

**EMPLEO DEL COLOR COMO HERRAMIENTA DE CONTROL DE LA
CALIDAD DE UN CARAMELO DURO TIPO PANELITA**

**MARÍA EUGENIA ARIAS CUELLAR
JUAN PABLO BENÍTEZ FRANCO**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
SANTIAGO DE CALI
2015**

**EMPLEO DEL COLOR COMO HERRAMIENTA DE CONTROL DE LA
CALIDAD DE UN CAMELO DURO TIPO PANELITA**

**MARÍA EUGENIA ARIAS CUELLAR
JUAN PABLO BENÍTEZ FRANCO**

**Propuesta de trabajo de grado como requisito parcial para optar por el Título de
Ingeniero de Alimentos**

Director:
JUAN SEBASTIÁN RAMÍREZ-NAVAS, IQ, PhD.

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
SANTIAGO DE CALI
2015**

DEDICATORIA

En primer lugar a Dios por nunca abandonarme y por siempre bendecirme en este proceso, y a mis padres por todo el esfuerzo realizado, palabras de aliento, dedicación y confianza.

María Eugenia Arias Cuellar

A Dios por sus incontables bendiciones recibidas durante toda mi vida, a mis padres y hermanos por ser un magnífico ejemplo a seguir y a mi pareja por su apoyo.

Juan Pablo Benítez Franco

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme finalizar esta etapa y por todas las bendiciones que derramó sobre mí.

A mis padres por su amor, esfuerzo y constante apoyo, gracias a ellos estudié esta gran carrera, y a mi hermano por ser un apoyo y por acompañarme en mis trasnochos.

Al profesor Juan Sebastián Ramírez-Navas, por no solo ser un gran director de tesis sino por sus exigencias, enseñanzas, palabras de apoyo y por ser una gran guía en este trabajo.

Al profesor Wilmar Torres y al doctor Albert Ibarz, porque con sus conocimientos me brindaron una gran ayuda para el desarrollo de este trabajo.

A Juan Pablo Benítez, mi compañero en este trabajo, por sus enseñanzas, apoyo y por su amistad.

María Eugenia Arias Cuellar

A Dios por permitirme terminar esta etapa y darle paso a otra llena de bendiciones.

A mis padres por su esfuerzo, dedicación y entrega en todos los aspectos de mi vida, a mis hermanos por su apoyo y palabras de aliento en los momentos difíciles.

Al Doctor Juan Sebastián Ramírez Navas por su apoyo en este trabajo y acompañamiento continuo. A quien admiro por su entrega en los diversos campos en que logra desenvolverse.

A Wilmar Alexander Torres y Albert Ibarz por su apoyo y conocimiento en el área del diseño de experimentos y ciencia de los alimentos permitieron la culminación de este proyecto.

A mi compañera de trabajo, María Eugenia Arias, por su apoyo y dedicación en todo momento. Gracias por tu amistad incondicional.

A todos los que con sus buenos deseos y apoyo permitieron la realización de este proyecto.

Juan Pablo Benítez Franco

TABLA DE CONTENIDO

Lista de Figuras	5
Lista de Tablas.....	6
Lista de Ecuaciones	6
Resumen	7
Abstract	8
1 Introducción	9
2 Problema científico	11
2.1 Planteamiento del problema.....	11
2.2 Justificación	11
2.3 Hipótesis	12
2.4 Objetivos.....	12
3 Marco teórico	13
3.1 Productos de confitería	13
3.2 Panelitas	13
3.3 Desarrollo del color	15
4 Materiales y métodos.....	18
4.1 Ubicación.....	18
4.2 Materia prima y aditivos	18
4.3 Tipo de investigación.....	18
4.4 Análisis instrumental	18
4.5 Procedimiento	20
5 Resultados y discusión.....	23
5.1 Determinación del rango de color aceptable por consumidores de caramelos duros comerciales	23
5.2 Determinación de la concentración óptima de azúcar y panela	25
5.3 Estandarización y caracterización del producto final	28
6 Conclusiones.....	34
7 Recomendaciones.....	35
8 Bibliografía.....	36
9 Anexos.....	39
9.1 Tablas de datos experimentales	39
9.2 Fotos	40
9.3 Validación de supuestos.....	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Panelitas de leche comerciales	20
Figura 2. Encuesta empleada para determinar el rango de color aceptable.....	20
Figura 3. Panelitas de leche comerciales empleadas en la encuesta	21
Figura 4. Aceptación de panelitas comerciales por parte de los consumidores	23
Figura 5. Variación del índice de pardeamiento en panelitas comerciales.....	24
Figura 6. Contorno de tiempo de cocción.....	26
Figura 7. Contorno de índice de pardeamiento.....	26
Figura 8. Optimización del proceso de elaboración de panelitas	27
Figura 9. Cambio de luminosidad relativa durante el calentamiento de panelitas de leche .	28
Figura 10. Evolución de la temperatura del producto a través del tiempo de cocción	29
Figura 11. Representación de parámetros de color a vs b de panelitas de leche	30
Figura 12. Cambio del tono de panelitas en función del tiempo de cocción.....	31
Figura 13. Cambio de color e índice de pardeamiento en panelitas de leche a través del tiempo de cocción	31
Figura 14. Cinéticas de orden cero del cambio de color e índice de pardeamiento	32
Figura 15. Cinéticas de orden uno del cambio de color e índice de pardeamiento	33
Figura 16. Muestras obtenidas en diferentes tiempos del proceso de elaboración de panelitas	40
Figura 17. Panelitas de leche obtenidas del experimento	40
Figura 18. Validación del tiempo de cocción mediante el método lineal.....	41
Figura 19. Validación del índice de pardeamiento mediante el método lineal.....	42
Figura 20. Validación de tiempo de cocción mediante el método cuadrático	42
Figura 21. Validación del índice de pardeamiento mediante el método cuadrático	43
Figura 22. Prueba de probabilidad del tiempo de cocción	44
Figura 23. Prueba de probabilidad del índice de pardeamiento	44

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización de los diseños de superficie de respuesta	21
Tabla 2. Relación de variables respuesta y concentraciones del producto	25
Tabla 3. Resumen de los modelos desarrollados	27
Tabla 4. Atributos de color para las panelitas en diferentes tiempos de proceso	39
Tabla 5. Parámetros cinéticos del índice de pardeamiento	39
Tabla 6. Parámetros cinéticos del cambio de color	39

LISTA DE ECUACIONES

Ec. 1. Croma	16
Ec. 2. Tono	16
Ec. 3. Cambio de color	16
Ec. 4. Índice de pardeamiento	19
Ec. 5. Parámetro de pardeamiento (X)	19
Ec. 6. Rango de color.....	24

RESUMEN

El color es una característica de los alimentos importante para el consumidor, al momento de elegir un producto. En caramelos duros como las panelitas, la variación de color se debe principalmente a las reacciones de Maillard, reacción que se desarrolla durante el procesamiento. El color de las panelitas presenta gran variabilidad debido a las diferentes formulaciones y a los diferentes tiempos de cocción utilizados. Además se desconoce qué color prefieren los consumidores al momento de elegir una panelita. El objetivo de esta investigación fue estandarizar el color de panelitas. Para la estandarización se utilizaron tres fases. En la primera fase se determinó la preferencia del consumidor mediante una prueba de aceptabilidad del color representada por una escala hedónica. El color se midió mediante coordenadas CIEL*a*b* y se determinó para cada color el índice de pardeamiento (IP). En la segunda fase se determinó la concentración de panela y la concentración de azúcar requerida para alcanzar el color seleccionado en la fase uno. Las concentraciones de panela y azúcar se determinaron mediante superficie de respuesta, midiendo el IP y el tiempo de cocción. Para determinar el tiempo de cocción en cual se alcanzaba el color deseado por los consumidores, se superpusieron las superficies de respuesta. Se determinó el nivel de ajuste de las ecuaciones obtenidas de las superficies de respuesta. En la tercera fase experimental se elaboraron panelitas utilizando la formulación óptima encontrada en la fase dos. Adicionalmente se determinaron durante el procesamiento, las cinéticas de cambio de color y las cinéticas de IP. Se determinó el nivel de ajuste de las variables color e IP. El producto final se caracterizó en cuanto a humedad y actividad de agua (a_w) siguiendo la Norma Técnica Colombiana (NTC) 424. El color de preferencia del consumidor presentó IP de 136%, y coordenadas CIEL*a*b* L^* 29,82; a^* 9,98; b^* 21,13. Las concentraciones de azúcar y panela necesarias para alcanzar el color de preferencia de los consumidores fueron de 35,22% y 1,89%, respectivamente. El tiempo de cocción óptimo fue de 73 min. El nivel de ajuste del IP fue de 81,71%, y el nivel de ajuste del tiempo de cocción fue de 53%. El cambio de color y IP siguieron orden de reacción 1. El nivel de ajuste de las variables fue del 65%, este porcentaje se explicó debido a la formación de color en la etapa previa al desmoldado, donde el valor de L^* se incrementó con mucha rapidez, generando valores atípicos. El producto presentó humedad de 3,13% y actividad de agua de 0,67. Se ratificó que la metodología de superficie de respuesta fue adecuada para estandarizar el color de las panelitas. Las panelitas elaboradas se encontraron dentro de los parámetros de aceptabilidad establecidos en la norma NTC 424.

Palabras clave: Panelitas, Superficie de respuesta, Índice de Pardeamiento, Confite duro, a_w , Humedad, CIEL*a*b*

ABSTRACT

Color is an important characteristic of food when the consumers are choosing a product. In hard candies like panelitas, color variation is mainly due to the reactions of Maillard, this reaction develops during processing. The color of panelitas presents a lot variability due the different formulations and cooking time processing. Furthermore is unknown what color is preferred by consumers when they are choosing a panelita. The objective of this research was to standardize the color of panelitas. For standardization were used three phases. In the first phase consumer preference was determined by hedonic scale surveys. The color was measured by CIEL*a*b* coordinates and determined for each color browning index (IP). In the second phase the panela and sugar concentration required to achieve the selected color in phase one was determined. The panela and sugar concentrations were determined by response surface, measuring the IP and the cooking time. For determinate the cooking time by which the desired color for the consumers is reached, the response surfaces overlapped. It was determined adjusting level of the equations obtained by the response surfaces. In the third experimental phase panelitas were developed using the optimal formulation found in phase two. Moreover they were determined during processing, kinetics of color change and kinetics of IP. The level of adjustment of color and IP variables were determined. The final product was characterized as A_w and humidity following the NTC 424. The consumer preference color presents a IP of 136%, and CIEL*a*b* coordinates $L^* = 29.82$; $a^* = 9.98$; $b^* = 21.13$. The concentrations of sugar and panela necessary to achieve the color preference of consumers were 35.22% and 1.89%, respectively. The optimum cooking time was 73 minutes. The level of adjustment was 81.71% IP, and the level adjustment of the cooking time was 53%. The color change and IP followed a reaction of 1 order. The level of adjustment of the variables was 65%, this percentage was explained due to color formation in the stage before unmolding, where the value of L^* was increased very quickly, and generating outliers. The product has 3.13% moisture and water activity of 0.67. It was confirmed that the response surface methodology was adequate to standardize the color of the panelitas. The elaborate panelitas were within the parameters of acceptability established in NTC 424 standard.

Keywords: Panelitas, Surface response, hard Candy, a_w , Moisture, CIEL*a*b*

1 INTRODUCCIÓN

La industria confitera de Colombia se caracteriza por la innovación y calidad de productos. Los principales fabricantes han hecho prueba de ingenio con un gran número de lanzamientos que abarca la introducción de nuevos procesos, formas y formulaciones. En cuanto a caramelos duros, se encuentra la marca Delight como una de las primeras novedades y la forma más empleada para estos caramelos es el troquelado por su tolerancia a altas cantidades de sacarosa y con esto se presenta mayor beneficio económico en países productores de azúcar (Revista I Alimentos, 2011).

Los productos de confitería, se basan principalmente en la preparación de jarabes concentrados de azúcar, que después de una cocción lenta, sostenida y cuidadosa se convierten en una masa que adquiere la textura característica del dulce según su tipo (A.A.P.P.A, 2003). Dentro de estos productos se encuentran los caramelos duros, que son de consistencia sólida, vítrea y de alta concentración, obtenida de la cocción de una solución de carbohidratos: azúcar, azúcar invertido, jarabe de glucosa, polioles, polidextrosa, isomaltitol y otros ingredientes aptos para el consumo humano permitidos por la autoridad sanitaria competente y que adquieren una consistencia sólida quebradiza al enfriarse. Los caramelos duros no deben tener consistencia pegajosa, adulterantes, ni contaminantes; no deben presentar sabores extraños, ni apariencia que evidencie deterioro del producto (NTC 424, 2008).

La formación del sabor, color y aroma, en este tipo de productos, es resultado de la reacción de Maillard. Esta reacción hace parte de los fenómenos más ocurridos en procesamiento y almacenado de los alimentos en el cual los factores de importancia son los reactantes, temperatura, pH y tiempo. En ésta ocurre una interacción entre los azúcares reductores y aminoácidos libres o grupos aminos terminales de proteínas, generando una base de Schiff, a continuación un ordenamiento de Amadori junto con la formación de dicetosaminas, una enolización y reacción de Strecker. Los compuestos responsables del color son los formados por los productos de Amadori: Compuestos dicarbonílicos y aminoácidos (Miranda *et al.*, 2007).

Un estudio reciente publicado del color en caramelos a base de leche, fue el desarrollado por Rodríguez *et al.* (2012), en un sistema modelo compuesto por caseinato, lactosa, sacarosa y agua destilada, evaluando la influencia del tratamiento térmico y el pH en el color del producto. Por medio del sistema CIELAB identificaron un aumento significativo de ΔE^*_{ab} (diferencia de color) con el aumento del tiempo y pH inicial, al igual que una tendencia a disminuir la luminosidad con relación a éstos. Concluyeron que los parámetros de estudio empleados son los adecuados para el seguimiento de la cinética del desarrollo de

color y son aptos como un mecanismo de control de la calidad final del producto y diseño de equipos.

Debido a que la panelita es considerada un producto artesanal aun no industrializado, sin norma técnica propia, la estandarización se enmarcó con la NTC 424: Productos Alimenticios, Caramelos duros, cumpliendo cada una de las exigencias descritas en la misma. Siendo la humedad residual la exigencia más importante para el producto final estandarizado.

La uniformidad en el color de los alimentos es de gran importancia, para esto se busca el empleo de cinéticas de formación del color en caramelos, como lo son las panelitas. El método instrumental utilizado para la evaluación del color será el colorímetro y empleando el sistema CIELAB en el cual se evalúan los parámetros de luminosidad L^* , a^* y b^* . Es importante el empleo de este sistema ya que aquí se definen magnitudes colorimétricas que se derivan matemáticamente de los valores triestímulo y pueden considerarse una respuesta de los observadores patrones a un estímulo luminoso; este sistema es uno de los más empleados, aunque el número de valores numéricos posibles por cada píxel es menor que en otros sistemas, es posible referenciar una cantidad superior de colores en total, aun así aquellos que no aparecen en el mundo real (Domínguez *et al.*, 2012).

Con la estandarización de la elaboración de panelitas tanto en condiciones de proceso como de materias primas y concentraciones, se busca establecer uniformidad de color en los productos encontrados en el mercado y así será posible para productores encontrar una referencia acerca de una formulación estándar que permita dicha uniformidad en cuanto apariencia y sabor de estos caramelos duros.

2 PROBLEMA CIENTÍFICO

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La estandarización en un proceso, permite obtener las mismas características en los productos, facilitando el control sobre el óptimo desarrollo de los procedimientos haciéndolos más eficientes. Actualmente, el proceso de elaboración de panelitas no cuenta con una estandarización, por lo cual el producto obtenido experimenta cambios constantemente y no logra satisfacer las necesidades de los clientes en cuanto a las características sensoriales, en especial el color (Malagón, 2007).

Debido a los requerimientos de los consumidores en cuanto a color, sabor y demás características, se lleva a cabo la estandarización de los alimentos. Con la no presencia de dicha estandarización, se tienden a catalogar los productos como defectuosos, los cuales no cumplen con los requerimientos de los consumidores, afectando la actividad comercial (Malagón, 2007). Teniendo en cuenta que el proceso de elaboración de panelitas es considerado artesanal, y que las empresas que lo desarrollan son pequeñas, no se llevan a cabo controles en cuanto a temperatura, tiempo de agitación, empaque y almacenamiento, contribuyendo a un deterioro del alimento.

2.2 JUSTIFICACIÓN

El Valle del Cauca es la región más azucarera de Colombia, no solo por su diversidad de plantas procesadoras de caña de azúcar sino también por la tradición del alto consumo de productos de confitería. Uno de los fenómenos responsables del color pardo en confites como las panelitas, es la reacción de Maillard debido a que en la etapa final de la misma se desarrollan melanoidinas; además ésta se ve afectada por diversos factores como temperatura y pH (Rodríguez *et al.*, 2012).

Es importante tener en cuenta que las especificaciones de calidad sensorial en el color se definen como el intervalo de variación aceptable de un producto respecto a un estándar previamente establecido. En el caso particular de la panelita, actualmente no cuenta con una referencia, ni intervalos específicos para su elaboración lo cual ocasiona una presencia de colores muy claros o muy oscuros en el producto final afectando la aceptación ante el consumidor (Ramírez *et al.*, 2014). Teniendo en cuenta que el color se considera una característica determinante para el éxito comercial de productos y que su control se vuelve imprescindible, es necesario disponer de métodos objetivos de medida de esta propiedad que permitan la obtención de valores comparables y reproducibles (Contreras, 2006). Por tanto, se evaluó la influencia de la concentración de panela y azúcar sobre el tiempo y color

óptimo para la obtención de una panelita aceptable por los consumidores y catalogada como un producto de buena calidad (Costell, 2000).

2.3 HIPÓTESIS

H₀: Es posible modelar el color y tiempo de cocción a partir de la concentración del producto (azúcar y panela) en busca de un color óptimo.

H₁: No es posible modelar el color y tiempo de cocción a partir de la concentración del producto (azúcar y panela) en busca de un color óptimo.

2.4 OBJETIVOS

2.4.1 General

Determinar el efecto de la concentración de panela y azúcar, sobre la variación del color del caramelo tipo panelita.

2.4.2 Específicos

Optimizar la concentración de azúcar y panela con respecto al tiempo de cocción y color del caramelo duro tipo panelita.

Evaluar las cinéticas de variación del color durante el proceso de elaboración de panelitas respecto a la concentración optima de azúcar y panela.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 PRODUCTOS DE CONFITERÍA

La industria de confites abarca el sector de golosinas, dulces y chocolates. Para el caso de dulces, estos tienen como componente principal el azúcar y se clasifican como no cristalinos si esta no se presenta como cristal o cristalinos si se encuentra cristalizada. Dentro de estos productos se encuentran:

- **Caramelos:** Son productos de consistencia sólida o semisólida que se obtienen del conocimiento de un almíbar de azúcares y agua, y que pueden contener o no otras sustancias y aditivos alimenticios permitidos (NTE INEN 2 217, 2000).
- **Caramelos duros:** Son pastas de azúcares en forma de almíbar, comestibles, concentradas al calor, que adquieren una consistencia sólida y quebradiza, generalmente aromatizadas y coloreadas (Paniagua, 2006).
- **Caramelo suave:** Su textura es elástica y moldeable. Pueden contener leche, grenetina o almidón modificado y se caracterizan por su contenido de grasa, suavidad y plasticidad (Legiscomex, 2009; NTE INEN 2 217, 2000).
- **Comprimidos:** Su fabricación se lleva a cabo con ingredientes en polvo, como sacarosa, dextrosa, ácidos, color, sabor y agentes compactadores (Legiscomex, 2009).

3.2 PANELITAS

En Colombia, las “panelitas de leche” son un caramelo duro, obtenido mediante la concentración por evaporación de una mezcla de leche, harina, azúcar y panela, en presencia de un neutralizante como bicarbonato. Éstas poseen un color ámbar de intensidad moderada, la cual puede oscilar entre tonos muy oscuros o muy claros y con poca brillantez (Cortés, Ortiz y Ramírez-Navas, 2014). Teniendo en cuenta que el enfoque del trabajo está en caramelos duros como las panelitas, es importante definir los ingredientes de éstas, los posibles fenómenos y las operaciones que se llevarán a cabo en el proceso de elaboración de las mismas.

3.2.1 Ingredientes

- **Leche:** Es el producto natural secretado por las glándulas mamarias de vacas sanas, íntegro, de aspecto normal, sin ningún tipo de adición o extracción, no contiene

calostro, y es obtenido por el ordeño higiénico, regular y completo 15 días antes y tres días después del parto (Roca, 2011).

- **Azúcar:** Además de su importancia como componente del sabor típico del dulce de leche tiene un papel clave en la determinación del color final, consistencia y cristalización (Kurlat, 2010).
- **Harina de maíz:** Actúa como agente gelificante y se encarga de aumentar la viscosidad, fijar el agua, producir y estabilizar las emulsiones y alterar la textura del producto. Sus propiedades dependen solamente de la temperatura (Malagón, 2007).
- **Bicarbonato de sodio:** Es empleado como regulador de acidez y se permite en cantidades de 5000mg/kg solo o mezclado expresado como sustancia anhidra (Codex alimentarius, 2011). Durante el proceso de elaboración el producto va evaporando humedad, el ácido láctico se va concentrando en fase acuosa progresivamente y la acidez va aumentando de una manera tal que el proceso podría culminar por producir una Sinersis (el dulce se corta). El uso de leche con acidez elevada produciría un dulce de leche de textura arenosa. De igual forma al obtener un valor elevado de acidez se evita que el producto final adquiera su color característico, ya que las reacciones de Maillard son retardadas por el descenso del pH; por todo ello será necesario reducir la acidez inicial de la leche (Kurlat, 2010).

3.2.2 Proceso de elaboración

- **Neutralización:** Es el procedimiento empleado para bajar la acidez de la leche o el porcentaje de ácido láctico de la leche (%AL) (Ramírez-Navas, 2012). La neutralización se realiza adicionando bicarbonato de sodio (ICTA, 2000). La determinación de la relación neutralizante:leche se realiza mediante un cálculo matemático, teniendo en cuenta el peso del neutralizante, su pureza y la cantidad de ácido láctico presente en la leche (Ramírez-Navas, 2012).
- **Cocción:** Se someten a aproximadamente 100°C y constante agitación los ingredientes anteriormente citados excepto la harina, pues esta se adiciona al alcanzar el punto de ebullición en toda la mezcla y favorece el desarrollo de las reacciones que influyen en el color del producto y en la textura (Moreno, 2013). La concentración de harina en el producto es de 13 g por 500 mL de leche.

- **Desmoldado:** El alimento disminuye su temperatura hasta los 60°C y la mezcla se deposita en una superficie sólida hasta que se enfría, adquiriendo la textura dura característica para llevar a cabo el corte y empaque (Kurlat, 2010). Las panelitas son moldeadas o cortadas manualmente de forma rectangular o cuadrada, cúbica, semiesférica o de apariencia irregular dependiendo del capricho del artesano o como sea aceptado culturalmente en una determinada región (Cortés *et al.* 2014).

3.2.3 Defectos del producto

Cedeño (2009) señala que existen al menos tres defectos importantes en la elaboración de este tipo de productos, entre éstos están:

- **Granulación:** Causada por un balance incorrecto de azúcares, por una mala disolución de azúcares, por envolver caramelos calientes o por continuar agitando una vez llegado el punto final del proceso.
- **Pegajosidad:** Esta característica puede presentarse por una cocción lenta en el proceso, inadecuadas condiciones atmosféricas y de almacenamiento.
- **Opacidad:** Este defecto es causado principalmente por una cocción lenta de la masa, mesas de enfriamiento que no se encuentran en la temperatura adecuada, excesiva manipulación de la masa y por emplear envolturas que no son lo suficientemente herméticas.

3.3 DESARROLLO DEL COLOR

Las reacciones presentadas durante la elaboración y almacenamiento de alimentos son las de pardeamiento enzimático, como las reacciones de Maillard. Estas son las responsables del color característico de caramelos duros como las panelitas. Se origina por la reacción de los grupos amino en aminas, aminoácidos y proteínas con azúcares reductores, aldehídos y cetonas. Estas reacciones pueden ocurrir durante el calentamiento del alimento, en cualquier etapa de su procesamiento o durante el almacenamiento prolongado. Afecta el valor nutricional del mismo, ya que se puede perder la disponibilidad de importantes aminoácidos (Barreiro y Sandoval, 2006). Otras de las reacciones que se presentan son las de caramelización y oxidación, las cuales se ven alteradas por factores como temperatura, pH y actividad de agua del producto (Rozycki, 2003).

3.3.1 Estudio del color

Cuando se trata de alimentos y de su calidad, no se cuenta comúnmente con un producto estándar en cuanto a sus características sensoriales por largos periodos de tiempo. Sin embargo, los estándares son utilizados como control de calidad en algunos ingredientes; y para el control de ciertas características de los productos como el color, se cuenta con análisis que generalmente son fotográficos (Costell, 2000). Se han desarrollado diversos métodos de estudio en búsqueda de mejorar la aceptación del producto (Nutrición XXI, 2002).

Una de las especificaciones de color más importantes a nivel industrial es el sistema CIE, el cual ha sido rediseñado a través del tiempo sin modificarse su principio general, se basa en un estudio triestímulo (X, Y, Z) usando como referencia el rojo, verde y azul respectivamente. Para este sistema se utilizan los ejes a^* , b^* y L^* ; siendo este último la luminosidad del producto y los dos sobrantes están asociados al plano cromático. Para valores de a^* positivos y negativos, se obtiene rojo y verde y para valores de b^* positivos y negativos, amarillo y azul, respectivamente (Konica, 2007).

El estudio del color está relacionado a las variables a^* , b^* y L^* y su discusión se llevó a cabo por medio del Croma (C), Tono (h) y Cambio de color (ΔE), definidos a continuación de forma respectiva en las ecuaciones 1, 2 y 3:

$$C_{ab} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

Ec. 1. Croma

$$h_{ab} = \arctg\left(\frac{a^*}{b^*}\right)$$

Ec. 2. Tono

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Ec. 3. Cambio de color

La cromaticidad y tonalidad hacen parte de la representación cilíndrica a partir de las coordenadas originales del sistema CIElab. La cromaticidad (C) describe el grado de separación del color respecto al gris neutro y su distancia con un color puro. La tonalidad (h^*) corresponde a la dominancia de radiaciones, representadas en ángulos, asociadas a un color sobre los demás (0° rojo, 90° amarillo, 180° verde, 270° azul), el valor cercano correspondiente a los fenómenos de pardeamiento es 90°, amarillo característico. El cambio

de color (ΔE) es una herramienta que logra cuantificar las diferencias entre muestras que el ojo humano no logra apreciar (Ramírez-Navas, 2010).

3.3.2 Cinéticas de color

En relación al modelado de las cinéticas de color en el pardeamiento no enzimático, las mediciones de mayor incidencia son: Absorción luminosa (K), inverso de la luminancia ($1/L$) e índice de Kubella-Munk (K/S). En particular, la última relación permite un estudio cuantificado y detallado del comportamiento, pues es fruto de los modelos de regresión (orden Mezclado e Integral) y sus constantes (Rozycki, 2003). El modelado del color realizado por Valencia *et al.* (2012) establece las cinéticas de orden mezclado (Orden Mezclado cero y uno), destacando las variables L^* y b^* en caramelos, como las adecuadas para establecer el tiempo de vida útil y registros de cambio de color.

Rodríguez y Bastidas (2009) llevaron a cabo una revisión bibliográfica relacionada a las incidencias y propiedades características en un caramelo, en especial a las propiedades que pueden llegar a determinar la calidad del producto, como lo es la textura y olor. Las temperaturas empleadas en la producción de un caramelo duro a partir de uchuva son de 85-90 °C. Rodríguez *et al.* (2012) desarrollaron un estudio en un sistema modelo de composición similar al dulce de leche y observaron los cambios en el color en función del tiempo de calentamiento y pH. Evidenciaron que el parámetro crítico o de estudio más influyente en el ΔE es el pH, con una relación directamente proporcional.

En cuanto a la incidencia de la temperatura en la reacción de Maillard como responsable en el desarrollo del color, se observa que el cambio de color y croma es mayor con el aumento de esta. En el caso de la cinética realizada en pulpa de mango por Manayay *et al.* (2013), los valores más altos fueron presentados al emplear 98°C como temperatura de cocción para pulpa simple y concentrada a las cuales se aplicaron cinéticas de orden cero y uno, siendo la de orden cero la de mejor ajuste.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 UBICACIÓN

Esta investigación se realizó en la ciudad de Cali, Colombia, en la Universidad del Valle, sede Meléndez, en el laboratorio de operaciones unitarias y laboratorios de la Escuela de Ingeniería de Alimentos durante los semestres 2014B y 2015A.

4.2 MATERIA PRIMA Y ADITIVOS

Los productos comerciales, materia prima y aditivos se adquirieron en los supermercados de la localidad y puntos de venta especializados. Las materias primas empleadas en la elaboración de panelitas fueron: Leche, panela, azúcar, bicarbonato de sodio y harina de maíz.

4.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Este estudio se puede definir como un estudio correlacional, ya que se pretende demostrar cómo se vincula la variación del color respecto a la concentración de azúcar y panela, bajo temperatura constante y tiempo de cocción como variable respuesta.

4.4 ANÁLISIS INSTRUMENTAL

En la presente investigación se llevaron a cabo los análisis descritos a continuación:

4.4.1 Determinación del color

Para realizar la determinación colorimétrica de las panelitas de leche, se empleó como modelo de color el sistema CIE-Lab y el iluminante de referencia D65 (estándar luz de día), obteniendo los valores experimentales mediante el empleo del espectrocolorímetro (Color Flex- HunterLab), teniendo como parámetros matemáticos de formulación los descritos por Novoa y Ramírez-Navas (2012). Donde se tuvo como magnitudes estudiadas para la caracterización del color, la luminosidad (L^*), la proporción de rojo-verde (a^*) y proporción amarillo-azul (b^*).

Para obtener dichas mediciones se calibró el equipo con los platos de referencia verde, blanco y negro, ubicando previamente la caja petri, sobre la cual se colocarían las muestras, en el puerto de lectura. Cada muestra se situó en la caja petri previo a su análisis. Todas las

muestras se cubrieron antes del análisis con el cubreobjetos de color negro (parte del equipo). Para evitar que la luz causara interferencia en la lectura. Las muestras se rotaron aproximadamente 120° después de cada lectura, repitiéndose la misma.

4.4.2 Cálculo del cambio de color

Se determinó según lo descrito por Minolta (2007), usando la Ec. 3.

4.4.3 Cálculo del índice de pardeamiento

Se determinó de acuerdo a lo descrito por Palou et al. (1999):

$$BI (\%) = \frac{X - 0,31}{0,17} * 100$$

Ec. 4. Índice de pardeamiento

Con X:

$$X = \frac{a^* + 1,75 * L^*}{5,645 * L^* + a^* - 3,012 * b^*}$$

Ec. 5. Parámetro de pardeamiento (X)

Siendo a^* , b^* y L^* las características triestímulo del sistema CIElab.

4.4.4 Determinación del contenido de humedad

Para la caracterización del producto estandarizado se determinó el contenido de humedad final por triplicado en estufa de aire caliente marca Binder a 60°C (AOAC, 1991), se usó una balanza digital con $\pm 0,0001$ g de precisión. Este método de determinación de humedad se basa en la diferencia de peso de la muestra húmeda y después de ser sometida a secado, obteniendo así la cantidad de agua evaporada y expresándola en porcentaje.

4.4.5 Determinación de Actividad de agua

Se determinó por duplicado la a_w en el producto estandarizado final, en un higrómetro de punto de rocío (Decagón, AquaLab CX-1, USA) con una precisión de 0,001. La calibración del equipo se realizó con sales patrón estándar (0,05, 0,25 y 0,98) introduciendo una a una las sales, hasta que el equipo mostraba la medición de la actividad de agua de las mismas. Con el equipo calibrado se midió la a_w de las panelitas de leche, para esto se tomaron

muestras de aproximadamente 12g. El objetivo fue llegar a un valor menor a 0,65 garantizando la estabilidad microbiológica según lo descrito por Roca (2011).

4.5 PROCEDIMIENTO

4.5.1 Determinación del rango de color aceptable por consumidores de caramelos duros comerciales

En la primera fase de la investigación se obtuvo seis muestras de diferentes productos comerciales (*Dulces del Valle*, *El Jardín*, *Normandy* y *Payanés*) en tiendas mayoristas de Santiago de Cali, dichas muestras fueron seleccionadas con máximo 30 días de su fecha de elaboración, con registro sanitario vigente e incluyendo diferentes tonalidades. En la Figura 1 se presentan las panelitas de leche comerciales empleadas para determinar el color óptimo objetivo de la presente investigación.



Figura 1. Panelitas de leche comerciales

Se aplicó una encuesta con escala hedónica a 75 consumidores para evaluar la aceptación respecto a la tonalidad de panelitas de leche comerciales, con el fin de establecer un rango de preferencia en el color superficial de las mismas y valor objetivo a obtener en la fase de estandarización. El formato de encuesta se presenta en la Figura 2.

PRUEBA DE ACEPTACIÓN DEL COLOR EN PANELITAS					
Género	F	M			
Edad	16-25	26-35	36-45	46 en adelante	
Seleccione la muestra con el color de su preferencia.					
	45	97	16	61	32
					75
Gracias por su colaboración					

Figura 2. Encuesta empleada para determinar el rango de color aceptable

En la Figura 3 se observa la disposición de las panelitas de leche comerciales presentadas a los consumidores. Se garantizó que todas las muestras tuvieran la posibilidad de ocupar el primer lugar el mismo número de veces, con el fin de evitar el error por ordenamiento.



Figura 3. Panelitas de leche comerciales empleadas en la encuesta

4.5.2 Determinación de la concentración óptima de azúcar y panela

Para obtener un producto con el color de preferencia en el numeral 4.5.1, la fase experimental se desarrolló de acuerdo por lo descrito por Kuehl (2001) para experimentos por diseño de superficies de respuesta 2^n , siendo 2 el número de factores y n la cantidad de niveles. A continuación se presenta en la Tabla 1, el diseño de experimentos implementado.

Tabla 1. Caracterización de los diseños de superficie de respuesta

Factores Originales		Factores Codificados			Variables respues- ta directas	Variables res- puesta indirectas
% Azúcar	% Panela	% Azúcar	% Panela			
31	1,3	-1	-1	Condiciones de frontera	Tiempo de cocción, Color (L^* , a^* , b^*)	ΔE IP
53	1,3	1	-1			
31	2,2	-1	1			
53	2,2	1	1			
42	1,75	0	0	Punto Central		

Las condiciones de frontera se realizaron por duplicado cada una y el punto central (de mayor importancia para el modelo) se realizó cinco veces. En busca de disminuir el error experimental se trabajó con materias primas del mismo proveedor y procurando mantener la temperatura de la mezcla cercana a 90 °C, resultado de etapas preliminares.

Dado que se modeló el tiempo de cocción y color del producto fue necesario llevar a cabo dos superficies de respuesta. Para la primera de ellas, se registró el tiempo en cada experimento y este se promedió como parámetro constante para el desarrollo de la segunda

superficie. En esta fase se evaluó cuál de las variables respuesta indirectas representa mejor el proceso de formación de color en el producto.

4.5.3 Estandarización y caracterización del producto final

A partir de la concentración de panela y azúcar obtenida del modelo de superficies de respuesta, se estudió la formación de color en el tiempo durante la etapa de cocción, cuyo único factor fue el tiempo. Adicionalmente se caracterizó el producto final obtenido (Humedad, a_w). Estas cinéticas se desarrollaron con el propósito de verificar la eficiencia del estudio.

4.5.4 Análisis estadístico

El análisis de los datos de la superficie de respuesta del color de las panelitas y tiempo de cocción se realizó utilizando el modelo de superficie de respuesta 2^2 descrito por Kuhel (2001) evaluando la inclusión de términos cuadráticos. De igual forma se realizó la validación de supuestos para cada una de las cuatro superficies de respuesta y la prueba de normalidad de las variables respuesta de IP y tiempo de cocción. Las modelaciones se realizaron utilizando el programa estadístico especializado Minitab 17 (*Quality Analysis Results* [©])

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 DETERMINACIÓN DEL RANGO DE COLOR ACEPTABLE POR CONSUMIDORES DE CAMELOS DUROS COMERCIALES

En la Figura 4, se presentan los resultados de la encuesta de carácter hedónico realizada en las instalaciones de la Universidad del Valle. Con el fin de minimizar el error en los resultados de la encuesta, se mantuvo igual proporción de hombres y mujeres y se llevó a cabo el proceso en un solo día permitiendo que factores externos no afectaran las diversas opiniones.

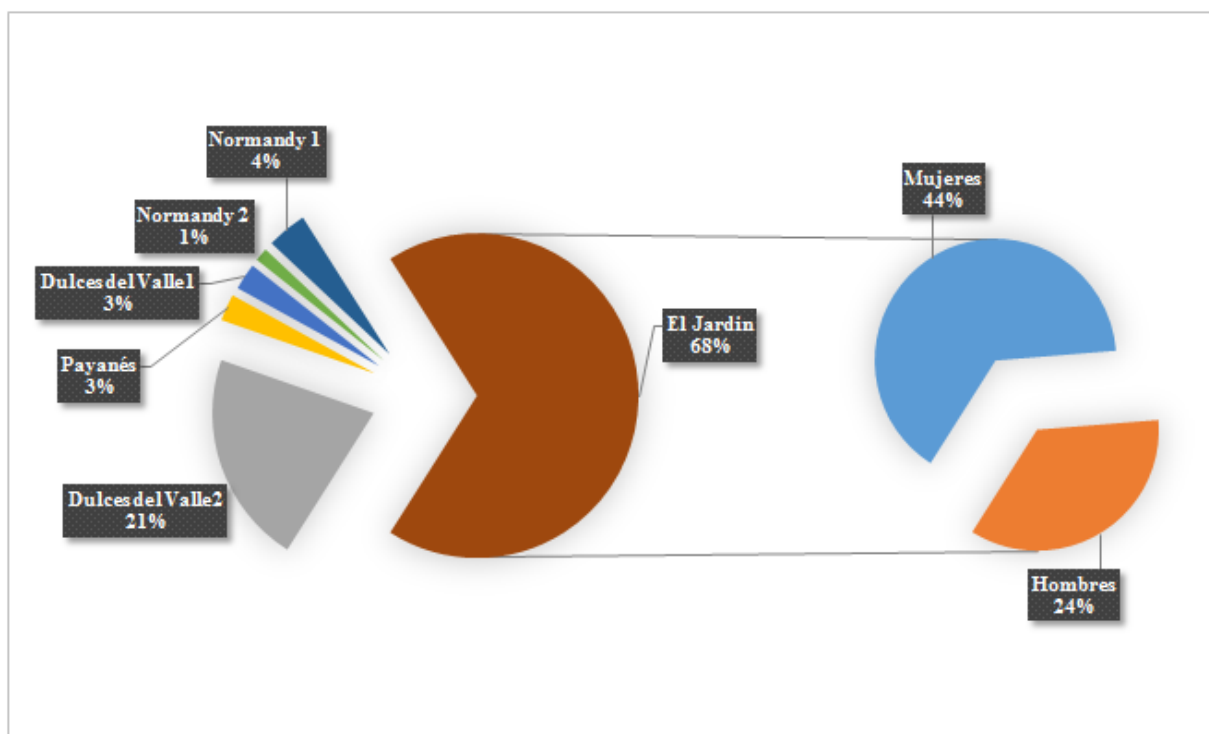


Figura 4. Aceptación de panelitas comerciales por parte de los consumidores

Las muestras comerciales *Dulces del Valle* y *Normandy* no presentan homogeneidad en el color y es por esto que fue necesario incluir otra muestra de las marcas respectivas. Se evidenció que el color que presentó mayor aceptación por parte de los consumidores, fue el de la marca *El Jardín* con un 68% de preferencia. En cuanto a las otras marcas solo *Dulces del Valle 2* presentó una mediana aceptación, mientras que en las demás marcas la preferencia no fue significativa.

En la Figura 5, se presentan los resultados de IP de las muestras comerciales. Se evidenció que hay semejanza en los valores reportados para las marcas *El Jardín* y *Dulces del Valle 2* y dando continuidad a los resultados obtenidos en la encuesta el rango objetivo debe incluir estos valores.

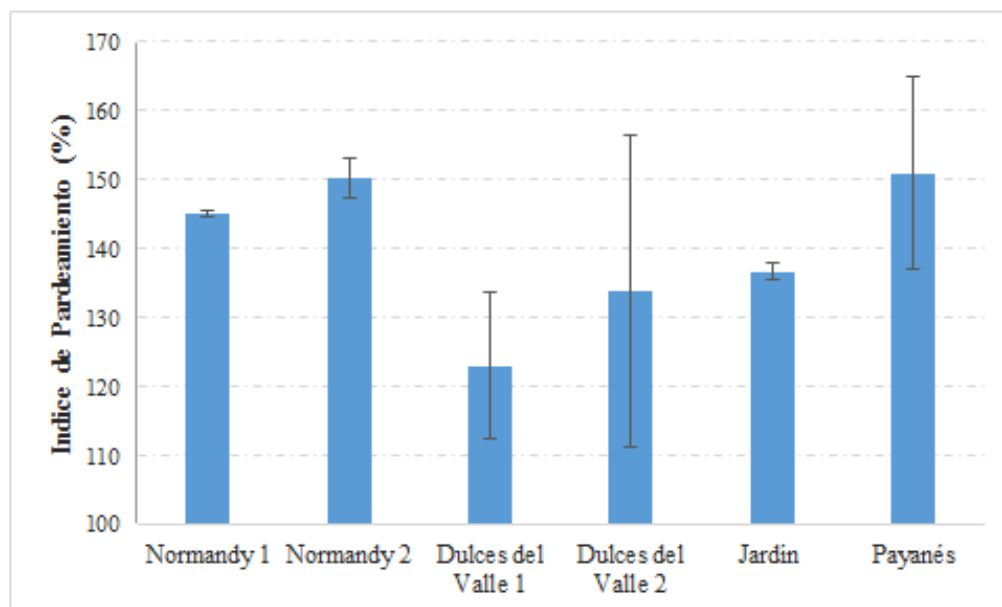


Figura 5. Variación del índice de pardeamiento en panelitas comerciales

Para la siguiente fase fue necesario determinar el valor objetivo, el cual está expresado en términos de IP y el cálculo empleado se presenta a continuación:

$$\text{Rango de Color (IP)} = [\mu - \sigma x_i, \mu + \sigma x_i]$$

Ec. 6. Rango de color

Con μ valor medio de IP (marca *El Jardín*), σ desviación estándar de la marca de mediana aceptación (marca *Dulces del Valle 2*), x_i fracción de participación de la marca *Dulces del Valle*.

Aplicando la Ecuación 6, el rango de color implementado como objetivo en el diseño de superficies de respuesta es [131,15 – 142,02], esta fue la condición de aceptabilidad del producto estandarizado. De acuerdo a lo descrito por Behar y Yepes (2007), el 68% de las opiniones del consumidor se ven recopiladas en dicho rango.

5.2 DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE AZÚCAR Y PANELA

En la Tabla 2, se presentan los resultados obtenidos correspondientes al numeral 4.5.2. Estos valores hacen referencia al IP y tiempo de cocción y se evaluó la eficiencia de los modelos lineal y cuadrático.

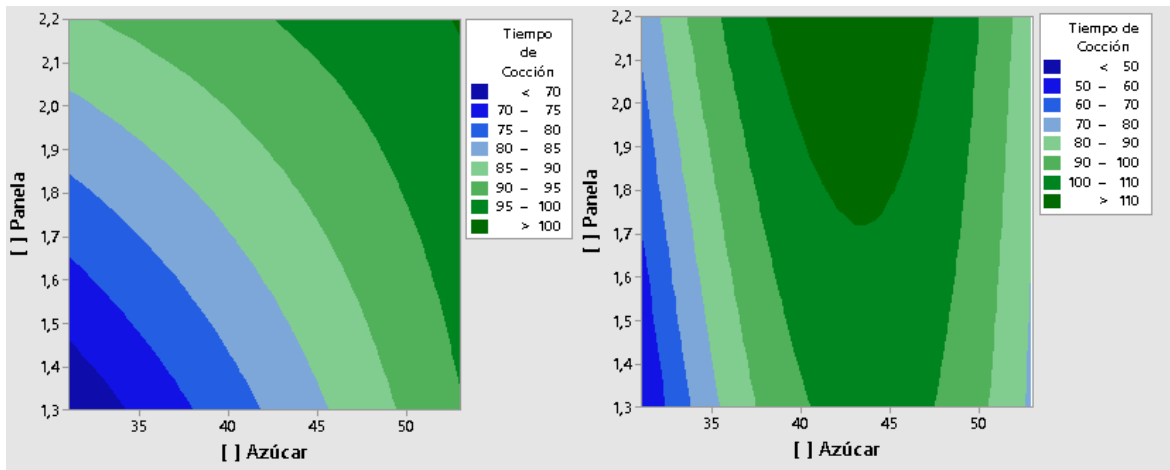
Tabla 2. Relación de variables respuesta y concentraciones del producto

[] Azúcar (%)	[] Panela (%)	Tiempo de cocción (min)	Índice de pardeamiento (%)
42	1,75	129	143,8
42	1,75	113	155,3
42	1,75	110	129,6
42	1,75	115	148,8
42	1,75	98	134,6
42	1,75	94	144,3
53	2,2	90	1672,9
53	2,2	77	606,6
53	1,3	90	1619,7
53	1,3	66	1796,7
31	2,2	60	463,1
31	2,2	85	642,6
31	1,3	48	197,1
31	1,3	50	219,5

El primero corresponde a una relación de orden uno entre las variables concentración de azúcar y panela, mientras que el segundo incluye términos cuadráticos e interacción entre variables. En la presente investigación se presenta un análisis comparativo de los resultados obtenidos por medio de los dos modelos.

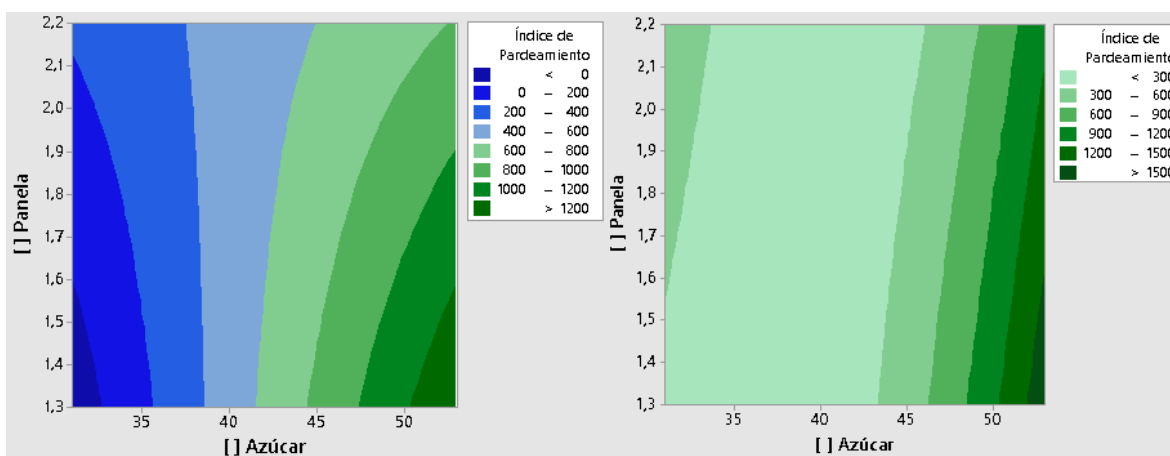
A continuación se presentan las gráficas de contorno correspondientes a los modelos lineal y cuadrático, respectivamente. En la Figura 6, se muestra la distribución del tiempo de cocción a partir de las variables concentración de panela y azúcar para los modelos lineal y cuadrático.

En el modelo lineal se evidencia una relación directamente proporcional de la variable respuesta dado que ésta aumenta con el incremento de las concentraciones. En este proceso se debe disminuir la tensión superficial del agua con los compuestos polihidroxilados (sacarosa) empleando temperatura por largos periodos de tiempo, esto se debe a que es necesario romper los puentes de hidrogeno para finalmente calentar el agua y llevar a evaporación, este comportamiento se evidencia con claridad en el modelo cuadrático dado que el tiempo de cocción disminuye cuando la concentración de sólidos aumenta (Fennema *et al.*, 2010).



**Figura 6. Contorno de tiempo de cocción
a la izquierda modelo lineal, a la derecha modelo cuadrático**

En la Figura 7, se presenta la distribución del índice de pardeamiento a partir de las variables concentración de panela y azúcar para los modelos lineal y cuadrático.



**Figura 7. Contorno de índice de pardeamiento
a la izquierda modelo lineal, a la derecha modelo cuadrático**

El índice de pardeamiento representado por los dos modelos muestra comportamientos similares exceptuando los valores mínimos, puesto que para el modelo lineal éste parámetro presenta valores negativos lo cual contradice el fenómeno de pardeamiento. La incidencia de la concentración se debe al aporte de azúcares reductores de la panela y el azúcar, que es de 0,05% (NTC 1311 y NTC 778, respectivamente), que durante la etapa de cocción aumentan el color café al producirse las melanoidinas (Badui, 2006).

La Figura 8 muestra los valores óptimos de concentración de azúcar y panela (valores en rojo) con un nivel de significancia del 5% para los modelos lineal y cuadrático.

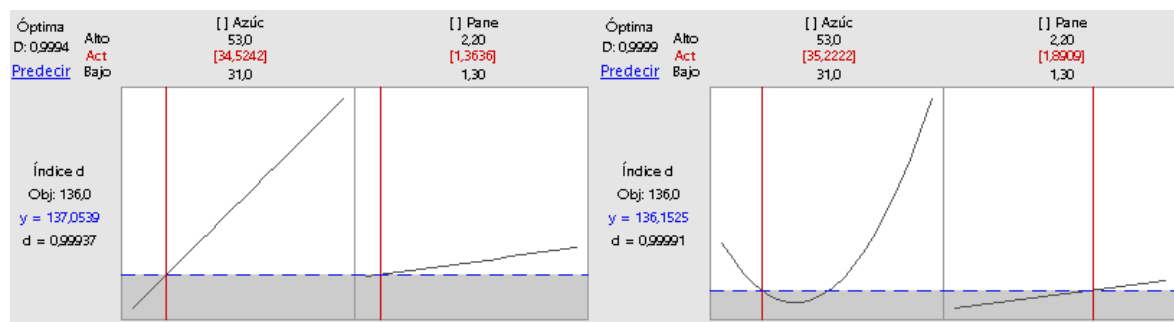


Figura 8. Optimización del proceso de elaboración de panelitas

El valor objetivo reportado en la figura es el correspondiente al obtenido de la encuesta establecida en el numeral 5.1, indicando un índice de pardeamiento de 136%. Si se tiene en cuenta solo esta optimización como criterio de decisión, es el modelo cuadrático el que mejor representó el índice de pardeamiento ya que su precisión fue mayor referente al modelo lineal en un orden de magnitud (valor d en la Figura 8). Esto se evidencia en los valores obtenidos en azúcar y panela, especialmente en este último pues hay una diferencia estadísticamente significativa por ambos modelos.

El tiempo de cocción no fue optimizado satisfactoriamente debido a la variabilidad que presentó durante el proceso en la etapa de modelado. Sin embargo, en la Tabla 3 se presentan los coeficientes y porcentajes de ajuste en conjunto con el índice de pardeamiento de los modelos empleados.

Tabla 3. Resumen de los modelos desarrollados

Coeficiente independiente	Tiempo de cocción		Índice de pardeamiento	
	Modelo lineal	Modelo cuadrático	Modelo lineal	Modelo cuadrático
	-46	-593	-4.587	6.052
Concentración azúcar	2,5	29,63	128,1	-399
Concentración panela	54,3	54,3	1.812	1.812
Concentración azúcar * panela	-	-0,909	-	-46,1
Concentración azúcar * azúcar	-	-0,323	-	6,28
Porcentaje de ajuste	17,06	81,71	50,39	88,44

En relación con la Tabla 3, es el modelo cuadrático quien presentó un grado de ajuste estadísticamente mayor al lineal y cercano al 80%, éste valor corresponde al grado de reproducibilidad del experimento a partir de los coeficientes presentados (Sung-Yong *et al.*, 2015). Por este motivo fue el modelo cuadrático el empleado en las concentraciones de

azúcar y panela óptimas (35,22% y 1,89%, respectivamente) para la etapa de estandarización y caracterización del producto final.

5.3 ESTANDARIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL

Los indicadores para la caracterización fueron la a_w y la humedad, obteniendo valores de 0,67 y 3,13%, respectivamente. El segundo excede en 0,13% la humedad establecida por la NTC 424 de 2008 para considerar el producto como caramelo duro, siendo con dicho valor un caramelo semi-duro. En referencia a la a_w ésta es mayor al valor correspondiente para que el producto sea estable en el tiempo (Roca, 2011).

En la Figura 9, se presenta el cambio de la luminosidad relativa respecto al tiempo de cocción. Los datos experimentales utilizados para graficar las curvas observadas en las siguientes figuras se encuentran en las Tablas 4, 5 y 6 de anexos.

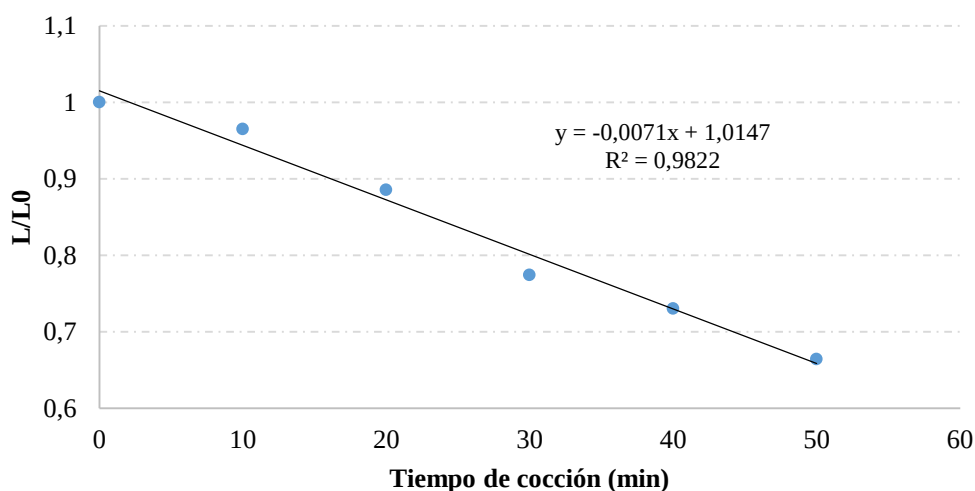


Figura 9. Cambio de luminosidad relativa durante el calentamiento de panelitas de leche

La luminosidad relativa disminuyó con el tiempo de tratamiento como se observó en la Figura 9 y las muestras presentaron colores más oscuros evidenciando el desarrollo de pardeamiento. Se han llevado a cabo estudios en los cuales Ibarz y Lozano (1997), aplicaron el modelo cinético en purés de manzana y melocotón tratado térmicamente en el cual se encontraron comportamientos similares a los observados en el presente estudio. Además, Ibarz *et al.* (1999) establecieron que el comportamiento presentado obedece a una cinética de orden uno típica en fenómenos de pardeamiento. El fenómeno de oscurecimiento se debe a la presencia de azúcares reductores y grupos amino que en

conjunto con pH, a_w y temperatura producen melanoidinas café que con el pasar del tiempo de cocción intensifican su color (Badui, 2006).

En la Figura 10, se presenta el comportamiento de la temperatura a través del tiempo de cocción; indicando que a medida que avanza el proceso de elaboración de panelitas la temperatura aumenta. El valor máximo de temperatura durante el proceso de elaboración de panelitas fue 91°C y este permaneció constante durante la mayor parte del proceso.

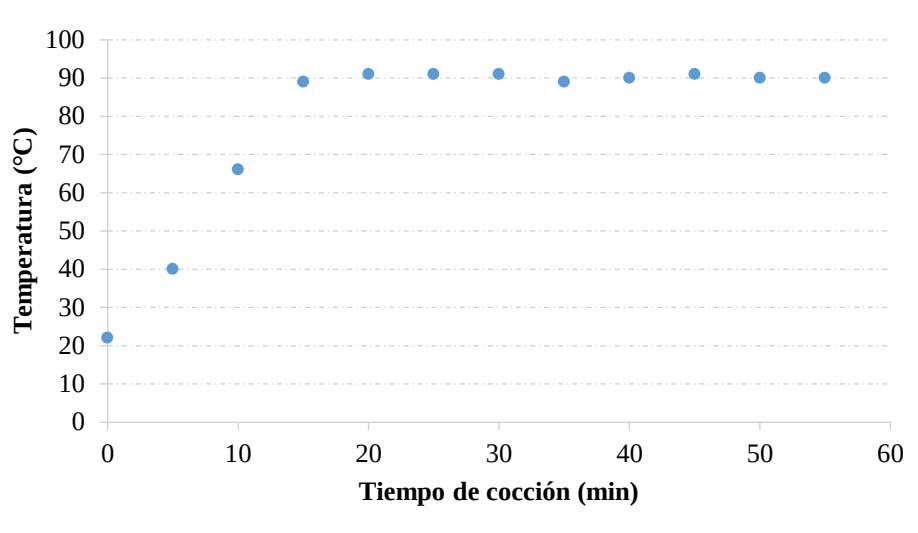


Figura 10. Evolución de la temperatura del producto a través del tiempo de cocción

Al inicio del proceso la temperatura de la mezcla asciende rápidamente hasta que empieza la formación de burbujas de aire y por ende la evaporación del agua. Cuando empieza a presentarse dicha evaporación, la temperatura permanece constante y el proceso de cocción continúa, finalizando en el momento en que la consistencia es la requerida para panelitas de leche. La temperatura máxima alcanzada por la mezcla fue 91°C, lo cual evitó la desnaturalización de las proteínas de la leche y por ende el producto obtenido fue el deseado (Marcelín-Rodríguez & Vélez-Ruíz, 2012).

Los parámetros de a^* y b^* del producto se representan en la Figura 11, predominando el color amarillo y en menor magnitud el rojo. En puré de melocotón se evidenció un comportamiento similar al del presente estudio en etapas tempranas del proceso, puesto que el parámetro predominante fue b^* , sin embargo, al final el producto presentó tonalidad rojiza siendo diferente a lo encontrado en la presente investigación (Garza *et al.*, 1999). Ibarz *et al.* (1999) realizaron el estudio en puré de pera y el comportamiento evidenciaba una pérdida del color amarillo y hacia el final del proceso tonalidades rojizas en mayor proporción, indicando que la temperatura fue un factor influyente en dicho cambio.

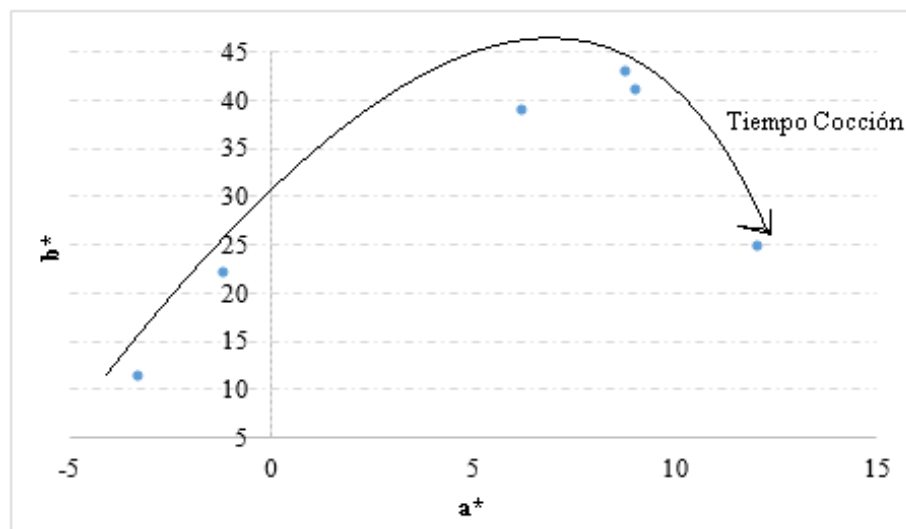


Figura 11. Representación de parámetros de color a^* vs b^* de panelitas de leche

El comportamiento presentado en la figura anterior se encuentra en productos en los cuales se desarrolla el pardeamiento puesto que tienden a generar tonos oscuros y además se cuenta con el empleo de alta temperatura y tiempo.

El cambio de tonalidad presentado en el producto a través del tiempo de cocción se observa en la Figura 12. Se evidencia una relación directamente proporcional entre ambos parámetros, indicando que la tonalidad del producto se ve afectada por la temperatura quien aumenta en el tiempo de cocción. De acuerdo a estudios realizados por Kwok *et al.* (1999) en leche de origen vegetal, el comportamiento es diferente al presentado en esta investigación siendo una relación inversamente proporcional entre el tiempo de cocción y leche de soya.

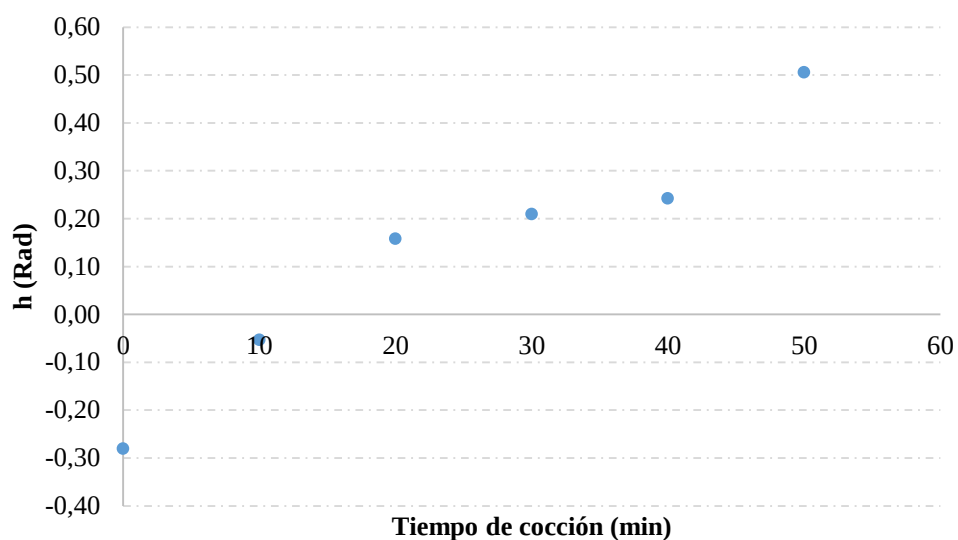


Figura 12. Cambio del tono de panelitas en función del tiempo de cocción

En la Figura 13, se presenta el cambio de color e índice de pardeamiento en el producto durante la etapa de cocción.

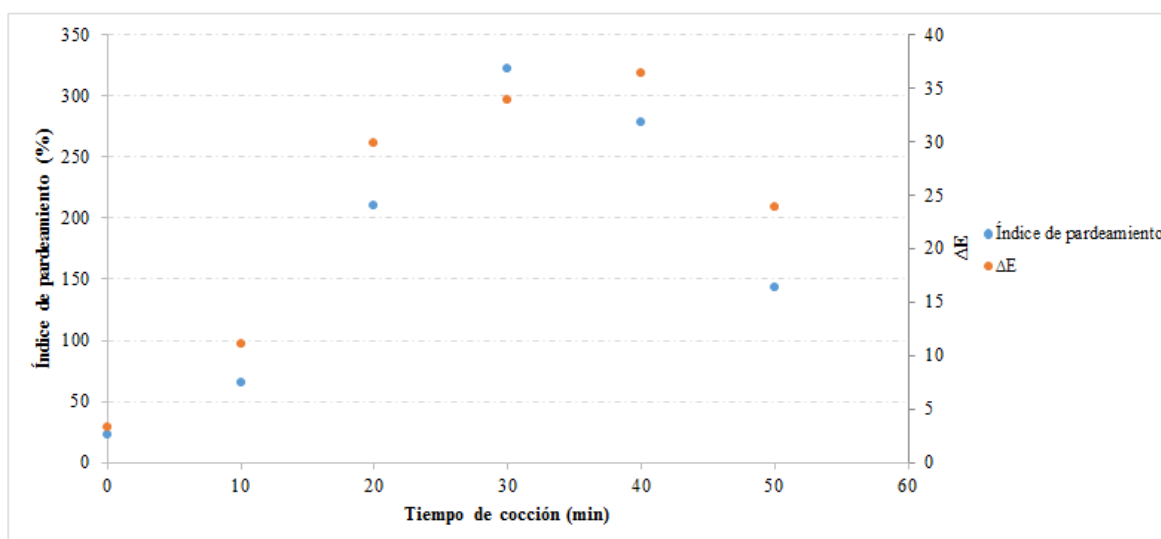


Figura 13. Cambio de color e índice de pardeamiento en panelitas de leche a través del tiempo de cocción

El comportamiento para ambos parámetros es parabólico; en el cambio de color el punto máximo, que es cercano a los 40 min, evidenció una variación superior de L^* , a^* y b^* , mientras que el valor máximo presentado en el índice de pardeamiento fue a los 30 min indicando que en este punto se obtuvo el color más oscuro posible en la reacción. Estudios

en melocotón indican que el cambio de color aumenta con el tiempo y la temperatura de tratamiento (Garza *et al.*, 1999). En cuanto al índice de pardeamiento valores en aumento indican que las muestras desarrollaron colores más oscuros propios de reacciones de pardeamiento.

A continuación en las Figuras 14 y 15, se presentan las cinéticas de orden cero y uno, respectivamente del fenómeno de cambio de color e índice de pardeamiento en panelitas de leche. Los modelos propuestos están relacionados con los estudios realizados por Ibarz *et al.* en pulpa de fruta (1997), puré de pera (1999) y puré de melocotón (1999).

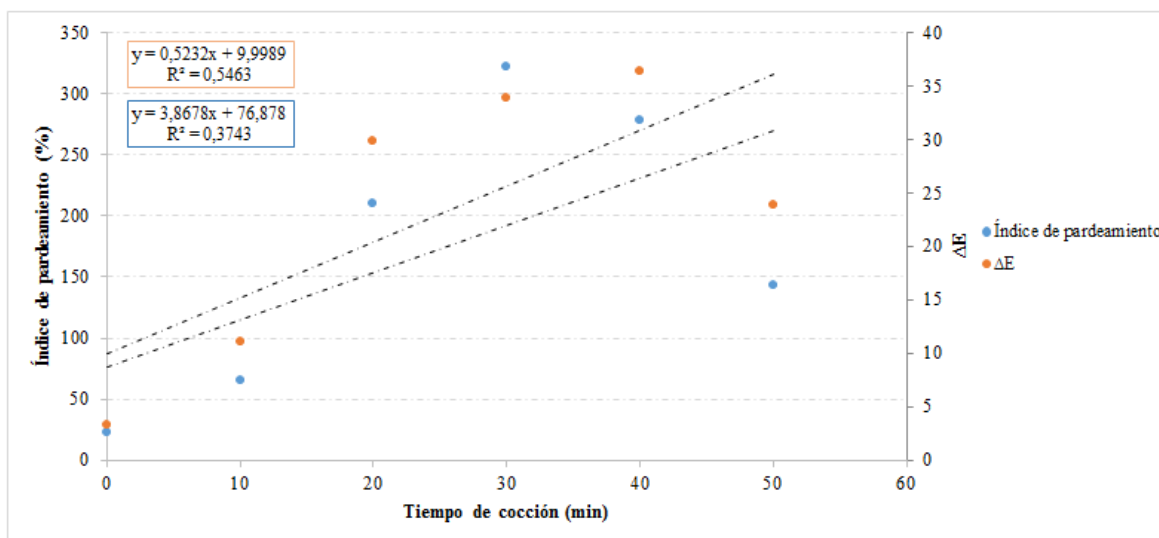


Figura 14. Cinéticas de orden cero del cambio de color e índice de pardeamiento

Para la cinética de orden cero los valores obtenidos de K_0 para el cambio de color (ΔE) e índice de pardeamiento fueron 0,523 y 3,868 respectivamente. De acuerdo con estos valores, un incremento en el tiempo de cocción conlleva a una tasa de cambio mayor en el índice de pardeamiento al menos cinco veces más en relación a ΔE . Ésta última variable de acuerdo con el grado de ajuste (R^2), es quien mejor representa la cinética de orden cero.

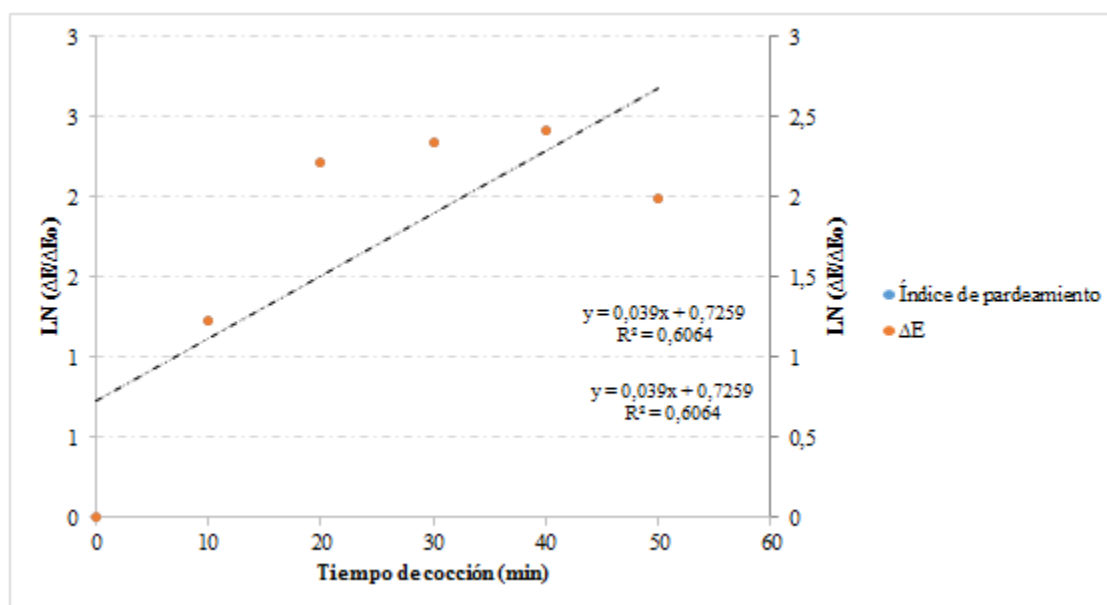


Figura 15. Cinéticas de orden uno del cambio de color e índice de pardeamiento

En relación a la cinética de orden uno la tasa de cambio logarítmica para las variables fue la misma ($K=0,039$) al igual que el grado de ajuste, lo que representa que el fenómeno de color en la cinética de orden uno puede ser estudiado por ambas variables. La incidencia del estudio en función del grado de las cinéticas puede evidenciarse en la variable K usada por Ibarz *et al.* (1999), esta variable es el cociente de k_0 y k_1 . Los valores obtenidos para el ΔE e índice de pardeamiento fueron 13,411 y 99,145 respectivamente, estos valores corresponden al nivel de variabilidad en términos de la variable respuesta al emplear cinéticas de diferente orden, que en el caso del índice de pardeamiento supera siete veces al ΔE . Ibarz *et al.* (1999) realizaron el estudio en puré de pera obteniendo un ΔE a 80 y 90 °C de 11,63 y 13,3 respectivamente, siendo cercano al obtenido en la presente investigación.

6 CONCLUSIONES

Después de estudiar el efecto de la concentración de panela y azúcar en el color presentado en panelitas de leche, se concluye que:

- Es posible determinar la preferencia del consumidor en el color de caramelo duro tipo panelita por medio de un panel no entrenado estableciendo el rango de color aceptable.
- Es adecuado el diseño de superficies de respuesta para la caracterización y modelado del índice de pardeamiento. Este a diferencia del cambio de color, permitió determinar el grado de avance de la producción del color en panelitas de leche a partir de la concentración de azúcar y panela.
- Con las variables y condiciones empleadas en el presente estudio, no fue posible modelar el tiempo de cocción requerido para la producción de panelitas de leche.
- Los valores de actividad de agua y humedad obtenidos en el producto estandarizado proporcionan estabilidad para prolongar su vida de anaquel.

7 RECOMENDACIONES

Es necesario incluir mayor cantidad de datos para modelar de forma conjunta el tiempo de cocción y el índice de pardeamiento de preferencia en panelitas de leche.

Se recomienda en futuros proyectos llevar a cabo un estudio de aceptabilidad de color del producto, a partir de los resultados de la presente investigación. Además, con la estandarización del proceso desarrollar un plan de mercado orientado a la creación de una empresa productora de panelitas.

8 BIBLIOGRAFÍA

- A.A.P.P.A. 2003. *Introducción a la Tecnología de Alimentos*. Editado por Editorial Limusa.
- Badui, D. 2006. *Química de los alimentos*. Editado por Pearson Educación. México.
- Barreiro J., Sandoval A. 2006. *Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas*. Edited by Equinoccio.
- Behar, R., Yepes, M, 2007. *Estadística: Un Enfoque Descriptivo*. Edited by Universidad del Valle.
- Cedeño, M. 2009. "Determinación de la temperatura vítrea de transición en caramelos duros." *Escuela superior politécnica del litoral*.
- Codex, 2011. *Leche y productos lácteos*. 2 ed. Codex Alimentarius.
- Contreras, C. 2006. "Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas." *Universidad Politécnica de Valencia*.
- Cortés, M., Román, M., Valencia, F. 2012. "Cinética del color durante el almacenamiento de caramelos blandos de uchuva adicionados de calcio y sin sacarosa." *Revista Lasallista*.
- Cortés Jiménez, A., Ortiz Álvarez, J.R. y Ramírez-Navas, J.S. 2014 Panelitas de leche colombianas. *Revista Tecnología Láctea Latinoamericana*, 81:52-61.
- Costell, E. 2000. "El análisis sensorial en el control y aseguramiento de la calidad de los alimentos: Una posibilidad real." *Revista Agrocsis*.
- Domínguez J., Román A., Prieto F., Acevedo O. 2012. "Sistema de notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos." *Revista mexicana de ciencias agrícolas*.
- Fennema, O., Parkin, K., Samodaran, S. 2010. *Química de los alimentos*. Vol. Tercera edición.
- Garza, S., Ibarz, A., Pagán, J. 1999. "Kinetic models for color changes in pear puree during heating at relatively high temperatures." *Journal of Food Engineering* 39:415-422.
- Ibarz, A., Lozano, J. 1999. "Colour changes in concentrated fruit pulp during heating at high temperatures." *Journal of Food Engineering*.
- ICONTEC, NTC 778. 1997. *Norma Técnica Colombiana: Industrias Alimentarias: Azúcar refinado: Quinta Actualización*.
- ICONTEC, NTC 424. 2008. *Norma Técnica Colombiana: Productos Alimenticios: Caramelos Duros: Séptima Actualización*.
- ICONTEC, NTC 572. 2012. *Norma Técnica Colombiana: Azúcar Métodos de ensayo para la determinación de humedad: Tercera Actualización*.
- ICTA, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 2000. "Manual de elaboración de dulces y panelitas de leche." *Universidad Nacional de Colombia*: 50-57.

- INEN, NTE 2217. 2000. *Instituto ecuatoriano de normalización. Norma técnica ecuatoriana. Productos de confitería: caramelos, pastillas, grageas, gomitas y turrónes*. 1 ed.
- Konica, M. 2007. *Precise Color Communication: Color Control From Perception to Instrumentation*.
- Kowok, K., MacDougall, D., Nijanjan, K. 1999. "Reaction kinetics of heat-induced colour changes in soymilk." *Journal of Food Engineering*.
- Kuehl R. O. 2001. *Diseño de Experimentos: Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación*. Edited by Thomson Learning. 2 ed.
- Kurlat, J. 2010. *Instituto nacional de tecnología industrial. Elaboración de dulce de leche*. Edited by INTI. 2 ed.
- Legiscomex. 2009. "Último trimestre del año, temporada de mayor consumo."4.
- Malagón, D. 2007. "Estandarización y validación de formulaciones base para confitería en caramelo duro y blando para la aplicación de agentes saborizantes en DISAROMAS S.A."
- Manayay, D., Ibarz, A., Castillo, W., Palacios, L. 2013. "Cinética de la diferencia de color y croma en el proceso térmico de pulpa de mango variedad Haden."
- Marcelín-Rodríguez, M., Vélez-Ruiz, J. 2012. "Proceso de elaboración y propiedades físico-químicas de las leches condensada azucarada y evaporada."
- Miranda L., Ventura J., Suarez S., Fuertes C. 2007. "Actividad citotóxica y antioxidante de los productos lácteos de la reacción de maillard de los sistemas modelo D-Glucosa – Glicina y D-Glucosa-L-Lisina." *RevSocQuim* 73:215-225.
- Moreno, A. 2013. "Dulces mexicanos"
- Novoa, D.F. y Ramírez-Navas, J.S. Caracterización colorimétrica del Manjar Blanco del Valle. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, Dic 2012, vol. 10, no. 2, p. 54-60.
- NTC 1331, ICONTEC. 2009. *Norma Técnica Colombiana: Productos Agrícolas: Panela: Tercera Actualización*.
- Nutrición XXI. 2002. "Colores y Sabores que nos tientan, Instituto de Nutrición y Tecnología de alimentos." 8:2-10.
- Palou, E., Lopez-Malo, A., Barbosa-Canovas, G. V., Welti-Chanes, J., & Swanson, B. G. 1999. "Polyphenoloxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree." *Journal of Food Science* 64:42-45.
- Ramírez-Navas, J.S. 2010. "Espectrocolorimetría en caracterización de leche y quesos." *Revista Tecnología Láctea Latinoamericana* 61:52-58.
- Ramírez-Navas, J.S. 2012. "Principios de ingeniería aplicados en la Industria Láctea: Material de clase (9ª clase)". Escuela de Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle. (Fecha de consulta: mayo, 2015). Disponible en: <https://sites.google.com/site/inglactea/clases>

- Ramirez-Navas, J., S., Murcia-Suarez C., L., Castro-Cabrera, V. 2014. "Análisis de aceptación y preferencia del Manjar Blanco del Valle." *Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial Ed: Editorial Universidad del Cauca* no. 12:20 - 27.
- Revista IALimentos. 2011. "La confitería del nuevo milenio." *Revista I Alimentos* 10.
- Roca, E. 2011. "Determinación del mejor proceso de elaboración de dulce de leche a partir de la sustitución parcial o total de leche fresca por leche en polvo."37.
- Rodríguez, A., Bastidas, P. 2009. "Evaluación del proceso de cocción para obtener un confite duro a partir de pulpa de arazá." *Revista ingeniería e investigación*.
- Rodríguez, A., Piagentini, A., Rozycki, S., Lema, P., Pauletti, M., Panizzolo, L. 2012. "Evolución del desarrollo del color en sistema modelo de composición similar al dulce de leche. Influencia del tiempo de calentamiento y del pH." *Revista del laboratorio tecnológico de Uruguay* 7:38-42.
- Rozycki, S. 2003. "Cinética de pardeamiento en sistemas lácteos concentrados: análisis comparativo de modelos."3-5.
- Sung-Yong Y., Se-Wook K., Yoonsook K., Sang-Hoon L., Hyeonjin J., Kwang-Won L. 2015. "Optimization of maillard reaction with ribose for enhancing anti-allergy effect of fish protein hydrolysates using response surface methodology." *Food chemistry* 176:420-425.
- Valencia F., Cortés M., Román M. 2012. "Cinética del color durante el almacenamiento de caramelos blandos de uchuva adicionados de calcio y sin sacarosa."3-5.

9 ANEXOS

9.1 TABLAS DE DATOS EXPERIMENTALES

A continuación se presenta en la Tabla 4, la caracterización del color a través del tiempo de cocción de las panelitas de leche en la fase de caracterización.

Tabla 4. Atributos de color para las panelitas en diferentes tiempos de proceso

Tiempo de cocción (min)	L*	a*	b*	C	h°	ΔE	X	IP
0	45,13	-3,25	11,26	11,72	-16,10	0	0,35	22,36
10	43,55	-1,19	22,11	22,14	-3,09	11,16	0,42	65,47
20	39,97	6,20	39,08	39,57	9,02	29,83	0,67	210,12
30	34,93	8,77	42,77	43,66	11,58	33,92	0,86	321,95
40	32,96	9,00	41,16	42,13	12,34	36,41	0,78	278,84
50	29,97	12,00	24,70	27,46	25,90	23,90	0,55	142,72

En las Tablas 5 y 6 se presentan los resultados obtenidos para las cinéticas de orden cero y uno del índice de pardeamiento y cambio de color respectivamente.

Tabla 5. Parámetros cinéticos del índice de pardeamiento

Tiempo de cocción (min)	Índice de pardeamiento	$LN(IP/IP_0)$
0	22,36	0
10	65,47	1,23
20	210,12	2,22
30	321,95	2,35
40	278,84	2,42
50	142,72	2,00

Tabla 6. Parámetros cinéticos del cambio de color

Tiempo de cocción (min)	ΔE	$LN(\Delta E/\Delta E_0)$
0	3,25	0
10	11,16	1,23
20	29,83	2,22
30	33,92	2,35
40	36,41	2,42
50	23,90	2,00

9.2 FOTOS

En las Figuras 16 y 17 se presentan las mezclas obtenidas en cada etapa del proceso de elaboración y el producto obtenido respectivamente.



Figura 16. Muestras obtenidas en diferentes tiempos del proceso de elaboración de panelitas



Figura 17. Panelitas de leche obtenidas del experimento

9.3 VALIDACIÓN DE SUPUESTOS

En las Figuras 18 a 23, se presentan los resultados obtenidos mediante la herramienta estadística Minitab 17. De acuerdo a lo descrito por Kuhel (2001) se realizó la validación de supuestos para cada una de las cuatro superficies de respuesta y la prueba de normalidad de las variables respuesta de índice de pardeamiento y tiempo de cocción.

La validación de supuestos consta de tres verificaciones, la primera se refiere a la gráfica de residuos vs valores ajustados, que deben tener convergencia en aumento con los valores ajustados, la segunda se refiere a la distribución de los datos mediante un histograma, deben estar concentrados la mayoría de los datos en el valor medio y distribuirse en forma de campana hacia los extremos, finalmente el tercero se refiere al grado de aleatoriedad con el que ocurren los experimentos, los valores deberán oscilar en forma de onda sinusoidal con el aumento del orden de la observación, en este gráfico la variable respuesta es el valor de los residuos.

En relación al tiempo de cocción modelado de forma lineal, en la Figura 18 se evidenció que los supuestos 1 y 3 no se cumplen, debido a que no hay convergencia en la gráfica Valor ajustado y Residuos, en el caso del orden de observación vs Residuos no se presenta la onda senosoidal típica. Con estas premisas se concluyó que las afirmaciones realizadas para este modelo presentan gran variabilidad y este fue uno de los motivos por el cual el modelo cuadrático fue empleado.

Se evidencia en la Figura 19 que no se cumplieron los supuestos 1 y 3. Adicionalmente se descarta la forma de campana de Gauss descrita por Kuhel (2001) que indica el grado de comportamiento de los datos rechazando el supuesto 2 en el histograma. Al no lograrse la validación se dice que las afirmaciones realizadas por el método lineal, tanto para el tiempo de cocción e índice de pardeamiento, habrían sido erróneas si se eligiera este modelo.

En contraste con el modelo lineal anteriormente discutido, en la Figura 20 se observó que los supuestos 2 y 3 se cumplen puesto que hubo compactibilidad y forma senosoidal en los datos respectivamente. El supuesto 1 se rechaza pues no hubo convergencia de los residuos y esta fue la razón por la cual a través de la investigación se descartó el modelado de los datos pues los análisis realizados en torno al tiempo de cocción pueden ser erróneos.

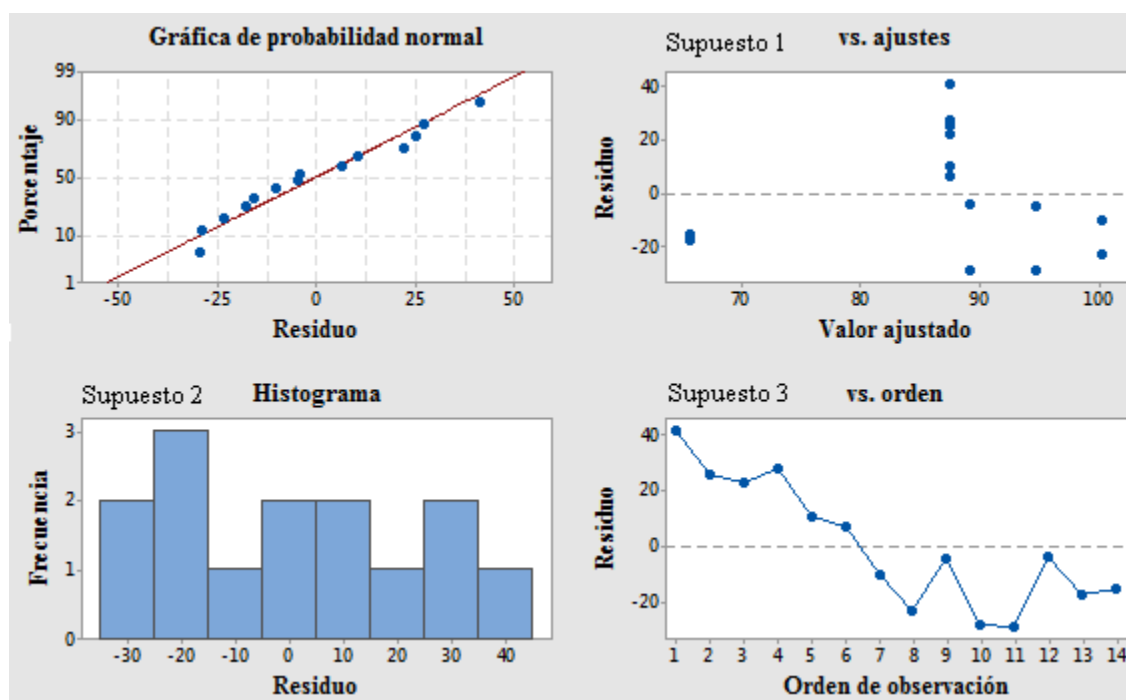


Figura 18. Validación del tiempo de cocción mediante el método lineal

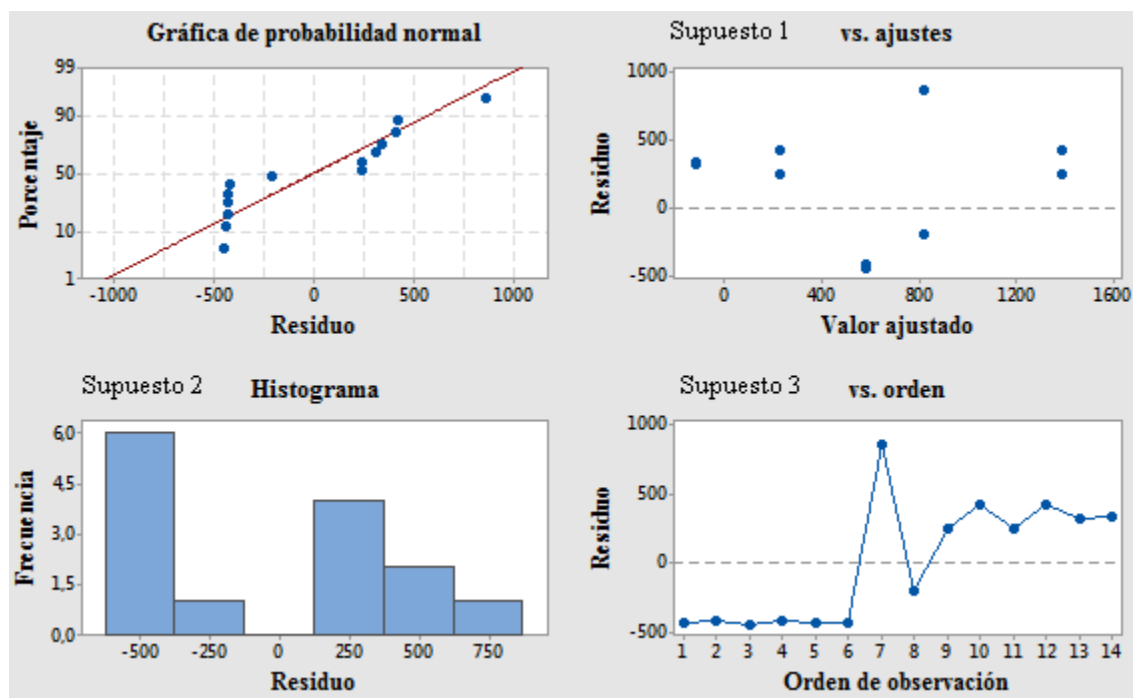


Figura 19. Validación del índice de pardeamiento mediante el método lineal

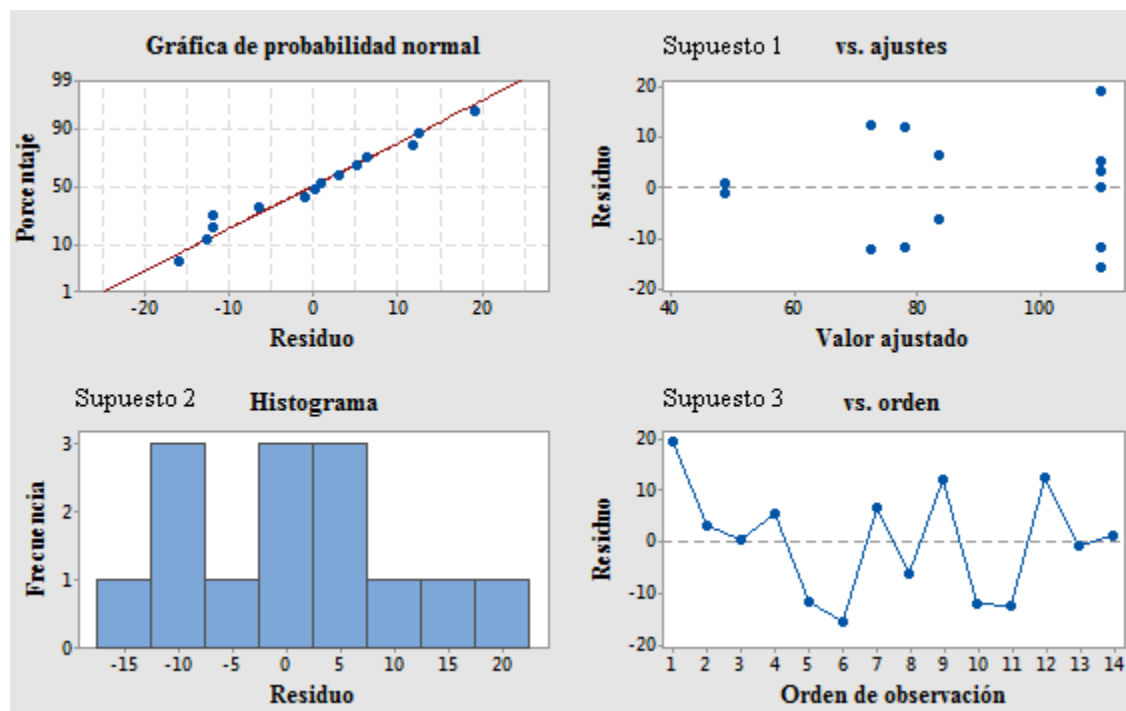


Figura 20. Validación de tiempo de cocción mediante el método cuadrático

En la Figura 21 se evidenció la validación de los tres supuestos, debido a que hay convergencia en los residuos, compactamiento de los datos y onda senosoidal en los residuos vs los ajustes. Con esto se logró concluir que las afirmaciones realizadas en el presente trabajo son válidas para el método cuadrático.

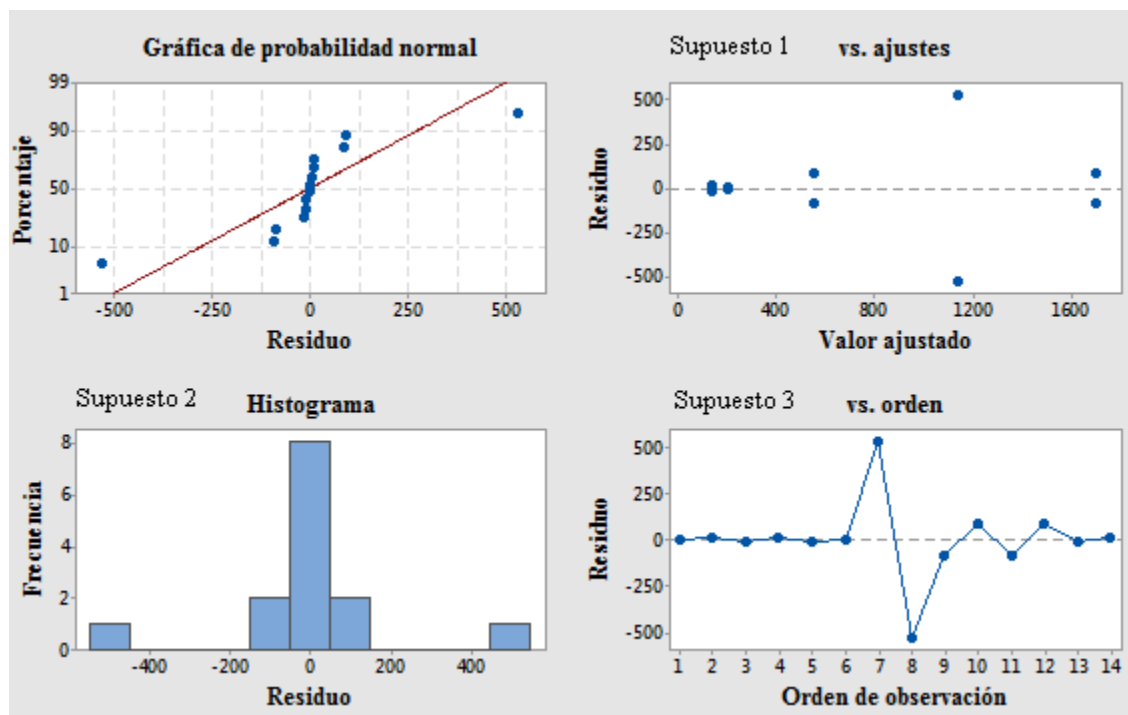


Figura 21. Validación del índice de pardeamiento mediante el método cuadrático

En las Figuras 22 y 23 se evidencian las pruebas de normalidad realizadas para el tiempo de cocción e índice de pardeamiento con un nivel de confianza del 95%. Debido al valor P mayor al 0,05 y consecuentemente a lo descrito en el presente trabajo no es posible modelar el tiempo de cocción bajo el diseño de superficie de respuesta propuesto, la incorporación de dos o tres al experimento podrían haber sido la solución a dicha problemática, que por las condiciones de operación y que no es el objeto principal de estudio se consideró apropiado continuar el proyecto.

En relación al índice de pardeamiento, con el mismo nivel de confianza, el valor P fue menor al 0,05 por tanto el modelo planteado es el apropiado para estudiar el fenómeno de producción del color en panelitas de leche. Consecuentemente se confirma que es el modelo cuadrático el indicado para obtener las condiciones de Azúcar y Panela usadas en el numeral 8.3 “caracterización del producto”. En ninguno de los casos fue posible modelar de forma conjunta el tiempo de cocción y el índice de pardeamiento, por dicha razón no se optimizó el valor del tiempo de cocción y solo fue un parámetro a reportar en la última fase.

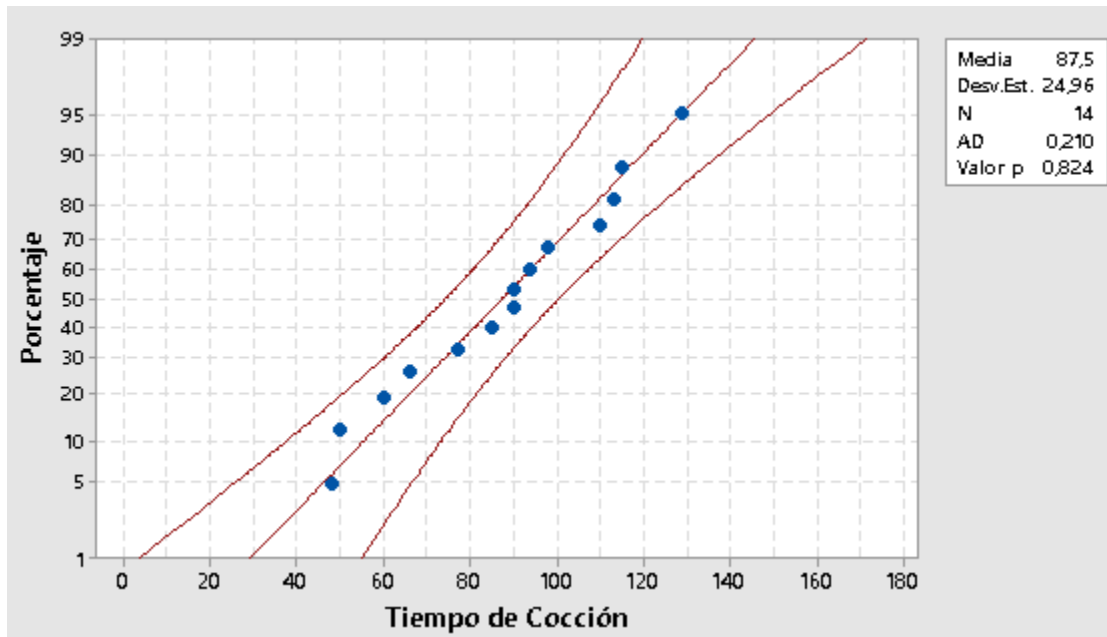


Figura 22. Prueba de probabilidad del tiempo de cocción

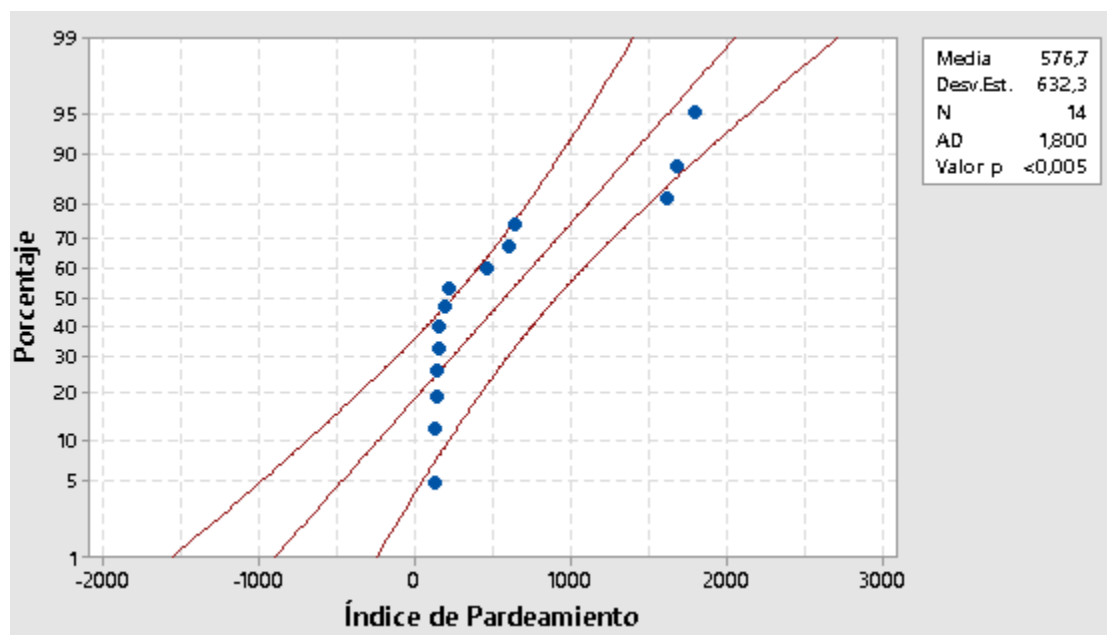


Figura 23. Prueba de probabilidad del índice de pardeamiento