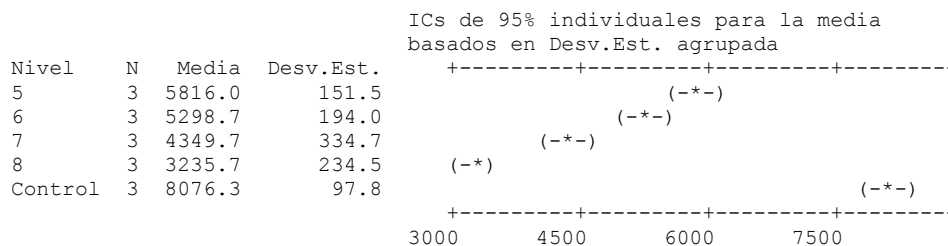
Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
 Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.18%

ANOVA unidireccional: η (Pas) vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	4	39370854	9842714	207.47	0.000
Error	10	474425	47442		
Total	14	39845279			

S = 217.8 R-cuad. = 98.81% R-cuad. (ajustado) = 98.33%



Desv.Est. agrupada = 217.8

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Control	3	8076.3	A
5	3	5816.0	B
6	3	5298.7	B
7	3	4349.7	C
8	3	3235.7	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
 Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

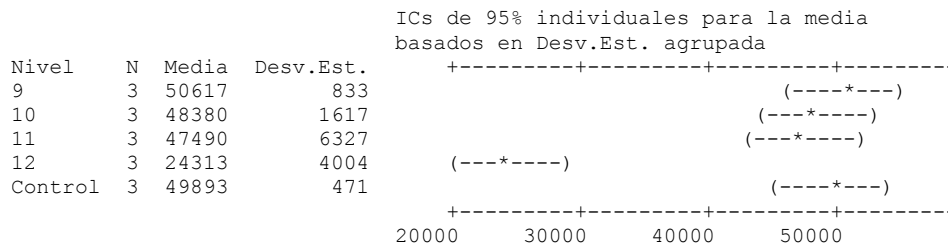
Nivel de confianza individual = 99.18%

PROCESO 3 (ESCALDADO-CONGELACIÓN-COCCIÓN)

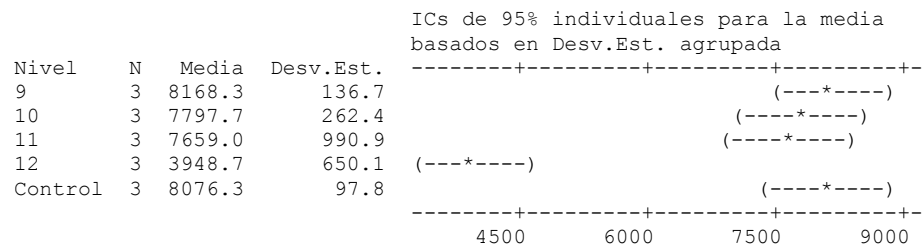
ANOVA unidireccional: G' (Pa) vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	4	1492034573	373008643	31.29	0.000
Error	10	119202200	11920220		
Total	14	1611236773			

S = 3453 R-cuad. = 92.60% R-cuad. (ajustado) = 89.64%



Desv.Est. agrupada = 3453



Desv.Est. agrupada = 548.0

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
9	3	8168.3	A
Control	3	8076.3	A
10	3	7797.7	A
11	3	7659.0	A
12	3	3948.7	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.18%

ANEXO I. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CONTENIDO DE BETA-CAROTENO

PROCESO 1 (COCCIÓN-CONGELACIÓN)

ANOVA unidireccional: All-trans-BC vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	5	17920	3584	34.86	0.000
Error	6	617	103		
Total	11	18537			

S = 10.14 R-cuad. = 96.67% R-cuad. (ajustado) = 93.90%

				ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada	
Nivel	N	Media	Desv.Est.	-----+-----+-----+-----+-----	
1	2	213.60	17.68	(---*--)	
2	2	200.93	9.82	(--*---)	
3	2	184.00	10.25	(---*--)	
4	2	153.35	9.29	(---*--)	
Control	2	217.71	1.24	(---*--)	
Fresco	2	280.26	3.84		(--*---)
				-----+-----+-----+-----+-----	
				150	200 250 300

Desv.Est. agrupada = 10.14

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Fresco	2	280.26	A
Control	2	217.71	B
1	2	213.60	B
2	2	200.93	B
3	2	184.00	B C
4	2	153.35	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.27%

PROCESO 2 (CONGELACIÓN-COCCIÓN)

ANOVA unidireccional: All-trans-BC vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	5	38731.4	7746.3	126.37	0.000
Error	6	367.8	61.3		
Total	11	39099.2			

S = 7.829 R-cuad. = 99.06% R-cuad. (ajustado) = 98.28%

				ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada	
Nivel	N	Media	Desv.Est.	-----+-----+-----+-----+-----	
5	2	189.91	9.05	(--*--)	
6	2	164.34	11.69	(--*--)	
7	2	142.96	11.32	(--*--)	
8	2	101.13	2.18	(--*--)	
Control	2	217.71	1.24	(--*--)	
Fresco	2	280.26	3.84		(--*--)
				-----+-----+-----+-----+-----	

120 180 240 300

Desv.Est. agrupada = 7.83

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Fresco	2	280.26	A
Control	2	217.71	B
5	2	189.91	B C
6	2	164.34	C D
7	2	142.96	D
8	2	101.13	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.27%

PROCESO 3 (ESCALDADO-CONGELACIÓN-COCCIÓN)

ANOVA unidireccional: All-trans-BC vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	5	19533.5	3906.7	48.75	0.000
Error	6	480.8	80.1		
Total	11	20014.3			

S = 8.952 R-cuad. = 97.60% R-cuad.(ajustado) = 95.60%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.
10	2	194.25	2.32
11	2	181.53	9.50
12	2	147.80	9.95
9	2	206.91	16.43
Control	2	217.71	1.24
Fresco	2	280.26	3.84

Desv.Est. agrupada = 8.95

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Fresco	2	280.26	A
Control	2	217.71	B
9	2	206.91	B C
10	2	194.25	B C
11	2	181.53	C D
12	2	147.80	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 99.27%