

**UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE
MENDOZA DE AMAZONAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



PROYECTO DE TESIS

**“EFECTO DE LA RELACIÓN AZÚCAR/HARINA, TEMPERATURA Y
TIEMPO DE HORNEADO EN EL COLOR DE LA CORTEZA DE PAN, TIPO
POPULAR DE CHACHAPOYAS”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

Bach. Tony Steven Chuquizuta Trigoso

Bach. Gean Marco Florián Solar

ASESOR:

Ing. Wilson Manuel Castro Silupu

CO-ASESOR:

Msc. Lic. Elías Alberto Torres Armas

CHACHAPOYAS - PERÚ

2012



30 ENE 2013

01 ed

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	iv
Vo. Bo. DEL ASESOR	v
Vo. Bo. DEL JURADO	vi
COPIA DE ACTA DE SUSTENTACIÓN	vii
INDICE	viii
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii



30 ENE 2013

DEDICATORIA

A Dios ante todo.

Dedicamos esta tesis especialmente a nuestras madres, quien con sus palabras de amor, siempre supo alentarme a salir adelante, y es por ella que día a día busco ser mejor y poder así retribuirle un poco de todo lo que me ha dado.

A nuestros mejores amigos y amigas, por estar siempre conmigo cuando lo necesitábamos y por impulsarnos a seguir.

A todas aquellas personas que hicieron posible que culminemos la tesis. Y a Dios que me ilumina día a día.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios.

Queremos brindar nuestro agradecimiento, principalmente a nuestras familias, por su apoyo incondicional durante todo el desarrollo de nuestra tesis, y a Dios por bendecir cada paso que dimos.

Agradecemos a nuestros amigos, que con su aliento y ayuda, permitieron que culminemos con este trabajo, gracias por ayudarnos a despejar nuestras dudas y estar siempre con nosotras

Al Ing. Wilson Manuel Castro Silupu, por guiarnos y asesorarnos durante todo el tiempo de la presente tesis, quien además, ha sabido impartir en nosotros, conocimientos científicos y tecnológicos para mi formación profesional.

Gracias a la Universidad Nacional de Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas y a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial por habernos brindado las bases y los conocimientos adquiridos durante nuestra carrera universitaria.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL “TORIBIO RODRIGUEZ DE
MENDOZA” DE AMAZONAS**

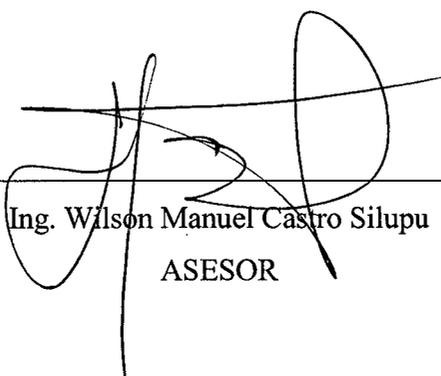
Ph.D., Dr.Hab. Vicente Marino Castañeda Chávez
RECTOR

Dr. Ever Salomé Lázaro Bazán
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

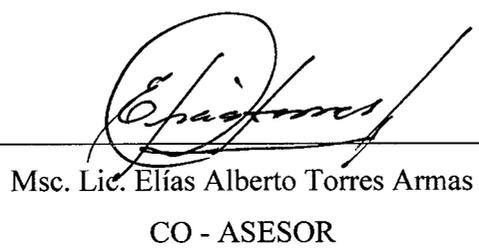
MSc. Roberto José Nervi Chacón
VICERRECTOR ACADÉMICO

Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS

LA PRESENTE TESIS HA SIDO ASESORADO POR:



Ing. Wilson Manuel Castro Silupu
ASESOR



Msc. Lic. Elías Alberto Torres Armas
CO - ASESOR

La presente tesis ha sido aprobada por el siguiente jurado:



Ing. Armstrong B. Fernández Jeri
PRESIDENTE



Ing. Erick Aldo Auquiñivin Silva
SECRETARIO



Ing. Heli Aguirre Zaquinaula
VOCAL

RESUMEN

El presente trabajo se centra en el estudio de los parámetros de color en la corteza del pan, parámetros importantes debido a su efecto sobre la decisión de compra. En este sentido el objetivo central fue determinar el efecto de la relación azúcar/harina y la temperatura del horneado, en el desarrollo del color de la corteza de pan, tipo popular de Chachapoyas, aplicando técnicas de visión computacional y relacionando sus resultados con los obtenidos mediante análisis sensorial. Para la consecución de este trabajo se construyó un sistema de adquisición y análisis de imágenes; siendo parte medular de este, un programa de adquisición y análisis de imágenes desarrollado e implementado, en el software matemático Matlab versión 2011b. El diseño experimental aplicado fue de superficie de respuesta (Box Behnken) con 15 ensayos experimentales (sin réplica); el rango para las variables estudiadas fue relación azúcar/harina [0.08 – 0.12], temperatura [160 – 170] °C y tiempo de horneado [16 – 20 min]. Las imágenes fueron adquiridas cada 4.5 min posteriormente fueron procesadas y a partir de estas se determinaron los parámetros de color en el espacio CIElab. A partir de estos datos se determinó la variable de mayor influencia en los parámetros de color de la corteza del pan, mediante análisis de varianza. Posteriormente se realizó la optimización de esta variable correlacionando el color obtenido en los productos horneados y la aceptabilidad, mediante panel semi-entrenado. Se concluyó que la variable tiempo fue significativo en el parámetro **b**, evidenciando la reducción de tonalidades amarillas; asimismo, los parámetros (relación azúcar/harina, temperatura y tiempo de horneado) que generaron el color óptimo fueron relación azúcar/harina = 0.8, tiempo = 20 minutos y temperatura = 161 °C. Sin embargo, al comparar los parámetros de color óptimo del pan tipo popular dio como resultado que este fue de aceptación del público consumidor.

Palabras clave: Analisis sensorial, box Behnken, corteza, parametros de color

ABSTRACT

This work focuses on the study of color parameters in the crust, important parameters due to its effect on the purchase decision. In this sense, the main objective was to determine the effect of the sugar / flour and baking temperature, color development in the crust of bread, popular type of Chachapoyas, applying computer vision techniques and relating their results with those obtained by sensory analysis. For the achievement of this work was built acquisition system and image analysis, being the core of this, a program of acquisition and image analysis developed and implemented in the mathematical software Matlab version 2011b. The experimental design was response surface (Box Behnken) with 15 experimental trials (no reply), the range for the variables studied were sugar / flour [0.08 to 0.12], temperature [160-170] ° C and baking time [16 to 20 min]. Images were acquired every 4.5 min later were processed and from these parameters were determined color in the CIELAB space. From these data it was determined the most influential variable color parameters of the crust by analysis of variance. Later the optimization of this variable correlating the color obtained in the baked products and acceptability by semi-trained panel. It was concluded that the time variable was significant in the parameter b, showing the reduction of yellow shades, also the parameters (sugar / flour, baking temperature and time) that led to optimal color were sugar / flour = 0.8, time = 20 minutes temperature = 161 ° C. However, when comparing the optimal color parameters popular type of bread that resulted was acceptance by consumers.

Keywords: Sensory Analysis, Box Behnken, crust color settings

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	3
1.2. MARCO TEÓRICO.....	8
1.2.1. Panificación	8
1.2.2. Proceso de elaboración	8
1.2.3. Insumos	11
1.2.4. Efecto o acción de insumos en las características del color de la corteza del pan	17
1.2.5. Medición del color en sólidos.....	21
1.2.6. Sistemas de visión computacional	28
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	31
2.1. MATERIALES	31
2.1.1. Población y muestra.....	31
2.1.2. Insumos.....	31
2.1.3. Equipos	31
2.2. MÉTODO	32
2.2.1. Construcción de equipo de seguimiento del proceso de horneado de pan.....	32
2.2.2. Elaboración de secuencias lógicas - codificación.....	33
2.2.3. Elaboración de la muestra.....	35
2.2.4. Obtención de imágenes del proceso de tostado de pan en experimentos controlados de horneado.	35

2.2.5. Procesamiento de imágenes	35
2.2.6. Diseño estadístico	36
2.2.7. Diseño factorial de superficie de respuesta de Box-Behnken.....	36
2.2.8. Evaluación de Test Pareado	38
III. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	40
3.1. Resultados del tratamiento experimental	40
3.2. Características Sensoriales en la corteza del pan	41
3.2.1. Análisis de la variable L*	44
3.2.2. Análisis de la variable a	47
3.2.3. Análisis de la variable b	50
3.2.4. Optimización de múltiples respuestas L*ab	52
3.3. Comportamiento del color en función al tiempo	58
3.4. Test Pareado a escala comparativa.....	60
3.5. Discusión.....	62
IV. CONCLUSIONES	64
V. RECOMENDACIONES.....	66
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de los factores estudiados	37
Tabla 2. Ensayos del diseño de Box-Behnken	38
Tabla 3. Test pareado-preferencia.....	39
Tabla 4. Condiciones para la relación azúcar/harina, temperatura y tiempo de horneado en el color de la corteza de pan.....	40
Tabla 5. ANVA de la variable L^*	44
Tabla 6. Optimización de la variable L^* ($L^*=65.9416$).....	45
Tabla 7. ANVA de la variable a	47
Tabla 8. Optimización de la variable a ($a = 1.08714$).....	48
Tabla 9. ANVA de la variable b^*	50
Tabla 10. Optimización de la variable b ($b = 46.264$)	51
Tabla 11. Rango de optimización de las variables respuestas L^*ab	52
Tabla 12. Optimización de deseabilidad de las variables respuestas L^*ab	53
Tabla 13. Optimización de deseabilidad de los factores evaluados	53
Tabla 14. Optimo de las variables respuestas L^*ab	54
Tabla 15. Comportamiento de L^*ab en función al tiempo.....	58
Tabla 16. Datos obtenidos a través de una test pareado en el mercado municipal de Chachapoyas.	61
Tabla 17. Ji-cuadrado calculada obtenida a través de la tabla 16	61

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características químicas - microbiológicas de la harina de trigo.	12
Cuadro 2. Características químicas - microbiológicas del azúcar.....	14
Cuadro 3. Características químicas - microbiológicas de la levadura Red Star.....	16
Cuadro 4. Características fisicoquímicas y microbiológicas del mejorador de masa.	17
Cuadro 5. Temperaturas de Caramelización	20
Cuadro 6. Comparación entre las Reacciones de Maillard y Caramelización	21
Cuadro 7. Matriz de color en relación azúcar/harina = 0.8.....	41
Cuadro 8. Matriz de color en relación azúcar/harina = 1.0.....	42
Cuadro 9. Matriz de color en relación azúcar/harina = 1.2.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo para la elaboración de pan popular	10
Figura 2. Guía de colores pantone.....	22
Figura 3. Colorímetro portátil, ML-HPG2132	23
Figura 4. Representación espacial del color RGB.....	26
Figura 5. Espacio tridimensional de las coordenadas XYZ	27
Figura 6. Espacio de color CIELab	28
Figura 7. Sistema de Adquisición de Imágenes.	33
Figura 8. Diagrama de flujo en la adquisición y análisis de imágenes	34
Figura 9. Procesamiento de imágenes del pan	36
Figura 10. Luminosidad (L^*) en la corteza del pan	45
Figura 11. Diagrama de Pareto para L^*	46
Figura 12. Valor de a en la corteza del pan.....	48
Figura 13. Diagrama de Pareto para a.....	49
Figura 14. b en la corteza del pan.....	51
Figura 15. Diagrama de Pareto para b.....	52
Figura 16. Optimización de múltiples respuestas L^*ab a tiempo constante	54
Figura 17. Optimización de múltiples respuestas L^*ab a azúcar/harina constante (azúcar/harina = 1.0)	55
Figura 18. Optimización de múltiples respuestas L^*ab a temperatura constante	56
Figura 19. Contorno de la superficie de respuesta estimada de optimización de deseabilidad a un tiempo constante (Tiempo = 18 min)	57
Figura 20. Contorno de la superficie de respuesta estimada de optimización de deseabilidad a una relación de azúcar/harina constante (Azúcar/ Harina = 1,0 gr/ 10 gr)	57

Figura 21. Contorno de la superficie de respuesta estimada optimización de deseabilidad a una temperatura constante (Temperatura = 165°C)	58
Figura 22. L* en función al tiempo	59
Figura 23. a en función al tiempo.....	59
Figura 24. b en función al tiempo	60

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú así como en cualquier otro país, el principal problema de la industria de panificación es proveer al cliente, un pan fresco, de buena calidad y en cualquier momento del día; sin embargo, debido a que este producto, luego de su elaboración y a medida que transcurre el tiempo, cambia sus características (endurecimiento de la corteza, envejecimiento de la miga, alteración del color, sabor y olor) es necesario conocer la dinámica de estos cambios a fin de predecir el comportamiento del mismo a lo largo de la distribución y venta, así como relacionar las variaciones de los parámetros de calidad y las preferencias del consumidor con los parámetros de producción.

Los productos de panificación han evolucionado en diferentes formas y características distintivas y cada país fue desarrollando método de panificación tradicional, de acuerdo a la calidad de la materia prima y a las características exigidas por los consumidores. En este contexto el color es un atributo importante en los productos de panificación y de hecho es la propiedad sensorial más importante asociada con el sentido de la vista su importancia sitúa al color en primera fila, en gran medida al permitir detectar por medio de este sentido atributos tales como: apariencia, forma, superficie, tamaño y brillo. Por tal motivo; la agroindustria está desarrollando nuevas tecnologías para medir el color de la corteza del pan a fin de obtener un producto totalmente estructurado en el interior y de color atractivo para el consumidor, a fin de satisfacer los requerimientos del consumidor en la industria de la panificación. Así como en otras el cliente con frecuencia juzga la calidad en función del color, basando su aceptación en mayor o menor medida en este parámetro en el producto, posibilitando que alternativas de mejora en la calidad pueden basarse en la medición y estandarización del color de la corteza del pan.

En este sentido han surgido nuevas técnicas como la visión computacional; la cual simula el funcionamiento del sistema de visión humana y que la actualidad pueda describir automáticamente texturas en detalle, bordes, colores, representaciones bidimensionales de una tridimensional, diferenciar imágenes de diferentes personas, firmas, colores, etc. Para algunas de estas tareas existen herramientas y paquetes software cuya finalidad son las aplicaciones industriales, como los Toolbox Image Acquisition e Imtool de MATLAB (Matlab 2011b). El presente trabajo muestra una exhaustiva investigación sobre las diferentes técnicas empleadas en visión por computadora así como un análisis de las consideraciones necesarias para la toma de las imágenes que han de ser procesadas. Este sistema a través de la evaluación de la calidad física como el color de la corteza del pan “tipo popular” de la ciudad de Chachapoyas, donde se

trata de establecer las mejores condiciones en la relación azúcar/harina, temperatura y tiempo de horneado en la panificación a fin de satisfacer las preferencias del consumidor local.

En este trabajo se aplicó el método de análisis de la superficie de respuesta, realizando planeamientos factoriales donde se determinan las variables independientes y su rango de aplicación, posteriormente los resultados fueron ajustados usando modelos matemáticos y finalmente se optimizaron las respuestas obtenidas en cuanto deseabilidad de los parámetros de color (CIELab).

Se desea que los principales usuarios de los resultados de este estudio sean PyMEs del sector de la industria alimentaria, nacional y que, publicación de los mismos resulte de interés nacional e internacional.

1.1. ANTECEDENTES

El estudio de los fundamentos científicos en los cuales se basa el proceso tecnológico de elaboración de los productos alimenticios permitirá la estandarización de la calidad, en este sentido el aspecto visual de los alimentos y en especial el color, es el principal atributo de calidad que se tiene en cuenta a la hora de adquirir o ingerir un alimento. La reacción que una persona tiene frente a un determinado alimento está condicionada por la sensación que experimenta al percibir el color del mismo. De esta forma, puede rechazarlo sin tener en cuenta otras posibles características, o aceptarlo, pasando a considerar otros atributos que son evaluados mediante un contacto más íntimo con el alimento, de ahí la importancia del color en el ámbito de la Tecnología de Alimentos, pues influye en la aceptación inicial del consumidor, permitiéndole además diferenciar entre distintos productos que se le presenten. Así, frente a la textura y al sabor, tiene la particularidad de ser apreciado siempre en primer lugar. (Zurbriggen, 2009)

El color en los alimentos es el primer parámetro de calidad evaluado por el consumidor, el cual es crítico en la aceptación del producto; es por ello que aplicando la observación se puede detectar ciertas anomalías o defectos que toman los alimentos antes y después de ser elaborado (Kang y Sabarez 2009; León y Col. 2006).

Por consiguiente; en la industria alimentaria, todavía se observa una evaluación de calidad tanto cuantitativa (colorímetros) y cualitativa (inspección visual) realizada manualmente por inspectores adiestrados (Du y Wen. 2003). Sin embargo en el mercado actual se utilizan instrumentos de medida de color, tales como los colorímetros, en el proceso de análisis de color en alimentos y están exclusivamente para el control de calidad (Du y Wen. 2003).

En vista de la necesidad de un análisis más exhaustivo en la determinación de color en los alimentos pre-procesados y procesados, garantizando calidad aceptable para el público consumidor, el uso de análisis de imagen en alimentos ha conllevado a una evolución de la calidad alimentaria (Cheng-Jin y Da-Wen.2005); este análisis es un método no destructivo para medir objetivamente el color en la superficie de las muestras; posibilita además de determinar características físicas como textura, elementos morfológicos y defectos (Mendoza, Dejmek y Aguilera. 2007).

En la técnica de visión por computadora un factor importante es la iluminación, siendo necesario un sistema de iluminación bien diseñada a fin de mejorar con exactitud el sistema de adquisición de imágenes, el cual conlleve al éxito del análisis de imágenes (Jin Du y Wen.

2003); la adquisición de imágenes tomada con cámara digital (simulador - visión humana) como parte de la visión por computadora, se logra registrar el color de cualquier pixel de la imagen del objeto usando 3 sensores de color por pixel¹ (León, Mery, Pedreschi, León. 2006); el modelo RGB no es tan adecuado para el análisis de imágenes, por lo que provocara un cambio espectral en la imagen (León, Mery, Pedreschi, León. 2006).

El análisis cuantitativo del procesamiento de imágenes a través de la técnica de visión por computadora, en la obtención y distribución del color son representadas en forma de histogramas (Kit y Spyridon, 2004). Una reciente opción al análisis color en el espacio CIELab es el uso de histogramas para analizar imágenes, estos histogramas pueden ser utilizados directamente caracterizando a este mediante algunas de sus propiedades, tales como los picos principales, momentos, etc., o comparación de los histogramas de diferentes imágenes con fines de reconocimiento. (Wong y Seok.1999).

En la actualidad para la industria alimentaria es un desafío remanente en aplicar nuevas técnicas como es la visión por computadora para la evaluación de calidad en los alimentos y el reconocimiento de daños físicos - biológicos en la superficie del alimento (Jin Du y Wen. 2004).

Un aspecto importante y básico es sabiendo que el color es una de las características que dependen de las propiedades fisicoquímicas de los componentes presentes en un producto, estos tienden a modificarse por las reacciones enzimáticas; la aplicación de cualquier método de conservación como el calor (A. Ibarz y Col, 2000)

Existen multitud de tratamientos culinarios domésticos e industriales que se emplean en el procesado de los alimentos con la finalidad de hacerlos comestibles y agradables al consumidor. Entre ellos destaca el tratamiento térmico (horneado, tostado, fritura, etc.) durante el cual se originan diversas reacciones que dan lugar a una serie de compuestos que confieren a los alimentos una adecuada textura, aromas, colores y sabores agradables, destruyen microorganismos y factores antinutritivos y que, en definitiva, los convierten en comestibles y apetecibles. (Roca, 2009)

Entre estas reacciones una de las más frecuentes es la reacción de Maillard, que se origina, típicamente, en alimentos que forman parte de nuestra dieta habitual ricos en proteínas y azúcares reductores, tanto durante su procesado como durante su conservación y almacenamiento. Como consecuencia, se forman los denominados productos de la reacción de Maillard (PRM) o de pardeamiento no enzimático que, en la mayoría de los casos, proporcionan

¹ Pixel.- Es la menor unidad en la que se descompone una imagen digital (fotografía, vídeo o fotograma).

características organolépticas deseadas y buscadas, pero que, además, tienen repercusiones nutricionales que, en algunos casos, pueden ser positivas, y en otros negativas. (Roca, 2009)

La presencia en la dieta de este tipo de productos ha sufrido un aumento importante en los últimos años en los países desarrollados debido a las modificaciones en los hábitos alimentarios, que muestran un aumento en el consumo de precocinados, comidas rápidas (fast foods), snacks, etc., alimentos todos ellos ricos en PRM. Por estos motivos estos compuestos son, actualmente, objeto de estudio de numerosos investigadores y existe una creciente necesidad de conocer sus efectos en profundidad.

La formación del color en productos de panadería es el resultado de reacciones químicas no enzimáticas durante el proceso de horneado, ampliamente conocida como dorar, tales reacciones son la reacción Maillard y la caramelización. La reacción Maillard ocasionan la reducción de azúcares y aminoácidos, proteínas, y/o otros compuestos que contienen nitrógeno, mientras la caramelización es un término para describir un grupo complicado de reacciones que ocurren debido al calentamiento directo de carbohidratos, en sacarosa particular y la reducción de azúcares (Fennema, 1996).

Según Loo (2006), en su investigación "Análisis Bromatológico de pan francés elaborados en las panificadoras del Distrito de Chiclayo", refiere que su investigación fue de tipo descriptivo, para lo cual su muestra fue un total de 54 panificadoras las que corresponden a tres zonas. (Centro de Chiclayo, Urbanizaciones, Pueblos Jóvenes). A lo que concluye con respecto a la corteza del pan, el 42,6% de las panaderías muestran un color Marrón Amarillento, 42,6% de las panaderías presentan el color de la miga ligero cremoso, el 50% de las panaderías muestran un aspecto de la corteza del pan limpio y uniforme, el 81,5% de las panaderías muestran que la consistencia de la corteza del pan es crujiente.

En las determinaciones de color de la corteza del pan, de acuerdo a los efectos de enzimas pentosanasa, glucosa oxidasa y transglutaminasa en productos de panificación se utilizó un espectrofotómetro CM-508d Minolta (Ramsey, NJ, USA), que provee un valor específico de color basado en la cantidad de luz reflejada fuera de la superficie del producto o transmitida a través del mismo. Las mediciones se realizaron según el método 14-22 (AACC Internacional 2000) utilizando 8 mm de apertura de la medición y un iluminador D65. (Steffolani, 2010). Como medida objetiva del color se utilizó el sistema Cie-Lab (C.I.E., 1986), que define cada color a partir de tres coordenadas denominadas L*, a y b. Las magnitudes L*, a, y b son adimensionales y se definen en función del tipo de estímulo y del blanco de referencia para tratar de simular a los observadores reales (Joshi&Brimelou 2002). Por resultado de la investigación

realizada por Steffolani, menciona que la corteza de pan se caracteriza por tener baja humedad y un color oscuro. El color es producido por reacciones químicas, reacciones de Maillard y de caramelización. Los panes en cuya formulación tenían alto contenido de α -amilasa fueron los que tuvieron menor valor de L^* indicando la formación de panes con corteza más oscuras y con un marrón más intenso. La enzima α -amilasa tuvo un efecto lineal negativo sobre el color de la corteza del pan indicando que la enzima promueve azúcares reductores para las reacciones de Maillard por lo que los panes se vuelven más oscuros con el incremento del nivel de enzima agregado en la formulación. Por lo general el consumidor prefiere panes con una corteza intermedia entre marrón clara y marrón oscura, sin embargo el efecto de la enzima α -amilasa sobre el color de la corteza se compensa mejorando el aroma y el sabor producido por los productos de Maillard. (Steffolani, 2010).

Al analizar el color de la corteza del pan de las marcas de estudio tales como: Bimbo y Corteza Blanca, para ello utilizaron el colorímetro, instrumento que permitió obtener medidas de reflectancia superficial. A partir de estas medidas obtuvieron los siguientes parámetros: la medición de color en la marca Bimbo tradicional presentó los valores más bajos de luminosidad ($L^*= 43,15$) mientras que la marca Corteza Blanca es la que presentó un valor mayor y por tanto mayor luminosidad en la corteza ($L= 79,2$); además el índice de color "a" está relacionado con el grado de caramelización de los azúcares de superficie, de modo que Bimbo presentó un mayor índice en "a", por tanto tiene un aspecto más tostado. (Sabarez, 2009).

En la tesis Doctoral "Desarrollo de Panes Especiales con Harina Integral de Amaranto", elaborada por Sanz (2008). Concluyó que la inclusión de harina integral de amaranto en la formulación de pan afectó tanto al color de la corteza, como al de la miga. En los parámetros de color de la corteza se observó que: la luminosidad (L^*) y el tono (h^*) tuvieron un descenso significativo en las muestras con harina integral de amaranto; mientras que el croma (C^*) se incrementó significativamente, siendo los cambios más pronunciados a mayor concentración de amaranto; la harina integral de amaranto presentó una luminosidad inferior a la harina de trigo con ligera tonalidad amarilla, estas diferencias fueron las responsables de los cambios de color entre muestras, lo que produjo un incremento de coloración a mayor porcentaje de sustitución, mejorando de este modo, el color de la corteza y miga respecto al pan de trigo (Bodroza y Solarov, 2008).

Shibukawa y Col. (1989) demostró que, el desarrollo del color en la cinética de dorado del pan, dependió de la temperatura: La más alta fue la temperatura de la superficie, el más oscuro fue el

color de la superficie, independiente del modo de transferencia de calor. Además, el desarrollo de pigmento café fue una primera reacción de orden

Según García (2009). Hace la mención que durante el horneado observó que la luminosidad más alta se obtuvo cuando aplicó potencias bajas durante tiempos cortos en ambos ciclos de cocción. Para el producto muffin los valores de luminosidad fueron ligeramente más altos a los informados por Sánchez (2007) quien trabajó con un producto similar pero bajo condiciones de operación diferentes. Sin embargo, la diferencia que informó para el pan obtenido a través de microondas con respecto al convencional coincidió con los resultados que obtuvieron en el presente trabajo.

El gusto por el color de la corteza disminuyó a medida que aumentó el porcentaje de sustitución, esto fue debido a que la harina de quinoa le aporta un tono más oscuro. El color y aspecto de la miga fue más valorada en el pan de trigo. Las diferencias en la aceptabilidad del sabor no fueron significativas, sin embargo se observó una tendencia a valorar más el sabor del pan con 10% de sustitución. (Loo, 2009).

Los resultados obtenidos muestran que los parámetros luminosidad (L^*) y tono (ab^*) son los mejores indicadores del nivel de pardeamiento en pera. (López, 2010).

Según Briones y Aguilera en su investigación "Imageanalysis of changes in surface color of chocolate": menciona que las limitaciones para muestras poco homogéneas en alimentos, las muestras son tipificadas usando un licuadora - trituradoras para lograr un color uniforme, pero este método destruye la información útil (los patrones de color) y hace la muestra no utilizable para estudios prolongado en el tiempo.

1.2. MARCO TEÓRICO

1.2.1. Panificación

Es un proceso continuo en el cual se realizan varias operaciones de manera encadenada, atendiendo un orden hasta obtener un producto altamente digerible denominado pan. Durante el proceso de panificación se convierten un grupo de ingredientes correctamente balanceado, presentado en una fórmula con las cantidades que indique el peso, generalmente en gramos, y sus equivalentes en porcentajes. Los elementos utilizados en panificación son: la materia prima, procesos tecnológicos y maquinarias.

Entre las materias primas a utilizar en el área de panificación están: harina de trigo, agua, levadura, sal, azúcar, grasa, leche, huevos, especias e ingredientes mejorados y conservados. Sin embargo, de acuerdo al tipo de pan que se vaya a preparar los ingredientes se diversifican y aumentan. (Lucas. E. 2003)

1.2.2. Proceso de elaboración

Las operaciones que actúan en la elaboración de pan según la Figura 1, son las siguientes:

- **Recepción:** La materia prima será harina de trigo (sin preparar) lo cual será procesada posteriormente con los demás aditivos.
- **Dosificación –Pesado I:** Se realizó el pesado de la materia prima y los insumos implicados en dicha elaboración del producto final.
- **Mezclado y amasado:** Mezcla y uniformidad de los ingredientes para dar paso a la formación y desarrollo apropiado del gluten.
- **Pesado:** Pesado de la mezcla de la materia prima e insumos para posteriormente entrar en la cortadora-divisora.
- **División de masa:** Una vez pesado la masa entró a la máquina divisora para cortarlas en trozos de 30 partes iguales.
- **Boleado:** Dar forma a la masa con la finalidad de fortalecer dicha estructura elástica, se colocó en bandejas para luego pasar a la cámara de fermentación.
- **Fermentación:** Durante la fermentación, la glucosa de la masa se transforma en etanol y CO₂ debido a la acción de la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). Esta fermentación presentó un intervalo de tiempo entre 2 a 3 horas.

- **Horneado:** Los panes crudos ingresaron al horno, donde se pasó a encender el horno controlando la temperatura de horneado entre los intervalos de 160 a 170°C por un lapso de tiempo comprendido entre 16 a 20 minutos.
- **Enfriado:** El pan sale del horno para seguir un enfriamiento de manera natural.

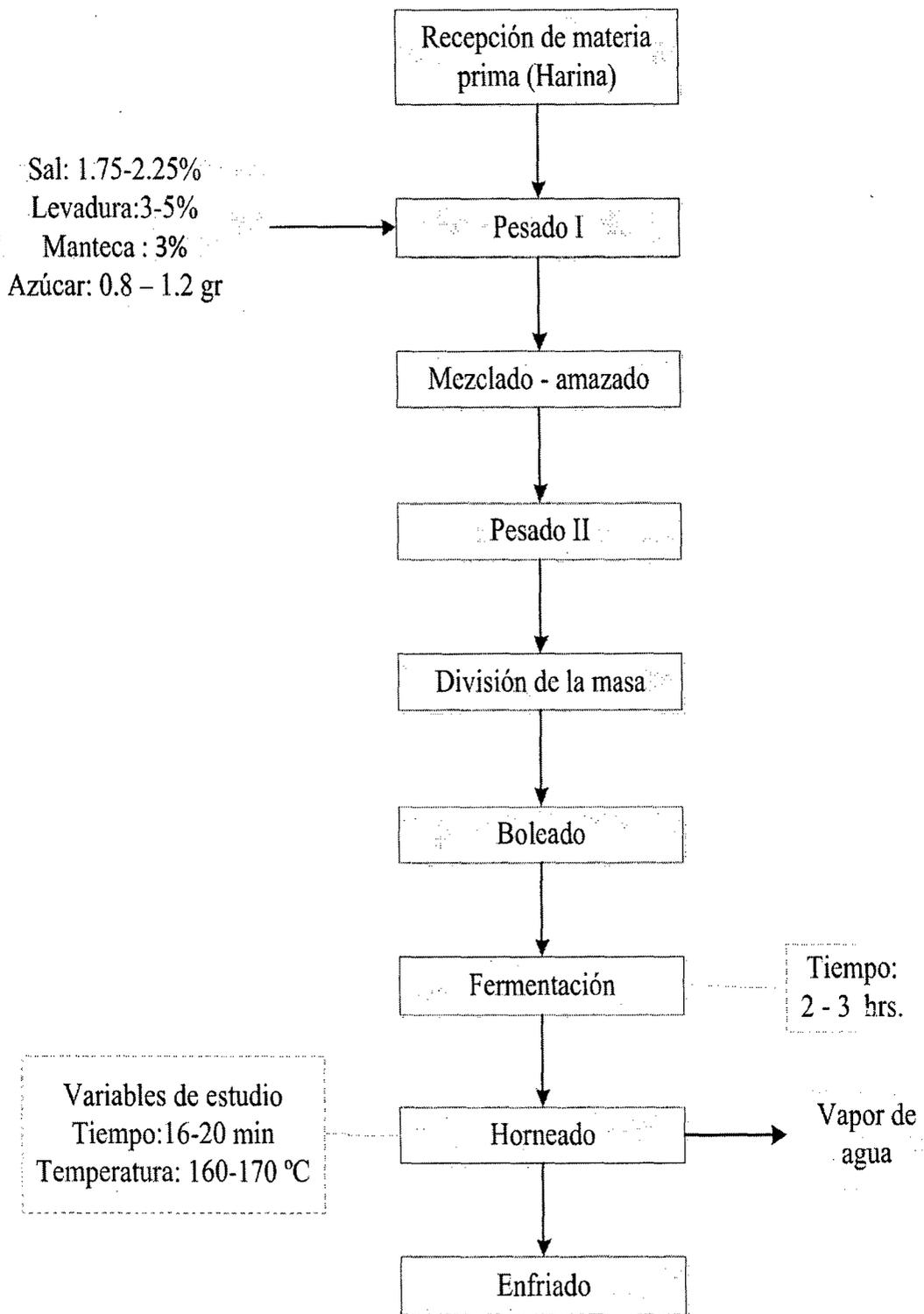


Figura 1.Diagrama de flujo para la elaboración de pan popular

1.2.3. Insumos

A. Harina

Según Belderok (2000), la harina se obtiene de la molturación del trigo u otros cereales y leguminosas, la harina blanca sin ningún otro calificativo se entiende procedente del trigo, que además contiene una proporción de proteínas tales como la gliadina y glutenina (que representa el 80% del total e las proteínas) y además son insolubles en agua; al unirse dichos componentes se hidratan con el agua formando la estructura y textura del pan (gluten), por ende son responsables de la retención del gas en los productos de panificación.

El almidón de trigo también tiene un papel importante en la formación de la estructura cuando se gelatiniza durante el horneado. Los gránulos de almidón se hinchan y rompen a una temperatura entre los 60°C y 82.2°C durante el proceso de horneado, adsorbiendo toda el agua disponible y aumentando su volumen. Es en este punto donde el producto cambia de estado de masa viscosa y elástica a un producto horneado más rígido (Hoseney, 1991).

Las harinas para el pan se obtienen del trigo duro por su contenido de proteínas y por la calidad de las mismas. La calidad de proteínas se mide por la capacidad del gluten de expandirse apropiadamente y de retener el gas producido durante la fermentación, dando como resultado un producto adecuadamente crecido (Dobraszczyk, 2001).

Componentes característicos de la harina:

- Carbohidratos: Formado por compuestos químicos como: C, H, O.
- Constituyen la mayor parte del endospermo.
- Proteínas: Son sustancias nitrogenadas y se clasificación como a continuación se detalla:
 - Proteínas solubles: Existen en poca en el grano de trigo.
 - Insolubles: Son las que forman el gluten.

Principales propiedades de la harina.

- Fuerza: es la medida de la harina para producir una pieza de pan de buen volumen, con miga fina y consistente.
- Tolerancia: es la posibilidad que tiene la harina para soportar un proceso de fermentación durante un tiempo superior al que normalmente es requerido para alcanzar el grado correcto de maduración. Este depende de la naturaleza de los trigos, de su procedencia, de la eficacia

del sistema de limpieza del trigo del grado de extracción y del uso de tratamientos químicos para su blanqueamiento.

- Alta absorción: es la capacidad que tiene las harinas para absorber la máxima cantidad de humedad, lo cual conlleva a obtener masas consistentes y de buena calidad. Un pan mantendrá en mejores condiciones sus características organolépticas (especialmente la consistencia y la blancura), mientras mayor sea la absorción por lo tanto mayor será la retención de agua que tenga la harina. Tal como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características químicas - microbiológicas de la harina de trigo.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS-MICROBIOLÓGICAS	REQUISITOS
Aspecto	Polvo fluido, sin grumos
Color	Blanco cremoso
Olor	Característico
Sabor	Característico
Humedad	< 15%
Ceniza	< 0.64%
Acidez	< 0.16%
Proteína	promedio 9.6%
Cuerpos extraños	Ninguno

Fuente: Plan HACCP - Panadería Fanny, 2006

B. Agua

El agua permite la hidratación de los ingredientes e insumos secos, siendo esta su función principal dentro del proceso de la panificación. También actúa como un agente disolvente y/o dispersante del azúcar y sal, además de ayudar al proceso de la formación del gluten, fermentación y por último es necesario para la gelatinización del almidón durante el proceso de horneado. (Bushuk, 1966).

La proporción de agua con relación a la harina, denominada absorción, gobierna las propiedades reológicas de la masa (movilidad, plasticidad, extensibilidad y pegajosidad) y determina en gran medida la cantidad del producto final. (Eliasson y Larsson, 1993).

C. Sal

Según Preston (1989), es un compuesto químico formado por Cl y Na, en lo cual contribuye al producto terminado y salta su sabor. Los niveles inferiores al 1.5% del peso de la harina, da como resultado un sabor suave, mientras que los valores superiores al 2.5% darán un sabor salado. A medida que aumenta el nivel de sal en la formula, ejerce un efecto de retardo sobre la actividad de la levadura. Este efecto se produce por un aumento en la presión osmótica sobre las células de la levadura.

La sal también tiene un efecto endurecedor sobre el gluten durante la etapa de mezclado de la masa. Por ello los niveles de sal recomendados en el uso de manera normal en la mayoría de los panes oscilan entre 1.75 y 2.25% del peso de la harina (Preston, 1989).

Funciones principales que otorga la sal de mesa:

- Sensibilidad: la sal da el sabor al producto y resalta al paladar cada ingrediente.
- Bactericida: controla el desarrollo del ácido láctico.
- Fijador: es importante para la fijación del agua en el gluten.
- Digestivo: la sal ayuda a la digestión.
- Controlador: la evolución de la fermentación es controlada por la sal.
- Blanqueador: ayuda a blanquear la miga del pan.
- Estabilizador: estabiliza la mejora las harinas débiles o flojas.
- Higroscópica: aumenta el poder de absorción y mejora la retención de humedad.

D. Azúcar

Compuesto químico formado por C, H, O. En panificación se utiliza la sacarosa o azúcar de caña como alimento de la levadura; se considera que esta es su función principal en el proceso de elaboración del pan. Los azúcares que son fermentables se consumen durante el proceso de fermentación y los azúcares que permanecen en el producto después de haber cesado la actividad de la levadura se denominan azúcares residuales. Las tomas residuales de azúcar participan en la caramelización y la reacción Maillard (La reacción entre azúcar reductor y las proteínas de harina a fin promover el color y sabor característico). El azúcar provee sabor dulce en el pan si es usado por encima de 6 % (Dubois, 1981; Pyle, 1988). Estos contribuyen con el color de la corteza mediante las reacciones de la caramelización, permitiendo que la temperatura del horno no ingrese directamente dentro del pan para que pueda cocinarse y también para evitar la pérdida del agua además del tostado de dicho agente en mención. El azúcar es altamente higroscópico

(presenta la capacidad de retener humedad, lo cual garantiza el tiempo de vida del producto terminado) (Matz y Matz, 1978. El nivel de azúcar usado en las masas de pan puede variar de 0 a 12% del peso de la harina.(Sharon, 2000).

Azúcares presentes en la masa

- Los presentes en la harina, de los cuales únicamente el 1% tiene capacidad de fermentar.
- La maltosa, azúcar derivada de la acción de la alfa amilasa, sobre el almidón presente en la harina; esta clase de azúcar es más susceptible de fermentar.
- Azúcares añadidos, entre estos el obtenido de la caña es el que generalmente se adiciona a las masas de pan.

Cuadro 2. Características químicas - microbiológicas del azúcar.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS-MICROBIOLÓGICAS	REQUISITOS
Aspecto	Cristales
Color	Pardo claro a pardo oscuro
Olor	Característico
Sabor	Característico
Humedad	1.5%
Ceniza	Máximo 0.7%
Cuerpos extraños	Ausencia

Fuente: Plan HACCP - Panadería Fanny, 2006

E. Grasas

La grasa actúa como lubricante para la expansión de las celdas en la masa dando como resultado la formación de la estructura de miga más fina, al igual que la textura más suave y un mayor volumen del producto terminado. Este efecto lubricante también se nota en la máquina rebanadora (cortadora) en donde facilita el corte del producto final (Menjivar y Faridi, 1994).

La grasa contribuye igualmente a la retención de humedad, cual prolonga la duración y contribuye con la corteza más tierna. Los niveles normales de consumo de grasa para la mayoría

de los panes oscilan entre 0 a 5% del peso de la harina (por lo general en promedio es de 2 a 3% para los panes de molde) (Brookente, 1993).

Según su origen las grasas se dividen en:

- Manteca o grasa de cerdo: brindan un buen sabor al pan.
- Mantequilla: es la grasa separada de la leche por medio del batido.
- Aceites vegetales: se obtienen sometiendo las semillas a un proceso de prensado (girasol, maní, ajonjolí etc.).

Características de las grasas

- Elasticidad, que es la dureza o labrabilidad.
- Punto de crema, es la propiedad de incorporar aire en el proceso de batido fuerte, en unión con azúcar o harina.

F. Levadura

La levadura actúa sobre la masa por medio de la producción de gas CO₂ (dióxido de carbono). Otros subproductos de la fermentación de la levadura son el alcohol, ácidos y la generación de energía (calor), elementos que acondicionan bioquímicamente la harina (madurando y suavizando a la proteína) y también al desarrollo del sabor en el producto terminado.

El nivel promedio de levadura en la mayoría de los panes es del 2 al 5% del peso de la harina (levadura fresca). (Lucas. E. 2003).

La actividad de la levadura se controla en la panificación principalmente regulando el tiempo y la temperatura, aunque la fuente de alimento, el agua y el pH de la masa también afectan el nivel de actividad de la levadura. Dando a conocer estos factores le permitirán al panificador ejercer un mejor control sobre la fermentación. (Dubois, D.K. 1981b)

Para la fermentación de masas primarias se emplea hongos unicelulares del género *Saccharomyces cerevisiae*.

Necesidades de la levadura

- Azúcar, como fuente de alimento.
- Humedad, sin agua no puede asimilar ningún alimento.
- Materias nitrogenadas, necesita nitrógeno y lo toma de la proteína de la harina.

- Minerales, la levadura necesita sales minerales para una actividad vigorosa.
- Temperatura adecuada, mantenerlo refrigerado hasta el momento de su uso.

Principales funciones de la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*)

- Producción y distribución del gas carbónico culminando en una red de comportamientos celulares. Este efecto hace la masa menos densa y esponjosa mejorando notablemente la textura del pan. Al tiempo y de manera simultánea, la levadura logra la producción y acumulación de alcoholes, aldehídos, cetonas y ácidos que contribuyen al sabor y aroma característicos del pan.
- Aumenta el valor nutritivo al suministrar el pan proteína suplementaria.
- Convierte a la harina cruda en un producto liviano.

Cuadro 3. Características químicas - microbiológicas de la levadura Red Star.

Características químicas-físicas	REQUISITOS
Materia seca	95.45%
Proteínas	46.94%
Pentóxido de fósforo	2.51%
Humedad	< 6%
Cenizas	5%
Actividad fermentativa	98

Fuente: Plan HACCP - Panadería Fanny, 2006

G. Mejorador de masa

Mejorador panadero de gran funcionalidad, ayuda a la formación de la textura, la formación del aroma y sabor para tipo de pan y demás especialidades de panaderías a elaborar (Ashton, 1904).

Cuadro 4. Características fisicoquímicas y microbiológicas del mejorador de masa.

Características	Requisitos
Fisicoquímicas -microbiológicas	
Humedad	13.60%
Ceniza	1.60%
Acidez	0.56%
N. aerobio Mesófilos (UFC/gr)	40
N. Mohos y Levaduras (UFC/gr)	16 por 10

Fuente: Plan HACCP - Panadería Fanny, 2006

1.2.4. Efecto o acción de insumos en las características del color de la corteza del pan

Las reacciones que suceden en el proceso de elaboración del pan, este en efecto o acción de insumos en las características del color de la corteza del pan, se detallaran a continuación.

A. Reacción de Maillard

La reacción de Maillard, también conocida como de pardeamiento no enzimático, es una de las reacciones que se dan con más frecuencia durante el procesado de los alimentos, principalmente en el calentamiento pero también durante el almacenamiento a temperatura ambiente o incluso, aunque de forma mucho más moderada, a bajas temperaturas (Mlotkiewicz, 1998; Somoza, 2005).

La Reacción de Maillard se origina entre el grupo amino de un aminoácido, péptido o proteína y el grupo carbonilo de un azúcar reductor o un lípido oxidado que sufren una serie de complejas reacciones químicas. Estas reacciones químicas de pardeamiento no enzimático son un grupo de transformaciones que dan origen a los colores y algunos sabores típicos de muchos alimentos cuando se someten a un tratamiento térmico; dependiendo de la intensidad, la coloración puede variar desde un ligero amarillo hasta el café intenso. Muchas veces se confunden las reacciones de caramelización con las de Maillard. Ambas son reacciones de pardeamiento, pero las primeras corresponden simplemente a la transformación de los azúcares sometidos a altas temperatura. En cambio, las segundas exigen la participación adicional de grupos amino primario libres. (Mc Gee, 2004)

Así, la reacción de Maillard es la responsable del color y sabor de los alimentos en las diferentes formas de cocción. La reacción de Maillard es la responsable de los sabores, aromas y colores de los alimentos. Por ejemplo es el responsable del tostado de las galletas, del color de la corteza del pan, del color y sabor del café torrefacto, etc.

En concreto, la Reacción de Maillard de ennegrecimiento no enzimático, ocurre cuando las proteínas y ciertos lípidos de la superficie se recombinan con los azúcares en los alimentos, dando lugar a una serie de compuestos complejos, que a su vez se polimerizan formando una serie de pigmentos oscuros conocidos como melanoidinas (Chichester y Lee, 2001)

Dicha reacción es un grupo de transformaciones que sufren los azúcares cuando reaccionan con aminoácidos, cuyo producto es la aparición de melanoidinas de diferentes tonalidades van desde el amarillo claro hasta el negro; siendo la causa principal del pardeamiento no enzimático en los alimentos. Para que dichas transformaciones se den, deben presentarse las siguientes condiciones:

- Proteína para que aporte un grupo amino
- Un azúcar reductor aldosa o cetosa
- Un poco de agua

Si se calienta la glucosa con valina, glicina o ácido glutámico, se pueden obtener olores a pan, caramelo, chocolate, esto también depende de la temperatura de calentamiento; la prolina calentada a 100° C, produce un olor a quemado, pero a 180° C, ya el olor es a pan, mantequilla o azúcar quemado; piridosina, producto de la reacción de la lactosa con la lisina, genera un sabor a leche hervida.

La desventaja de la reacción de Maillard, es la pérdida del valor nutricional del alimento, ya que, las enzimas digestivas (pepsina y tripsina); no atacan el lugar donde se hace la reacción de Maillard. (Koschinsky y col., 1997).

Cada alimento tiene su particular reacción de Maillard, que varía según los métodos, temperaturas de cocción o mezcla con otros alimentos. Cuando hervimos o hacemos al vapor algunos alimentos no se superan los 100°C, la cocción es lenta y quedan más suaves y pálidos en comparación con los que se han hecho al horno, a la parrilla o fritos (se superan los 160°C). En estos casos los alimentos se deshidratan rápidamente y pronto alcanzan la temperatura a la que los hemos sometido, empiezan a dorarse rápidamente pero sólo se tuestan por fuera, por dentro pueden quedar crudos. Si queremos entonces que lo que cocinemos quede sabroso y jugoso, con un ligero tostado, podemos hacer dos tipos de cocción: primero lo freímos hasta que se tueste y

después se añade el líquido que reducirá la temperatura de cocción, ya que el agua no puede exceder los 100°C.

La reacción de Maillard aparece de forma visible a partir de los 155°C si los alimentos además están poco hidratados. Lo que hace que haya diferentes tonos y cantidades de tostado son los diferentes aminoácidos. Durante el proceso se crean cientos de compuestos de sabor diferentes, los mismos que se llevan años usando para crear sabores artificiales. Siempre podemos utilizar esta curiosa reacción para potenciar el sabor de los alimentos, aumentando su gama de sabores. (Baxter, 1995)

B. Caramelización

La caramelización es la oxidación del azúcar, un proceso empleado ampliamente en la cocina debido al agradable sabor y color marrón obtenidos. A medida que el proceso sucede, se liberan compuestos químicos volátiles, produciendo el característico sabor acaramelado.

Como la reacción de Maillard, la caramelización es un tipo de dorado no enzimático. Sin embargo, a diferencia de ésta, la caramelización es una pirólisis, en contraposición a una reacción con aminoácidos.

Cuando la caramelización se hace sobre sacarosa, añade una molécula de agua para separarla en fructosa y glucosa, incrementando la masa del caramelo.

El azúcar, la sacarosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$: un disacárido, compuesto por los dos monosacáridos: glucosa y fructosa), es inodora, carece de olor. Cuando se calienta se produce un cambio de fase que da lugar mediante la fusión a un jarabe espeso. Esto se produce a los 154° Celsius. Cuando se llega a 168° C, comienza a adquirir un color ligeramente ámbar, el sabor dulce inicial se enriquece y, progresivamente el color se transforma en marrón oscuro, al mismo tiempo que se desarrolla un aroma muy agradable al olfato. Cuando se llega ese punto ya se han generado más de 100 productos distintos. Si se continúa calentando, elevando la temperatura, el cambio último es la carbonización (de color negro) y la desintegración total del azúcar, transformándose el sabor dulce inicial en amargo.

La razón de la caramelización es que, a alta temperatura, los átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno de las moléculas de azúcar reaccionan entre sí y con el oxígeno del aire. Así, con el calor se rompen los enlaces químicos que unen esos átomos a las moléculas de azúcar y se forman distintos fragmentos de moléculas que también reaccionan entre sí. Muchas de las nuevas moléculas, aldehídos y ácidos orgánicos, son volátiles y escapan al aire, por eso puedes olerlos.

Las que no pueden escapar están compuestas por alcoholes, aldehídos, ésteres, furanos y pironas, forman polímeros sólidos de color marrón.

La caramelización es un proceso complejo y no muy estudiado que produce cientos de compuestos químicos, e incluye los siguientes tipos de reacción:

- Equilibrio de formas anoméricas y anillos
- Inversión de la sacarosa a fructosa y glucosa
- Reacciones de condensación
- Enlazamiento intramolecular
- Isomerización de aldosas a cetosas
- Reacciones de deshidratación
- Reacciones de fragmentación
- Formación de polímeros insaturados

Cuadro 5. Temperaturas de Caramelización

AZÚCAR	TEMPERATURA
Fructosa	110°C
Galactosa	160°C
Glucosa	160°C
Sacarosa	160°C
Maltosa	180°C

Fuente: Sceni P. 2008

Cuadro 6. Comparación entre las Reacciones de Maillard y Caramelización

	MAILLARD	CARAMELIZACIÓN
CARACTERÍSTICAS	Temperatura de inicio = a cualquier temperatura (+ rápida a +120 °C) Involucra átomos de C, H, O, N y S	Temperatura de inicio = + 165°C Involucra átomos de C, H, O
	Reacciones no enzimáticas	
SIMILITUDES	Se producen durante la cocción Producen compuestos responsables del color y del aroma de los alimentos	
DIFERENCIAS	– Ocurren incluso a temperatura ambiente. – Necesitan hidratos de carbono y aminoácidos o proteínas como sustratos. – La intensidad del color aumenta a pH alcalinos	– Requieren de muy altas temperaturas. – Sólo necesitan hidratos de carbono como sustratos. – La intensidad del color aumenta a pH ácidos

Fuente: Sceni P. 2008

1.2.5. Medición del color en sólidos

1.2.5.1. Color

El color es una percepción visual que se genera en el cerebro al interpretar las señales nerviosas que le envían los foto receptores de la retina del ojo y que a su vez interpretan y distinguen las distintas longitudes de onda que captan de la parte visible del espectro electromagnético.

Es un fenómeno físico-químico asociado a las innumerables combinaciones de la luz, relacionado con las diferentes longitudes de onda en la zona visible del espectro electromagnético, que perciben las personas y animales a través de los órganos de la visión, como una sensación que nos permite diferenciar los objetos con mayor precisión.

El color en los alimentos es un factor que influye mucho en la percepción del consumidor, este resulta de la radiación reflejada de la superficie del alimento y es considerado de gran importancia ya que mejora la apariencia y ofrece un mayor impacto del mismo.

Debido a que el ojo humano difiere su visión de los colores, se han diseñado varios métodos de medición del color; uno de los más utilizados para medir el color externo de los alimentos es el de colorimetría triestímulos considerado uno de los más rápidos y fáciles de desarrollar (Alfonso, 2003), otro método es el de espectrofotometría también utilizado para medir el color. Sin embargo, existe una amplia gama de colores que dependen directamente de la percepción de cada persona, y de las características de los alimentos. Por esto se realizaron pruebas tanto sensoriales como instrumentales para comprobar si realmente existen diferencias de color.

1.2.5.2. Patrones de comparación

Para la evaluación del color en los alimentos se han creado atlas de color Munsell, entre otros atlas, cartas y guías de color, que han sido utilizados para el estudio del pardeamiento no enzimático en frutos, carnes, cereales entre otros. Estos atlas pueden presentar diferencias de color perceptibles entre pares de muestras de atlas con la misma especificación y que además son de menor costo.

Pantone en el sistema se basa en una paleta o gama de colores, de manera que muchas veces es posible obtener otros por mezclas de colores. Por ejemplo, es un sistema muy empleado en la producción de pinturas de color por mezcla de tintes. Estas guías consisten en un gran número de pequeñas tarjetas (15x5 cm aproximadamente) de papel estucado o no estucado, sobre las que se ha impreso en un lado muestras de color, organizadas todas en un abanico de pequeñas dimensiones. Por ejemplo, una página concreta podría incluir una gama de amarillos variando en luminosidad del más claro al más oscuro.

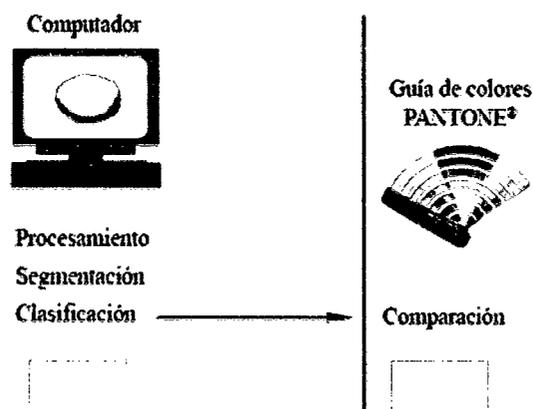


Figura 2. Guía de colores pantone

Fuente: Pantone, 2000

1.2.5.3. Colorímetros

Los colorímetros no son espectrofotómetros. Los colorímetros son dispositivos triestimulares (tres filtros) que usan filtros rojo, verde y azul para emular la respuesta del ojo humano al color y la luz. En algunas aplicaciones de Control de Calidad estas herramientas representan la respuesta de menor costo. Los colorímetros no pueden compensar el metamerismo (un cambio en la apariencia de una muestra debido a la luz usada para iluminar la superficie). Como los colorímetros usan un solo tipo de luz (como incandescente o Xenón pulsado) y porque no registran la reflectancia espectral no pueden predecir este cambio. Los espectrofotómetros pueden compensar este cambio, haciendo a los espectrofotómetros la mejor selección para la instrumentación y la comunicación de datos de color son tan importantes como los datos de color mismos. A través de la cadena de suministros, diferentes proveedores pueden usar diferentes procesos y diferentes equipos de formulación de color y de aseguramiento de la calidad, haciendo que la compatibilidad sea un componente esencial.

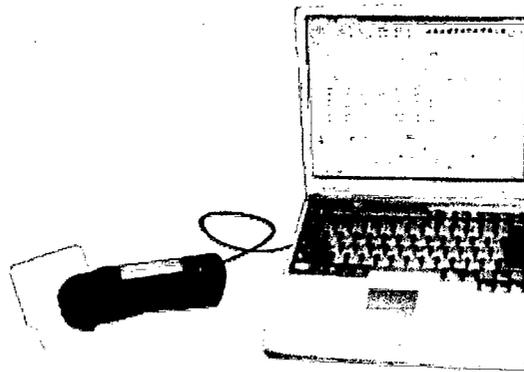


Figura 3. Colorímetro portátil, ML-HPG2132

Fuente: COMINTEC SAC, 2012

1.2.5.4. Características del color

Las características más comúnmente utilizadas para distinguir un color de otro son: brillo, matiz y saturación. El brillo incorpora la noción cromática de intensidad. El matiz es el atributo asociado con la longitud de onda dominante en la mezcla de las longitudes de onda, es el color percibido por el observador, así cuando una persona define un objeto de cierto color, realmente está definiendo su matiz. La saturación se refiere a la pureza relativa o a la cantidad de luz blanca mezclada con un matiz.

El matiz y la saturación cuando se toman conjuntamente se denominan cromaticidad. Por tanto un color puede definirse por su brillo y cromaticidad. Las cantidades de rojo, verde y azul requeridas para formar un color particular se denominan valores triestímulos y se les llaman X, Y, Z respectivamente, los cuales se tratarán más a detalle cuando se trate el Diagrama de cromaticidad según el estándar de la CIE “Commission International l’Eclairage” (Comisión Internacional de la Iluminación).

Una de las características menos problemáticas de comprender en el color es su componente acromática o intensidad luminosa (también llamada luminancia o luminosidad).

Como se puede apreciar, la luz es un factor que influye de manera determinante en el cambio que puede apreciarse en el color de un objeto a la hora de observarlo con diferentes fuentes de iluminación, por lo que en 1931, la convención CIE recomendó tres iluminantes estándar, definidas por algunas fuentes de luz reales como se verá en el siguiente punto.

– **Iluminantes y fuentes de luz estándar**

Los iluminantes son fuentes de luz producidas por electricidad. Son muchos, y todos ellos pueden ser utilizados en un momento dado, pero es necesario conocer su funcionamiento y, sobre todo, su rendimiento y características lumínicas, por lo que se debe prestar atención a los datos sobre flujo luminoso, eficacia con respecto al consumo, vida media y temperatura de color que proporcionan. La comparación entre estos datos será determinante para la elección de unos u otros iluminantes.

A. Iluminante A: el cual es formado por una lámpara incandescente, llena de gas con un filamento de tungsteno enrollado y un bulbo de cuarzo. La temperatura de su color y su poder de distribución espectral es de 2856 K.

B. Iluminante B: Ahora ya está discontinuado, emula la luz del sol del medio día, fue producido por un filtro líquido doble.

C. Iluminante C: Emula el promedio de la luz de día y es producida filtrando la fuente de luz del iluminante A mediante un filtro líquido. Sin embargo la luz del día contiene más rayos ultravioleta que este tipo de iluminante.

D. Iluminante D: Este contiene diferentes temperaturas: 5500 (D55), 6500 (D65) y 7500 (D75) K, reemplazando a los iluminantes B y C. El D65 representa el promedio de la luz de día, ya que fue basado a partir de varias mediciones de luz de día en diferentes países.

1.2.5.5. Espacios de color

Un espacio de color es un modelo que trata de representar colores en términos de valores numéricos y que los especifique en términos de la percepción humana.

El propósito de un espacio de color es facilitar la especificación de los color es de una manera estándar. En esencia es una especificación de un sistema de coordenadas 3-D y un subespacio dentro de dicho sistema donde cada color se representa por un punto.

A. Espacio RGB

El primero de los espacios de color a comentar y más comúnmente empleado es el RGB, basado directamente en el método triestímulos y síntesis aditiva. Es un espacio de color dependiente de dispositivo. (Mabon, 1993)

En el espacio RGB el color aparece especificado median cantidades positivas de rojo, verde y azul, formando en el espacio 3D el cubo que se representa en la Figura 4. El rango de cada coordenada o componente cromática RGB suele ser $[0,1]$, aunque en multimedia hay procesamiento de imágenes esta mas extendida la especificación en cantidades discretas presentes en el intervalo $[0,255]$. Todas las coordenadas que se extienden en la línea que parte del punto negro al blanco corresponden a la escala de los grises.

Las imágenes en espacio de color RGB están formadas por tres planos de imágenes independientes, cada uno correspondiente a un color primario. Cuando son introducidas e un monitor RGB, las tres imágenes se combinan en la plantilla de fosforo para producir una imagen de color compuesta. El empleo del espacio RGB en el procesamiento de imágenes es útil cuando estas vienen expresadas en términos de los tres planos de colores. Alternativamente, la mayoría de las cámaras en color que se usan para adquirir imágenes digitales utilizan el formato RGB, lo que hace, más interesante este formato. (Lozano, 1978)

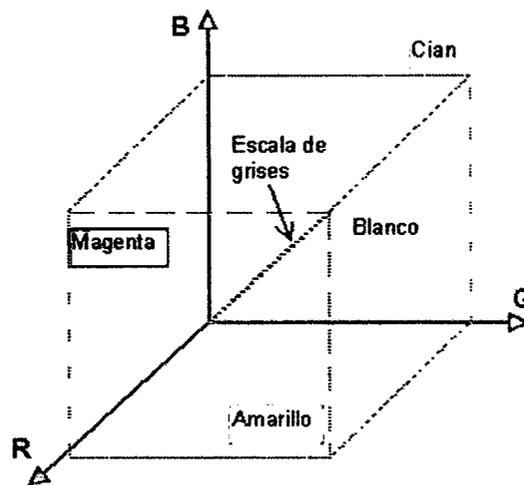


Figura 4. Representación espacial del color RGB

Fuente: Lozano, 1978

B. Espacio XYZ

Para tener en cuenta los tres aspectos que intervienen en la visión del color de un objeto, la luz que lo ilumina, la reflexión de la luz por el objeto observado y la respuesta del ojo, se integra el efecto conjunto de las tres funciones de distribución.

En el caso de una muestra determinada, cuya curva de reflectancia se haya medido, se puede calcular los valores triestímulos X, Y, Z para distintas clases de iluminantes.

Los valores triestímulos caracterizan únicamente un determinado color, de acuerdo a las condiciones dadas, fuente luminosa, observador, etc. Cada color puede describirse mediante coordenadas X, Y, Z. Estas letras representan un sistema de coordenadas ortogonales, llamado también sistema tridimensional ó espacial; donde a cada color le corresponde un punto. Así todos los colores posibles constituyen un espacio de color y se ubican en el cuadrante positivo (XYZ) dentro del cono mostrado en la Figura 5. (Hunt y Col, 1991)

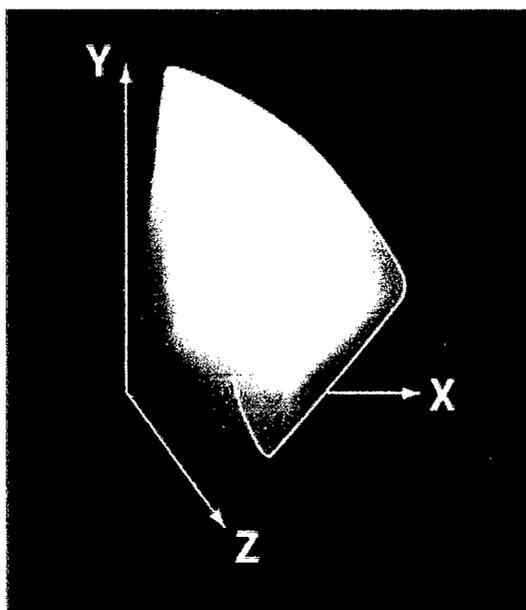


Figura 5. Espacio tridimensional de las coordenadas XYZ

Fuente: Hunt et al., 1991

C. Espacio CIELab

Hay dos problemas con la especificación de colores en términos de los valores triestímulos o de los diagramas de cromaticidad. Uno de ellos es el indicado en el párrafo anterior, de la no linealidad de esos espacios. El otro se debe a que la especificación de colores en esos espacios no son fácilmente interpretables en términos de las dimensiones psicofísicas de la percepción, la luminosidad, el tono y la saturación. (Joshi y Brimelow, 2002)

En el año 1976, la CIE, consiguió desarrollar, mediante transformaciones no lineales del espacio XYZ, un espacio de color mucho más lineal que sus antecesores, el espacio de color L^*ab . El eje L^* es el de luminosidad y se extiende desde 0, para el color negro, hasta 100 para el color blanco. Las coordenadas a y b representan rojo - verde y amarillo - azul, respectivamente.

Este sistema es el más utilizado en la actualidad en todos los campos donde haya que medir objetos coloreados, en particular para el control de calidad y el teñido de telas en la industria textil, y es, justamente, el sistema que hemos empleado en todos los trabajos que fundamentan esta tesis.

Este sistema, llamado también de colores opuestos, se basa en el sistema L^*ab desarrollado por Richard Hunter a principios de los años 40. El uso del asterisco es para diferenciar el sistema de la CIE de aquel de Hunter. (Joshi y Brimelow, 2002)

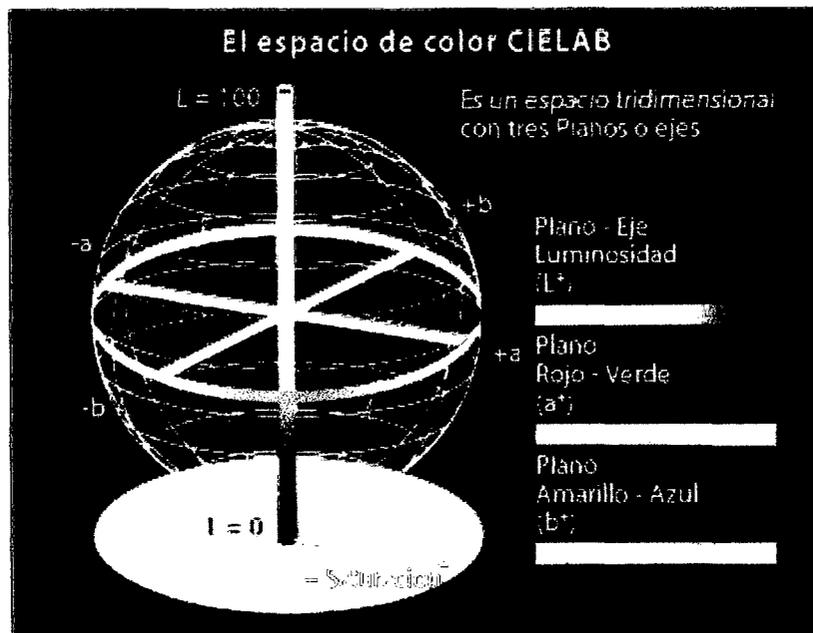


Figura 6. Espacio de color CIELab

Fuente: Joshi y Brimelow, 2002

1.2.6. Sistemas de visión computacional

1.2.6.1. Fundamento

El propósito de la visión por computadora es hacer lo que la visión humana hace, pero, por medios artificiales, para poder entender esto, primero hay que entender un poco como funciona la visión humana. Nosotros tenemos los sentidos para percibir e interpretar nuestro medio ambiente, las cosas que nos rodean, es ahí donde comienza nuestra realidad. Físicamente, nuestros ojos nos sirven como una especie de sensores que captan las ondas luminosas que se reflejan en los objetos y los captura, los pasa al cerebro como impulsos eléctricos y el cerebro se encarga de hacer todo lo demás.

El sensor que se encuentra en una cámara fotográfica la podemos comparar (en este caso) con los ojos, es la que nos permite captar las información de las ondas luminosas del ambiente y la convierte a impulsos eléctricos, aquí en este caso, la cámara también funciona un poco como el cerebro, puesto que procesa las señales eléctricas obtenidas del sensor y las acomoda en una forma que puedan ser transferidas a otro medio.

Una parte muy importante en los sistemas de visión por computadora es la iluminación, ya sea la del ambiente o la propia del sistema. El sistema de iluminación es importante porque las condiciones de iluminación del objeto que vamos a capturar pueden afectar el objeto. Nuestro sistema de visión humano no necesita de tan preciso sistema de iluminación ya que puede distinguir los objetos ya que sus algoritmos son demasiado complejos y perfectos que no los podemos comprender. La técnica a utilizar en el sistema va a depender puramente de la aplicación de la misma, esto es, no existe una técnica única para los sistemas de visión, y por lo consiguiente se tiene que analizar cual es la más apropiada para utilizar.

Es ahí donde entra el procesamiento digital de imágenes, es emular lo que el cerebro hace, no los ojos, eso ya lo hicieron los sensores, ahora es el turno de emular al cerebro. Existen un gran número de algoritmos y técnicas de procesamiento de imágenes, y al pasar del tiempo se vuelven más complejos y pueden atacar problemas específicos que antes no eran posibles.

1.2.6.2. Procesamiento de imágenes

En el procesamiento digital de imágenes deben tomarse en cuenta varios aspectos como la percepción psico-visual del ser humano. Éste es un factor importante porque independientemente del tratamiento que se le aplique a una imagen, el observador será quien, según su percepción, decidirá si dicha imagen le agrada o no.

El desarrollo de los métodos de procesamiento digital de imágenes tiene su origen en dos áreas principales de aplicación: el mejoramiento de la información pictórica para la interpretación humana, y el procesamiento de datos de la imagen para la percepción de máquina autónoma en el que se incluyen etapas de transmisión y/o almacenamiento de estos datos.

La herramienta usada en el tratamiento digital de las imágenes son las matemáticas; los conceptos que se verán son básicos. La computadora y los algoritmos que se implementan sobre éstas también tienen un papel muy importante en la manipulación de las imágenes.

Con el continuo avance de la tecnología digital y el software, nuevas técnicas de medición de características fenotípicas han sido utilizadas. Darrigues (2008), desarrollaron un software que utiliza un escáner, y el previo escaneo de alimentos permitiendo la recolección de datos de tamaño, forma y color. Un sistema de visión computarizada empleando una cámara digital y algoritmos escritos en el software MATLAB 2011b, para cuantificar los cambios de coloración y desarrollo del tostado de la corteza durante la etapa del horneado del pan.

Por lo expuesto, los propósitos de este trabajo fueron implementar un procedimiento no destructivo, para obtener y procesar imágenes de la corteza del pan durante el horneado y determinar características de la evolución del color.

1.2.6.3. Aplicaciones

En la industria la visión artificial está relacionada con el control de calidad de los productos fabricados. Sin embargo cada vez se utiliza más como soporte en los procesos de producción, como por ejemplo en el guiado de robots; también es frecuente su uso en aplicaciones relacionadas con la trazabilidad de productos fabricados. En este sentido, son habituales herramientas como la lectura de códigos y matriz o el OCR². La visión artificial también se aplica, aunque en menor medida, en procesos de medición de alta precisión (metrología).

Aunque la visión artificial se puede aplicar en cualquier proceso industrial, su uso es ineludible en la industria del automóvil, electrónica, envase y embalaje, alimentación, farmacéutica, aeronáutica, metalúrgica, cerámica.

² OCR.- Software de reconocimiento óptico de caracteres (digitalización de textos en imágenes).

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. MATERIALES

2.1.1. Población y muestra

La población estuvo conformada por los panes que se comercializan en la ciudad de Chachapoyas, provenientes de las panaderías más reconocidas dedicadas a la producción de pan popular de la ciudad de Chachapoyas

La muestra estuvo constituida por el pan producido a diferentes temperaturas, tiempo de horneado y relación azúcar/harina.

2.1.2. Insumos

Los insumos utilizados durante el proceso fueron:

- Harina de trigo comercial, marca Nicolini
- Azúcar rubia comercial, marca Cartavio
- Levadura comercial de panificación, marca Red Star
- Sal yodada comercial, marca Marina
- Mejorador³ completo en polvo, marca Puratos
- Manteca comercial, marca Tropical

2.1.3. Equipos

- Horno industrial, producción de 1750 – 2000 panes/hora, pirómetro digital programable, reloj digital.
- Computadora Portátil (Laptop), Procesador Intel Core i5 inside, 2.27 GHz, Memoria: 4.0 GB.
- Cámara fotográfica digital Panasonic, megapíxeles 14.5 mpxs, zoom óptico 16x, resolución max 4320 x 3240, sensor CCD⁴ con array.
- Sistema de adquisición de imágenes, construcción de un cubo, el cual está de madera, el cual está pintado con barniz blanco; presenta un sistema de iluminación el cual presenta 3 focos (iluminante D65), estos están distribuidos en forma de un triángulo equilátero (mejor

³ Mejorados de masa.- Son aditivos añadidos a la masa panadera que procuran mejorar las cualidades físicas, propiedades organolépticas finales y de conservación del pan.

⁴ CCD.- Es el sensor con diminutas células fotoeléctricas que registran la imagen.

distribución de la luminosidad), presenta un fondo de color negro; en la parte superior del cubo presenta un riel en cual es de sostén para la cámara digital y a su vez facilita la toma de imágenes. (véase figura 7)

2.2. MÉTODO

Para la determinación del color óptimo de la corteza del pan se evaluó tres variables independientes en tres niveles. Las tres variables independientes y sus niveles están en función a determinar el color óptimo de la corteza del pan: temperatura (°C) [160, 165, 170], azúcar (gramos) [0.8, 1.0, 1.2] y tiempo (minutos) [16, 18,20], bajo las cuales es posible mejorar la calidad del pan. Se evaluó la calidad del pan bajo la evaluación de un test pareado a escala comparativa, a fin de observar su aceptación por el público consumidor.

2.2.1. Construcción de equipo de seguimiento del proceso de horneado de pan.

La construcción del equipo se realizó con el fin de adquirir las fotografías durante el proceso de horneado.

Para ello el equipo de adquisición de imágenes, ha sido elaborado con los materiales que se menciona: tablas de 50 x 40 x 40 cm (formando un cubo), cuenta también con un sistema de iluminación con tres focos de 18W Phillips (iluminante D65), estos focos están ubicados en un triangulo equilátero con el fin de uniformizar la luz y en la parte superior contiene un riel que sirve de sostén a la cámara digital, con el fin que facilite la toma fotográfica. (Ver figura 7).

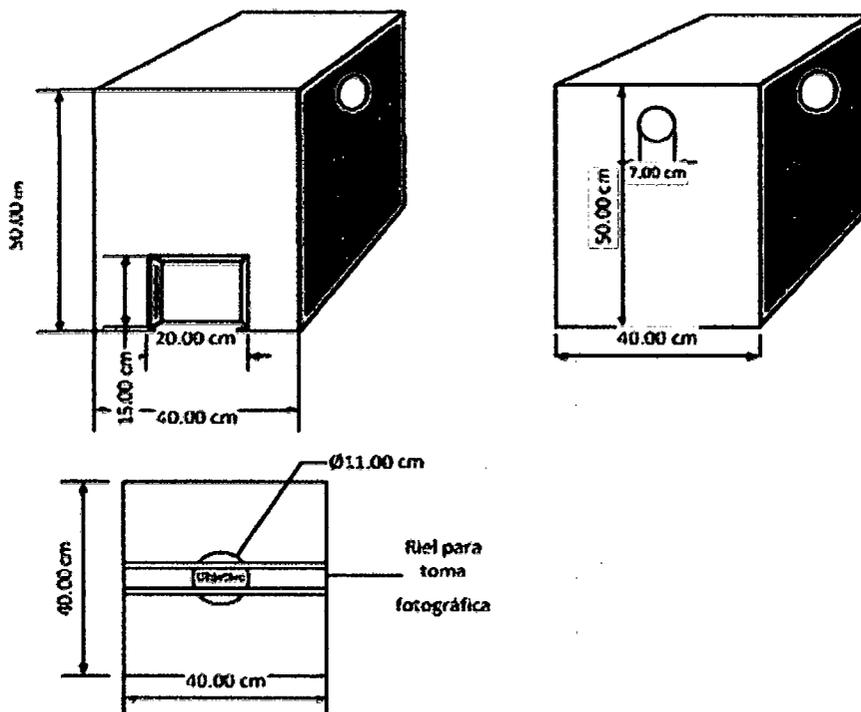


Figura 7. Sistema de Adquisición de Imágenes.

2.2.2. Elaboración de secuencias lógicas - codificación

Se desarrolló el árbol de decisiones a fin de analizar las imágenes obtenidas a través del procesamiento de pan, específicamente en la etapa de horneado, obteniendo imágenes a través de un seguimiento con una cámara fotográfica digital, dichas imágenes son obtenidas en formato *.jpg⁵, es decir matriz RGB, para luego ser llevadas a coordenadas XYZ y posteriormente transformadas a coordenadas L*ab (Espacio CIELab).

La implementación de las secuencias lógicas se realizó en el software matemático Matlab 2011b. Para lo cual se creó ficheros .m y guides para facilitar su uso, y el respectivo análisis de color de las imágenes (fotografías. jpg) obtenidas a través del sistema de adquisición de imágenes.

La obtención de índices de color (L*, a y b) se realizó según la secuencia que se indica en la Figura 8.

⁵ *.jpg. - Es un formato de compresión de imágenes, tanto en color como en escala de grises, con alta calidad (a todo color).

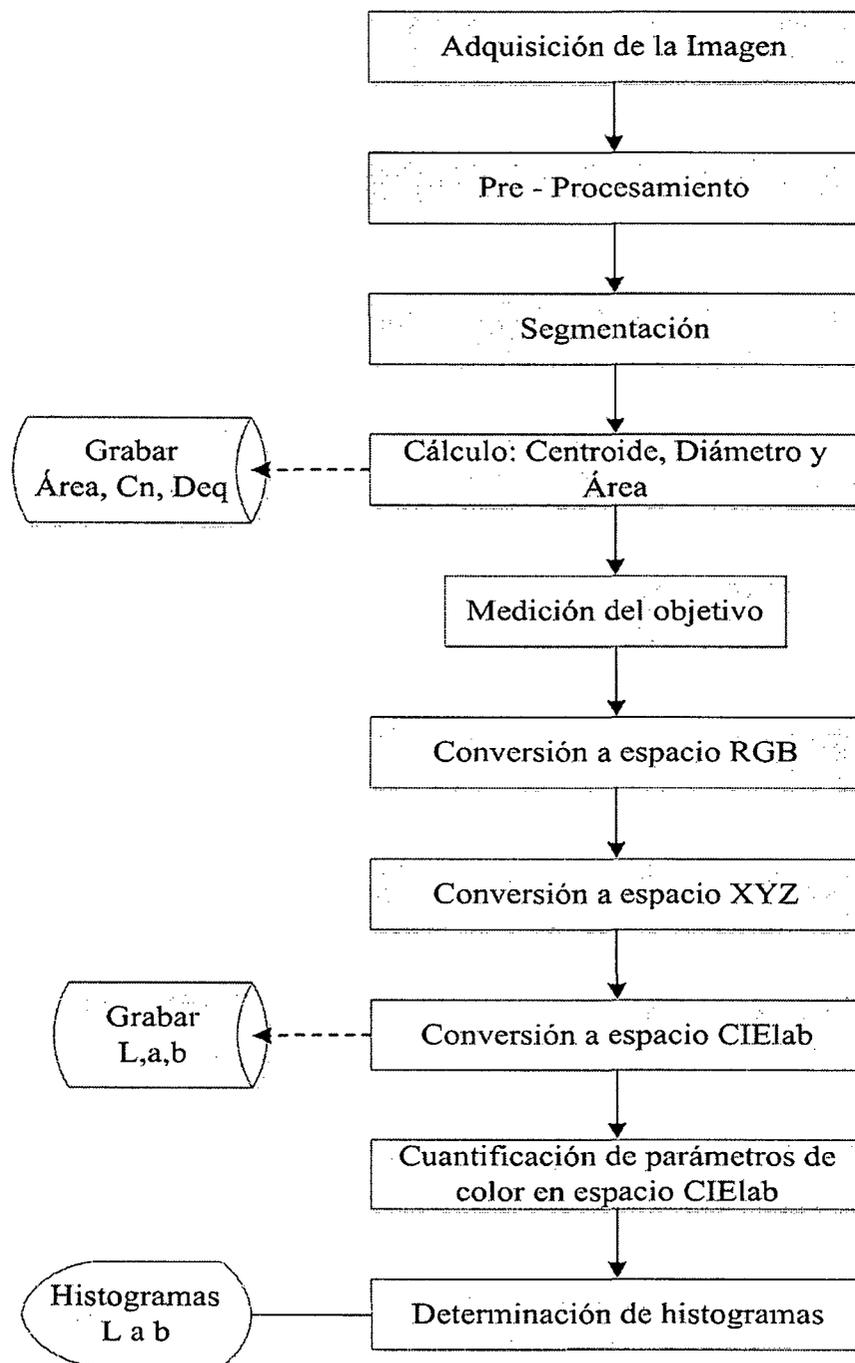


Figura 8. Diagrama de flujo en la adquisición y análisis de imágenes
Fuente: Da-Wen Sun (2004).

2.2.3. Elaboración de la muestra.

Las muestras fueron preparadas en la panadería "CAVILBA" Jr. Santo Domingo N° 310 de Chachapoyas – Amazonas. Estos panes fueron elaborados según el diagrama de flujo anteriormente mencionado. (Ver figura 1); cada muestra recibió un tratamiento diferente según muestra la Tabla 3. (Véase también el anexo 1).

2.2.4. Obtención de imágenes del proceso de tostado de pan en experimentos controlados de horneado.

Se realizó la toma fotográfica de los panes en el proceso de horneado cada cuatro minutos y medio en forma secuencial desde el tiempo de inicio hasta el tiempo final del horneado, las cuales se encontraron situadas en el sistema de adquisición de imágenes, para este procedimiento se utilizó una cámara fotográfica digital. (Véase el anexo 2).

El sistema de adquisición de imágenes fue graduada-calibrada hasta que la cámara simule la luz del día para obtener una toma más próxima a la realidad y evitar errores durante el proceso de los datos.

Después del tratamiento se realizó nuevamente la toma fotográfica de cada muestra para evaluar al cambio de color experimentado. En total se realizaron quince tratamientos de acuerdo al método experimental utilizado.

2.2.5. Procesamiento de imágenes

El procesamiento de las imágenes se realizó sin modificar su naturaleza (imagen a color). Un aspecto fundamental a tener en cuenta es el formato con el que vamos a guardar nuestra información, es decir, el formato de la imagen (*.jpg).

El procesamiento de imágenes se basó segmentación de las imágenes, extracción de información tal como: centroide, diámetro equivalente y área, transformación del color en el espacio y cuantificación del modelo de color. (Véase el anexo 3 y 4 en el procesamiento de imágenes)

Las tomas fotográficas se llevaron al programa implementado para su evaluación y se obtuvo los valores L^* , a y b . (véase Figura 9).

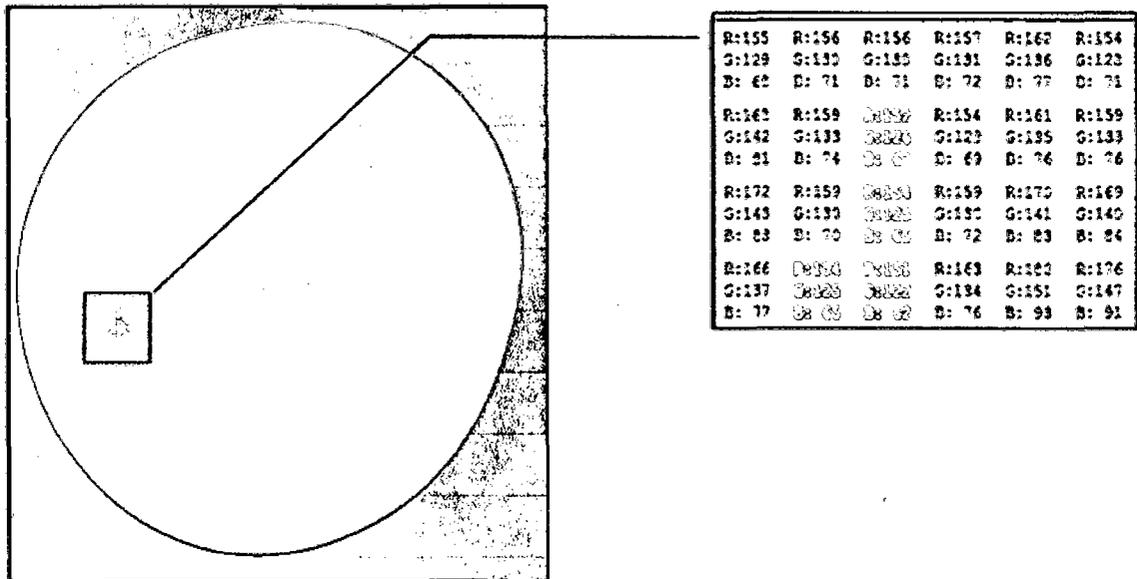


Figura 9. Procesamiento de imágenes del pan

2.2.6. Diseño estadístico

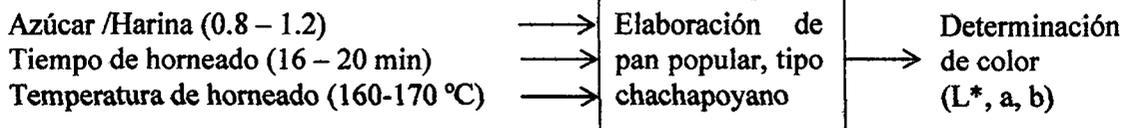
Para el análisis de datos se dividió en dos etapas:

- Diseño factorial de superficie de respuesta de Box-Behnken.
- Evaluación de Test Pareado

2.2.7. Diseño factorial de superficie de respuesta de Box-Behnken

Los datos obtenidos se ajustaron a modelos explicativos utilizando la metodología de la superficie de respuesta, adoptando un diseño de Box-Behnken durante el comportamiento de color de tostado en el horneado.

Metodología de la superficie de respuesta



Se elaboró distintas fórmulas donde se varió las proporciones de azúcar, temperatura y tiempo de horneado del pan y se mantuvieron constante el resto de los ingredientes (harina, agua, sal, manteca, levadura y mejorador).

Diseño de optimización: Box – Behnken

Se empleó el diseño de superficie de respuesta Box – Behnken (Box y Behnken, 1960), el cual fue llevado a cabo con tres factores: relación azúcar/harina, tiempo y temperatura de horneado; estos a tres niveles: bajo (-1), medio (0) y alto (+1). El ensayo constó de 15 tratamientos y se llevó sin replica. Se trabajó un nivel de significancia del 95%. Para evaluar la variable de respuesta (L^* , a y b) que son los índices del color de la corteza del pan., se empleó un análisis de ANOVA con el fin de obtener un modelo empírico que relacione la respuesta medida para las variables independientes. La relación entre éstas y la respuesta fue calculada mediante la ecuación polinomial de segundo orden:

Tabla 2. Ensayos del diseño de Box-Behnken

<i>Corrida</i>	<i>Temperatura de horneado</i>	<i>Relación azúcar/harina</i>	<i>Tiempo de horneado</i>	<i>Color de la corteza del pan</i>
1	0.0	0.0	0.0	y1
2	-1.0	-1.0	0.0	y2
3	1.0	-1.0	0.0	y3
4	-1.0	1.0	0.0	y4
5	1.0	1.0	0.0	y5
6	-1.0	0.0	-1.0	y6
7	1.0	0.0	-1.0	y7
8	0.0	0.0	0.0	y8
9	-1.0	0.0	1.0	y9
10	1.0	0.0	1.0	y10
11	0.0	-1.0	-1.0	y11
12	0.0	1.0	-1.0	y12
13	0.0	-1.0	1.0	y13
14	0.0	1.0	1.0	y14
15	0.0	0.0	0.0	y15

Con el análisis de varianza se determinó el efecto de los factores y sus interacciones sobre las variables de respuesta; el resumen de análisis ANVA será llevado a cabo en el software estadístico STATGRAPHICS CENTURIÓN XV. Obtenido el modelo estadístico, representados por una regresión polinomial con el indicado coeficiente de determinación nos permitió graficar la superficie de respuesta, con la cual se visualiza de una manera global el efecto de los factores, encontrando la región en la que se encuentra el punto deseado dentro del intervalo experimental.

2.2.8. Evaluación de Test Pareado

El ensayo óptimo de acuerdo a que se sometió a una evaluación de test pareado a escala comparativa, lo que generalmente es usado para comprobar productos nuevos con los antiguos en control de calidad y su análisis estadístico es mediante la distribución de Ji-cuadrado. (véase la tabla 3)

Tabla 3. Test pareado-preferencia

Nombre:	Fecha:	Hora:
<p>Observe las muestras y escriba el código de la muestra de su mayor preferencia, en el color de la corteza de pan:</p>		
Código de las muestras		Escribir el código de su preferencia
<p>Observaciones:</p>		

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Resultados del tratamiento experimental

Finalizada la parte experimental, donde se elaboró el pan popular tipo chachapoyano, evaluando como variables independientes la relación azúcar/harina, tiempo (min) y temperatura (°C) de horneado, frente a la determinación de color en la corteza del pan, se obtuvieron los siguientes resultados observados en la Tabla 4.

Tabla 4. Condiciones para la relación azúcar/harina, temperatura y tiempo de horneado en el color de la corteza de pan.

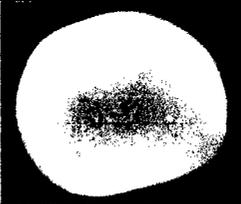
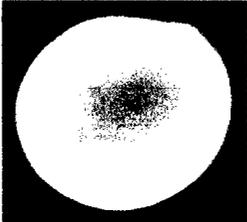
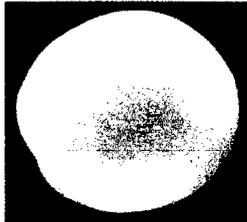
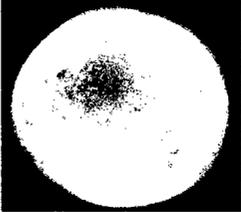
<i>Corrida</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Azúcar/ harina (gramos)</i>	<i>Tiempo (minutos)</i>	<i>L*</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
1	165.0	1.0	18.0	67.4031	-1.0586	45.9891
2	160.0	0.8	18.0	63.955	-0.987	44.1752
3	170.0	0.8	18.0	62.9149	-3.7935	39.5211
4	160.0	1.2	18.0	60.4735	1.3134	33.9655
5	170.0	1.2	18.0	64.2617	-1.8025	36.1135
6	160.0	1.0	16.0	62.1788	-2.6857	42.6604
7	170.0	1.0	16.0	62.6538	-1.8713	40.1016
8	165.0	1.0	18.0	63.1314	1.5445	42.7235
9	160.0	1.0	20.0	64.989	-1.0981	38.2973
10	170.0	1.0	20.0	62.5054	0.7323	27.3685
11	165.0	0.8	16.0	66.6761	-4.4795	39.7653
12	165.0	1.2	16.0	62.7309	1.112	37.6585
13	165.0	0.8	20.0	65.1568	0.1264	38.7203
14	165.0	1.2	20.0	61.0997	-0.6619	22.5975
15	165.0	1.0	18.0	62.1508	0.4511	33.8143

En la Tabla 4 se muestra los índices de color, de los quince tratamientos realizados, observándose que el tratamiento 1 fue el de mayor índice de color con respecto a L* y b, donde se empleó valores medios de las variables independientes. Mientras que en el tratamiento 4 con respecto al índice de color a, presenta una temperatura baja, tiempo medio y la relación azúcar/harina alto, para obtener un índice de color alto.

3.2. Características Sensoriales en la corteza del pan

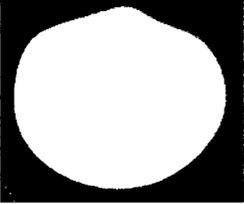
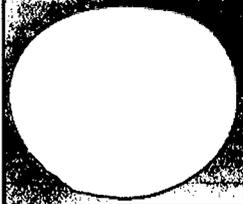
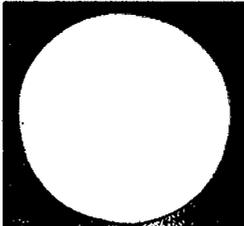
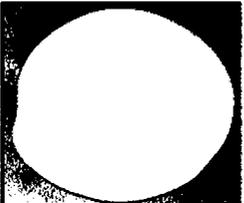
La evaluación de las características sensoriales (índice de color) estuvo encaminado en determinar los efectos de los diferentes tratamientos sobre el cambio de color en la corteza del pan y determinar la influencia de la relación azúcar/harina, temperatura y tiempo de horneado.

Cuadro 7. Matriz de color en relación azúcar/harina = 0.8

Temperatura de horneado (°C)	Tiempo de horneado (min)		
	16	18	20
160			
165			
170			

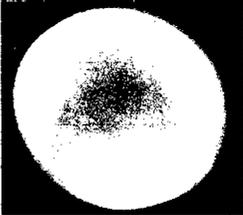
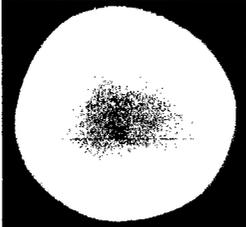
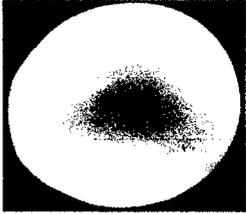
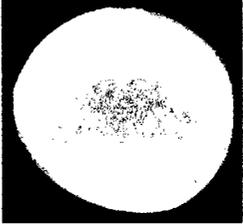
El en cuadro 7, se puedes observar como va variando el color de la corteza del pan según la relación azúcar/harina = 0.8, en función a tiempo y temperatura de horneado.

Cuadro 8. Matriz de color en relación azúcar/harina = 1.0

Temperatura de horneado (°C)	Tiempo de horneado (min)		
	16	18	20
160			
165			
170			

El en cuadro 8, se puedes observar como va variando el color de la corteza del pan según la relación azúcar/harina = 1.0, en función a tiempo y temperatura de horneado.

Cuadro 9. Matriz de color en relación azúcar/harina = 1.2

Temperatura de horneado (°C)	Tiempo de horneado (min)		
	16	18	20
160			
165			
170			

El en cuadro 9, se puedes observar como va variando el color de la corteza del pan según la relación azúcar/harina = 1.2, en función a tiempo y temperatura de horneado.

3.2.1. Análisis de la variable L*

Tabla 5. ANVA de la variable L*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:TEMPERATURA	0.0683575	1	0.0683575	0.01	0.9147
B:AZUCAR/ HARINA	12.8448	1	12.8448	2.38	0.1833
C:TIEMPO	0.0298535	1	0.0298535	0.01	0.9436
AA	4.31183	1	4.31183	0.80	0.4121
AB	5.82812	1	5.82812	1.08	0.3461
AC	2.18833	1	2.18833	0.41	0.5521
BB	0.224383	1	0.224383	0.04	0.8464
BC	0.0031304	1	0.0031304	0.00	0.9817
CC	0.016104	1	0.016104	0.00	0.9585
Error total	26.9533	5	5.39065		
Total (corr.)	52.33	14			

En la Tabla 5, muestran que los tratamientos no son diferentes, el cual no son menores a 0.05 para que se consideren uno de ellos significativos del modelo, sin embargo ninguno de los coeficientes fue significativo, tan solo la relación azúcar/harina es mas cercano a 0.05; sin embargo se tomó en cuenta todos los coeficientes para la elaboración del modelo y de los gráficos de superficie respuesta; se denota:

$$L^* = -1142.04 + 14.4073*tem - 191.918 * azucar + 12.838*tiem - 0.0432257*tem^2 + 1.20707*tem*azucar - 0.073965*tem*tiem - 6.16292*azucar^2 - 0.0699375*azucar*tiem - 0.0165104*tiem^2$$

Donde:

L* = Índice de color L*, con respecto a la luminosidad

tem = Temperatura de horneado (°C)

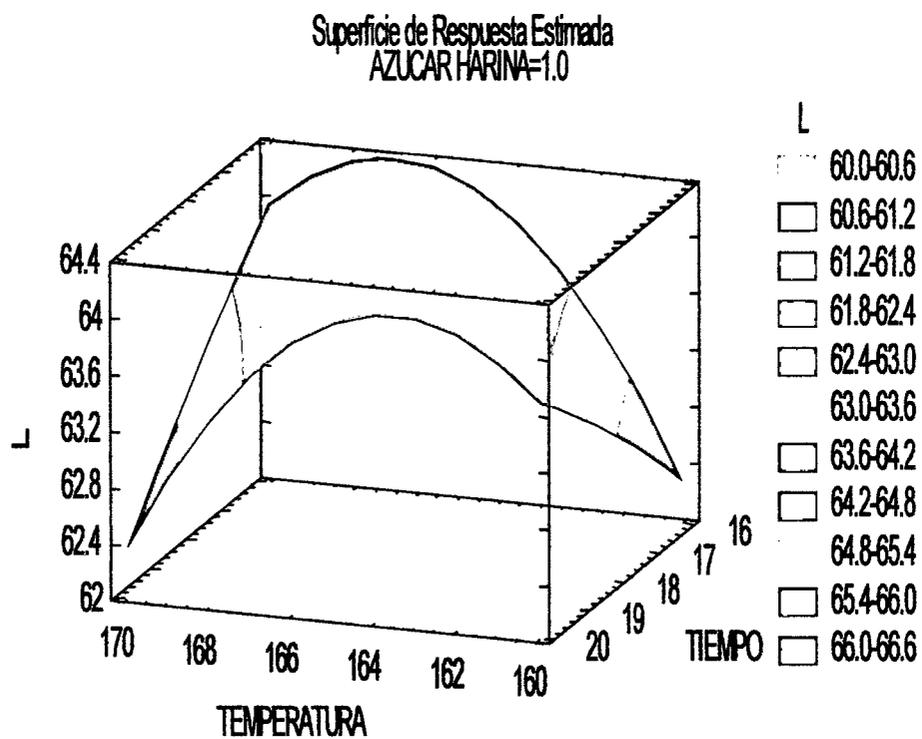
azucar = Relación azúcar/harina

tiem = Tiempo de horneado (min)

El estadístico R^2 indica que el modelo, así ajustado, explica 48,4936% de la variabilidad en L^* esta en función a la variables de estudio.

Tabla 6. Optimización de la variable L^* ($L^*=65.9416$)

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura	160.0	170.0	160.693
Azúcar	0.8	1.2	0.800407
Tiempo	16.0	20.0	20.0



Figura

10.

En la figura 10, se aprecia el efecto de las variables de estudio, que cuando se aumenta la relación azúcar/harina, se obtiene un máximo de L^* entre los intervalos de 65.4 a 66.0, el tiempo y temperatura de horneado no fueron influyente sobre L^* .

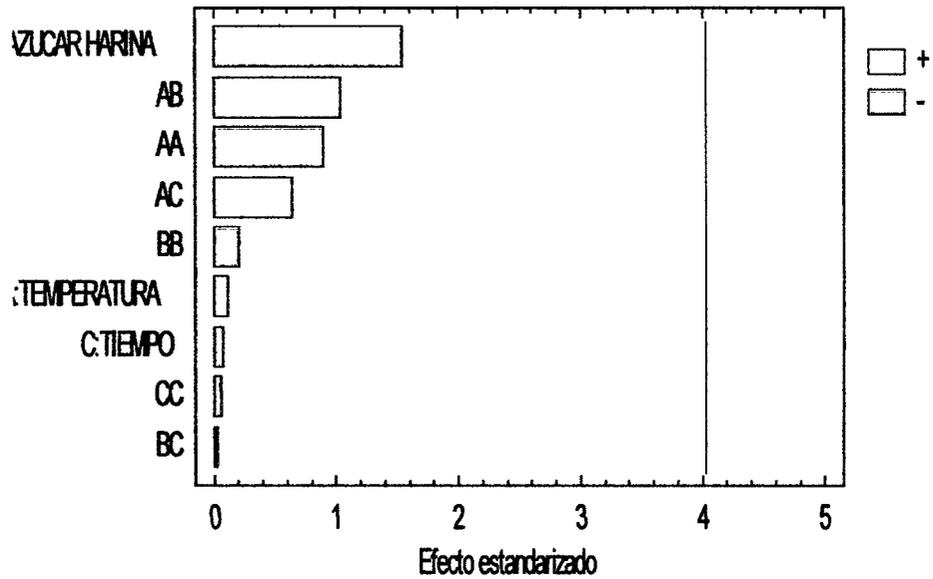


Figura 11. Diagrama de Pareto para L*

Los valores al lado de la barra indican el coeficiente de contraste y el orden decreciente de importancia de los diferentes factores estudiados, la línea azul indica el valor crítico de significancia. Este tipo de análisis permite estudiar la influencia de las variables sobre la respuesta L*) y las interacciones entre ellas. Se puede observar que en los efectos individuales, la relación azúcar/harina (B) es el que más ha influido variable respuesta de L* (luminosidad), sin embargo ninguno de los efectos individuales o combinados sobrepasan el valor crítico.

3.2.2. Análisis de la variable a

Tabla 7. ANVA de la variable a

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:TEMPERATURA	1.34283	1	1.34283	0.52	0.5022
B:AZUCAR HARINA	10.339	1	10.339	4.02	0.1012
C:TIEMPO	6.16567	1	6.16567	2.40	0.1822
AA	3.2788	1	3.2788	1.28	0.3100
AB	0.0239321	1	0.0239321	0.01	0.9269
AC	0.258064	1	0.258064	0.10	0.7642
BB	1.74464	1	1.74464	0.68	0.4476
BC	10.1755	1	10.1755	3.96	0.1033
CC	1.3323	1	1.3323	0.52	0.5038
Error total	12.8552	5	2.57105		
Total (corr.)	46.7189	14			

En la Tabla 7, muestran que los tratamientos no son diferentes, el cual no son menores a 0.05 para que se consideren uno de ellos significativos del modelo, sin embargo ninguno de los coeficientes fue significativo, tan solo la relación azúcar/harina es mas cercano a 0.05; sin embargo se tomó en cuenta todos los coeficientes para la elaboración del modelo y de los gráficos de superficie respuesta; se denota:

$$a = -1100.9 + 11.9771*tem + 124.589*azucar + 5.64155*tiem - 0.0376937*tem^2 - 0.07735*tem*azucar + 0.0254*tem*tiem - 17.1848*azucar^2 - 3.98738*azucar*tiem - 0.150173*tiem^2$$

Donde:

a = Índice de color a, con respecto a la variación del color

tem = Temperatura de horneado (°C)

azucar = Relación azúcar/harina

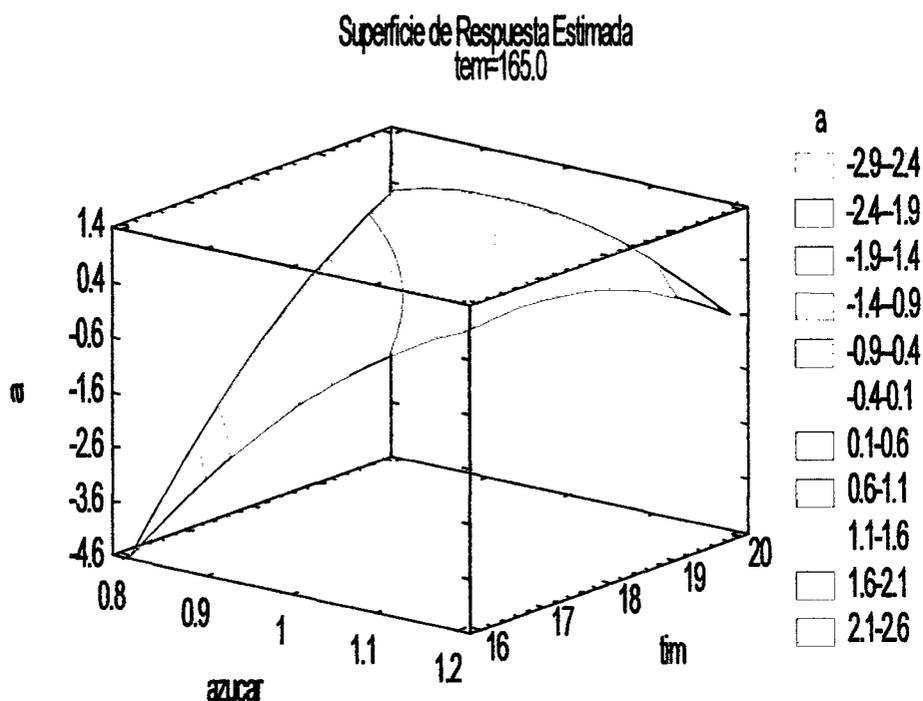
tiem = Tiempo de horneado (min)

El valor de significancia de cada uno de los efectos comparados, indican que los tratamientos no son significativamente diferentes, este analizado con un nivel de confianza del 95%

El estadístico R^2 indica que el modelo, así ajustado, explica 72.4839% de la variabilidad en a esta en función a las variables de estudio.

Tabla 8. Optimización de la variable a ($a = 1.08714$)

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura	160.0	170.0	163.256
Azúcar	0.8	1.2	1.2
Tiempo	16.0	20.0	16.6588



En la figura 12, se aprecia el efecto de las variables de estudio, que cuando se aumenta la relación azúcar/harina y el tiempo de horneado hasta un tiempo de 18min, se obtiene un máximo de a entre los intervalos de 0.6 a 1.10; la temperatura de horneado no es muy influyente en a .

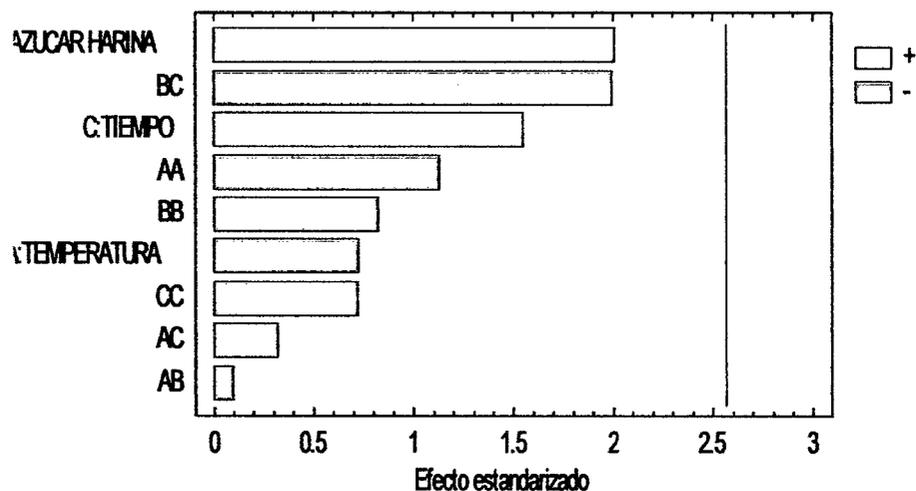


Figura 13. Diagrama de Pareto para a

Los valores al lado de la barra indican el coeficiente de contraste y el orden decreciente de importancia de los diferentes factores estudiados, la línea azul indica el valor crítico de significancia. Este tipo de análisis permite estudiar la influencia de las variables sobre la respuesta a) y las interacciones entre ellas. Se puede observar que en los efectos individuales, la relación azúcar/harina (B), la mezcla de la relación azúcar/harina - tiempo y el tiempo (C), son más ha influyentes variable respuesta de a (rojo - verde), sin embargo ninguno de los efectos individuales o combinadas sobrepasan el valor crítico.

3.2.3. Análisis de la variable b

Tabla 9. ANVA de la variable b*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:TEMPERATURA	31.9748	1	31.9748	1.64	0.2561
B:AZUCAR HARINA	126.778	1	126.778	6.52	0.0511
C:TIEMPO	137.798	1	137.798	7.08	0.0448
AA	0.00049	1	0.00049	0.00	0.9962
AB	11.5671	1	11.5671	0.59	0.4755
AC	17.5142	1	17.5142	0.90	0.3863
BB	21.4455	1	21.4455	1.10	0.3418
BC	49.1121	1	49.1121	2.52	0.1730
CC	51.8369	1	51.8369	2.66	0.1635
Error total	97.2771	5	19.4554		
Total (corr.)	541.341	14			

En la Tabla 7, muestra que al menos uno de los tratamientos es diferentes, el cual es menores a 0.05 para que se consideren significativo del modelo (variable tiempo) ; se tomó en cuenta todos los coeficientes para la elaboración del modelo y de los gráficos de superficie respuesta; se denota:

$$b = -685.677 + 1.51384*tem - 22.3103*azucar + 74.9331*tim + 0.0004615*tem^2 + 1.70053*tem*azucar - 0.20925*tem*tim - 60.2503*azucar^2 - 8.76*azucar*tim - 0.936722*tim^2$$

Donde:

b = Índice de color b, con respecto a la intensidad del color

tem = Temperatura de horneado (°C)

azucar = Relación azúcar/harina

tim = Tiempo de horneado (min)

El estadístico R^2 indica que el modelo, así ajustado, explica 82.0303% de la variabilidad en b depende de la variable tiempo.

Tabla 10. Optimización de la variable b (b = 46.264)

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura	160.0	170.0	160.0
Azúcar	0.8	1.2	0.8
Tiempo	16.0	20.0	18.3857

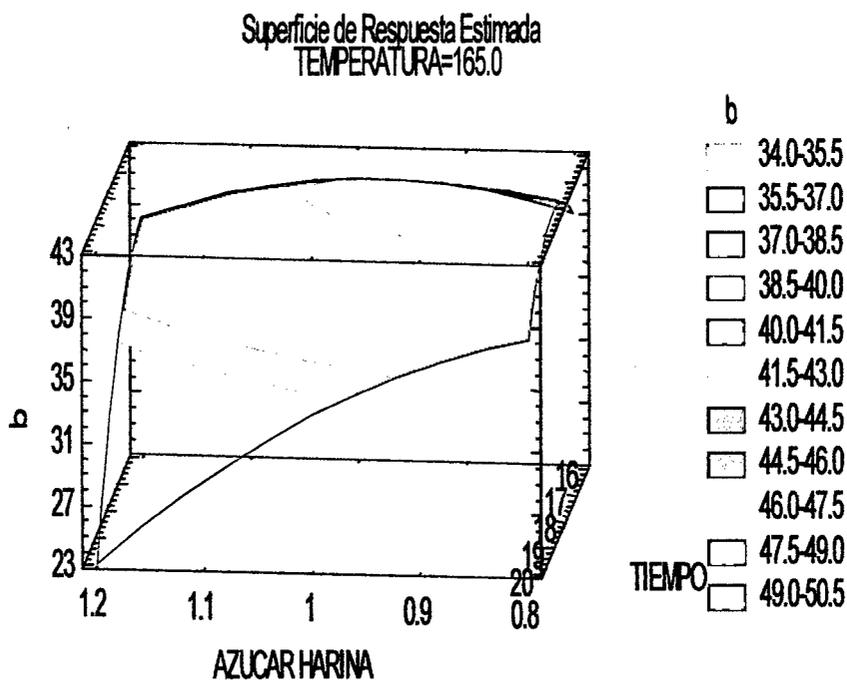


Figura 14. b en la corteza del pan

En la figura 14, se aprecia el efecto de las variables de estudio, que cuando se aumenta la relación azúcar/harina y a un tiempo mínimo de horneado se obtiene un máximo de b entre los intervalos de 41.5 a 43. La temperatura de horneado no fue muy influyente en dicho índice de color.

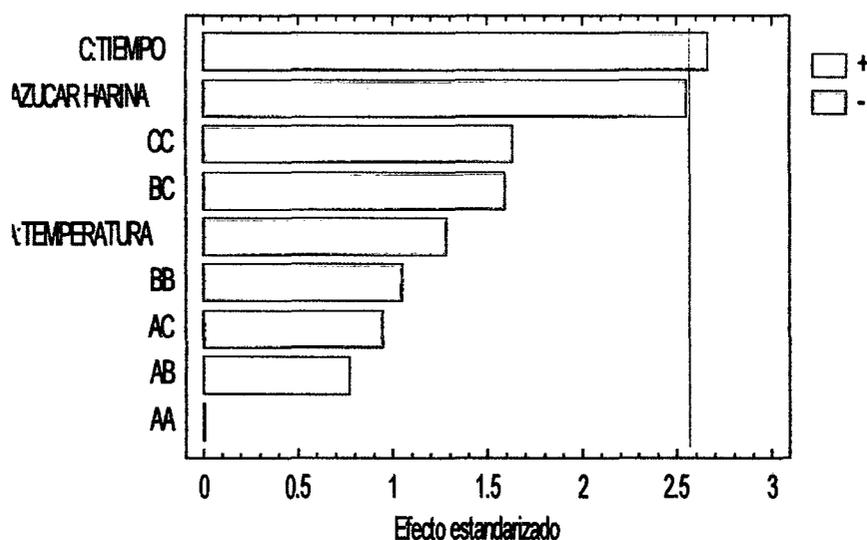


Figura 15. Diagrama de Pareto para b

Los valores al lado de la barra indican el coeficiente de contraste y el orden decreciente de importancia de los diferentes factores estudiados, la línea azul indica el valor crítico de significancia. Este tipo de análisis permite estudiar la influencia de las variables sobre la respuesta b) y las interacciones entre ellas. Se puede observar que en los efectos individuales, la relación azúcar/harina (B) y el tiempo (C), son más ha influyentes variable respuesta de b (amarillo – azul), al menos uno de los efectos individuales sobrepasan el valor crítico.

3.2.4. Optimización de múltiples respuestas L*ab

Para la optimización se tomaron las siguientes restricciones:

1. Factores: relación azúcar/harina, temperatura y tiempo de horneado en la corteza del pan.
2. Variables respuestas: Índices de color (L*ab)

Tabla 11. Rango de optimización de las variables respuestas L*ab

	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
<i>Respuesta</i>	<i>Observado</i>	<i>Observado</i>
L	60.4735	67.4031
A	-4.4795	1.5445
B	22.5975	45.9891

Tabla 12. Optimización de deseabilidad de las variables respuestas L*ab

<i>Fila</i>	<i>L*</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>Deseabilidad Prevista</i>	<i>Deseabilidad Observada</i>
1	67.4031	-1.0586	45.9891	0.695339	0.828104
2	63.955	-0.987	44.1752	0.647632	0.645285
3	62.9149	-3.7935	39.5211	0.416298	0.307327
4	60.4735	1.3134	33.9655	0.0	0.0
5	64.2617	-1.8025	36.1135	0.480715	0.519707
6	62.1788	-2.6857	42.6604	0.473277	0.397593
7	62.6538	-1.8713	40.1016	0.486014	0.467141
8	63.1314	1.5445	42.7235	0.695339	0.69105
9	64.989	-1.0981	38.2973	0.58718	0.626154
10	62.5054	0.7323	27.3685	0.364497	0.372634
11	66.6761	-4.4795	39.7653	0.0	0.0
12	62.7309	1.112	37.6585	0.580697	0.579579
13	65.1568	0.1264	38.7203	0.709707	0.708845
14	61.0997	-0.6619	22.5975	0.155985	0.0
15	62.1508	0.4511	33.8143	0.695339	0.456291

En la Tabla 12, muestra los incides de color de quince tratamientos realizados; este procedimiento ayuda a determinar la combinación de los factores experimentales que simultáneamente optimiza varias respuestas, observándose que el tratamiento 13 presentó la máxima deseabilidad con respecto a los índices de color: L*, a y b.

3.2.4.1.Optimizar deseabilidad

Valor óptimo = 0.784689

Tabla 13. Optimización de deseabilidad de los factores evaluados

<i>FACTOR</i>	<i>BAJO</i>	<i>ALTO</i>	<i>ÓPTIMO</i>
Temperatura	160.0	170.0	161.104
Azúcar/ harina	0.8	1.2	0.8
Tiempo	16.0	20.0	19.9925

En la Tabla 13 muestra la combinación de niveles de factores que maximiza la función de 'deseabilidad' en la región indicada. También muestra la combinación de factores a la cual se alcanza el óptimo.

Tabla 14. Óptimo de las variables respuestas L*ab

<i>RESPUESTA</i>	<i>ÓPTIMO</i>
L*	65.9371
A	-0.154879
B	42.5648

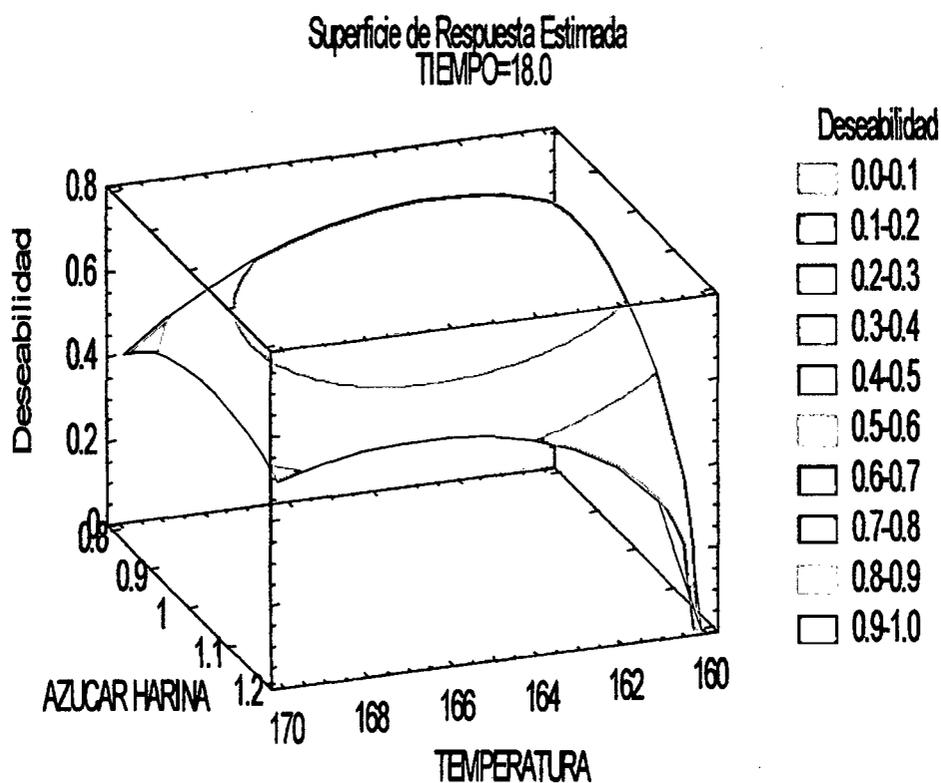


Figura 16. Optimización de múltiples respuestas L*ab a tiempo constante
(Tiempo = 18 min)

En la figura 16, se aprecia el efecto de las variables respuestas (índice de color), al aumentar la relación azúcar/harina (0.8 – 1.0) y temperatura de horneado (164 – 165 °C), y al mantener un tiempo a 18 min, se obtiene un máxima deseabilidad (0.7 – 0.8).

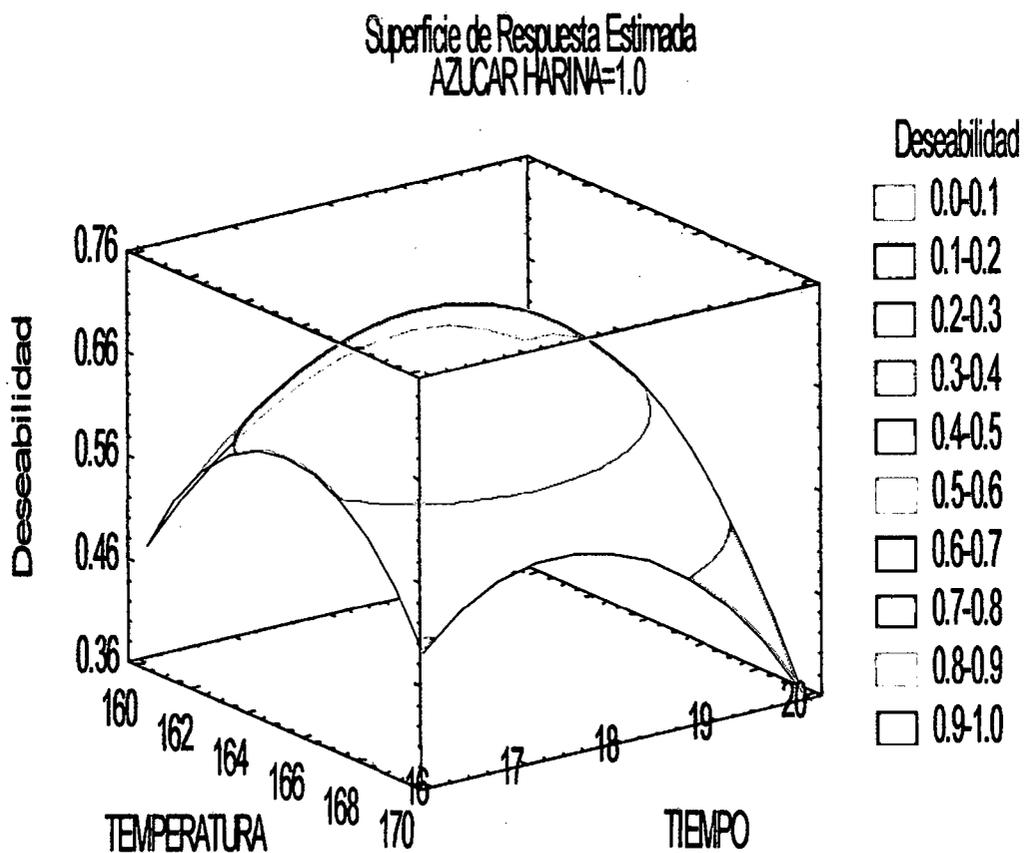


Figura 17. Optimización de múltiples respuestas L^*ab a azúcar/harina constante (azúcar/harina = 1.0)

En la figura 17, se aprecia el efecto de las variables respuestas (índice de color), al aumentar la temperatura de horneado (164 – 165 °C) y tiempo (17.5 – 18.5 min), y al mantener una relación azúcar/harina (1), se obtiene un máxima deseabilidad (0.6 - 0.7).

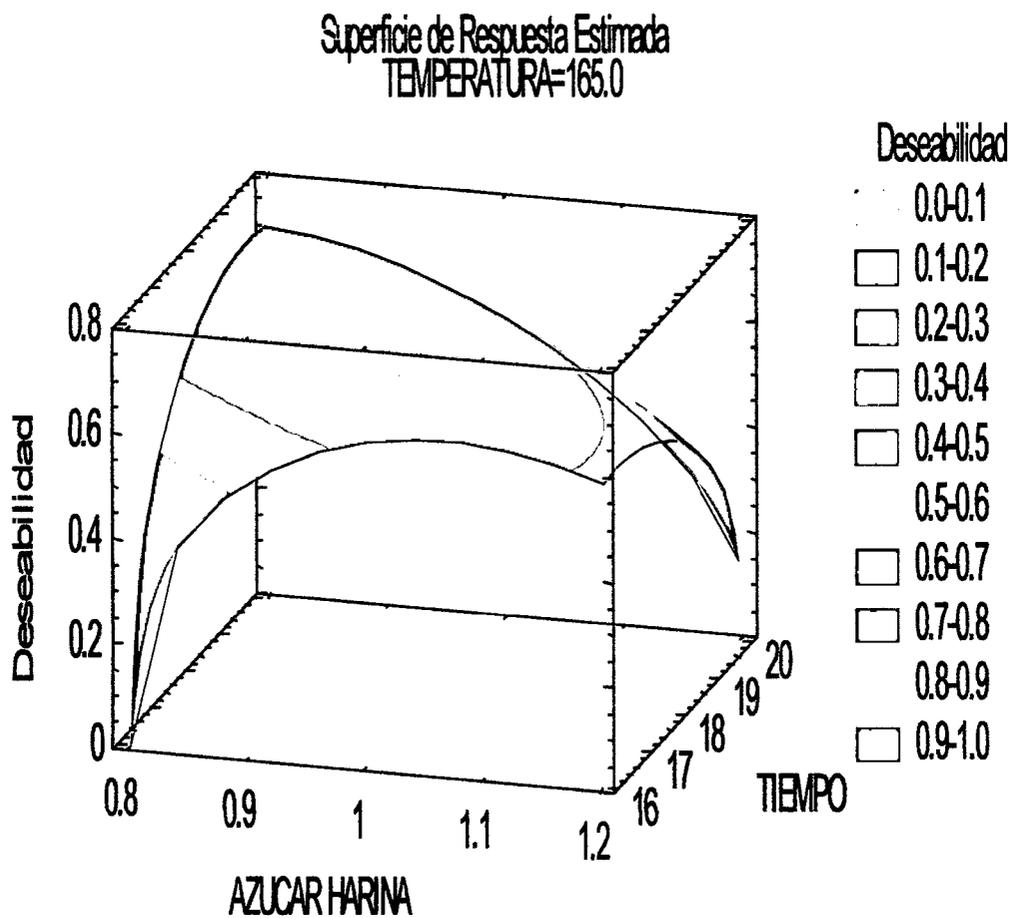


Figura 18. Optimización de múltiples respuestas L^*ab a temperatura constante
(Temperatura = 165 °C)

En la figura 18, se aprecia el efecto de las variables respuestas (índice de color), al aumentar la relación azúcar/harina (1.0 – 1.1) y tiempo de horneado (16 – 18 min), y al mantener un temperatura a 165 °C, se obtiene un máxima deseabilidad (0.7 – 0.8).

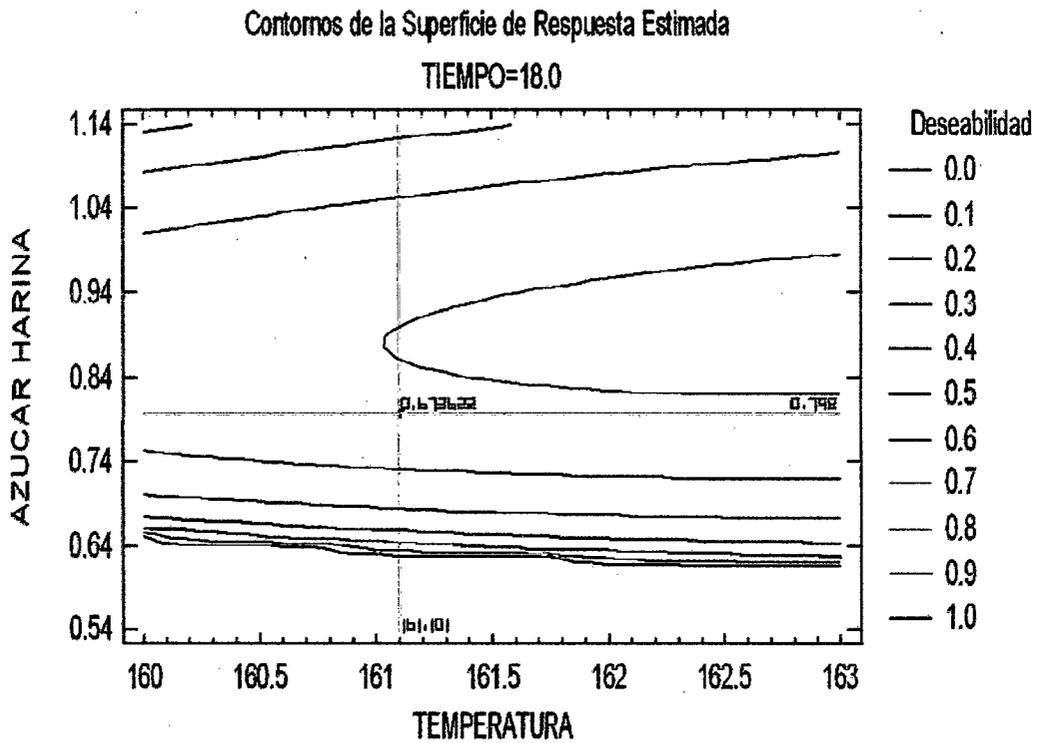


Figura 19. Contorno de la superficie de respuesta estimada de optimización de deseabilidad a un tiempo constante (Tiempo = 18 min)

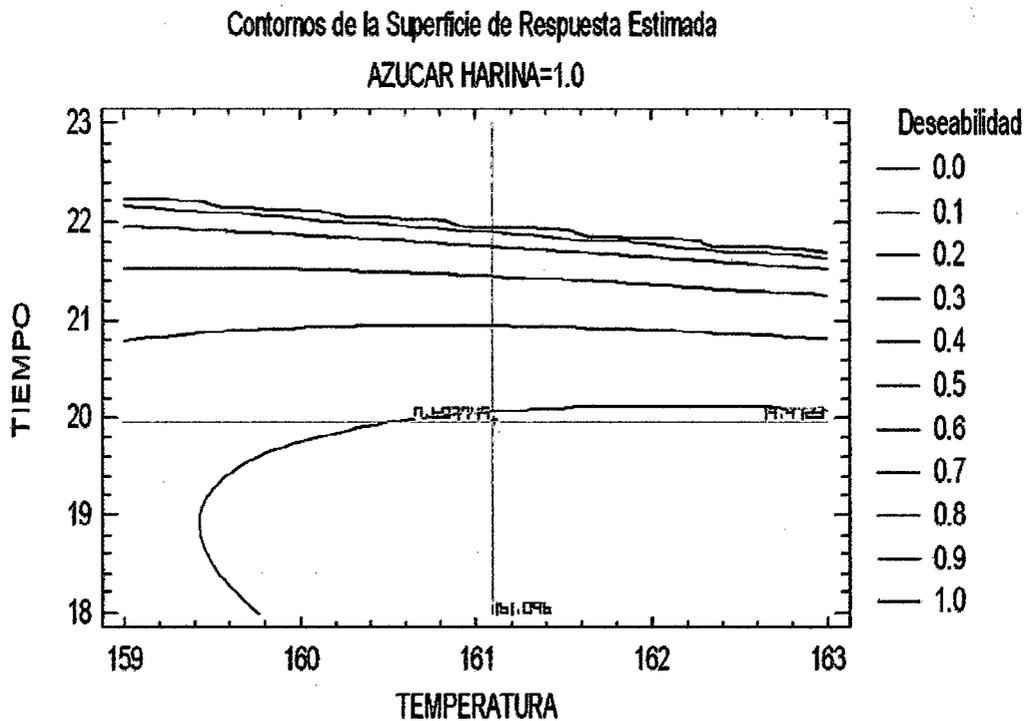


Figura 20. Contorno de la superficie de respuesta estimada de optimización de deseabilidad a una relación de azúcar/harina constante (Azúcar/ Harina = 1,0 gr/ 10 gr)

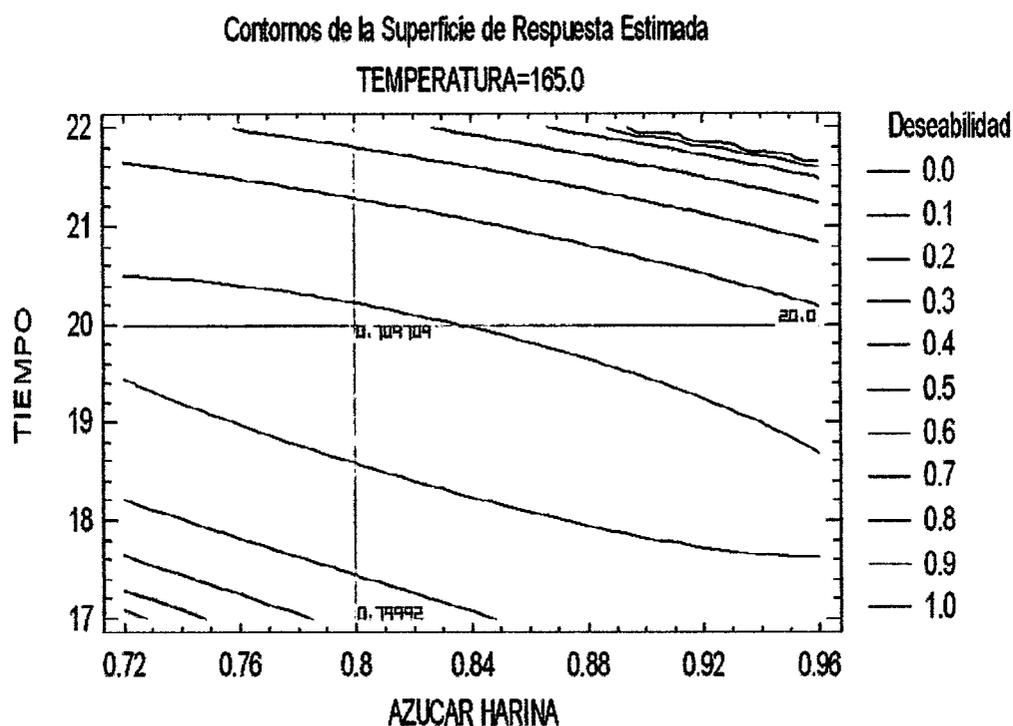


Figura 21. Contorno de la superficie de respuesta estimada optimización de deseabilidad a una temperatura constante (Temperatura = 165°C)

3.3. Comportamiento del color en función al tiempo

Se muestra el comportamiento de los índices de color L*ab en diferentes tiempos.

Tomando como referencia a la Tabla 8 que muestra que el tratamiento 13 es la que posee la deseabilidad más óptima.

Tabla 15. Comportamiento de L*ab en función al tiempo

Tiempo	L*	a	b
Min			
0	66,7016	-15,7567	26,3599
4,5	69,1941	-16,4404	27,6343
9	66,0525	-6,9774	40,8451
13,5	63,0562	-1,1578	42,4234
18	64,6861	1,9571	39,8093
20	65,1568	0,1264	38,7203

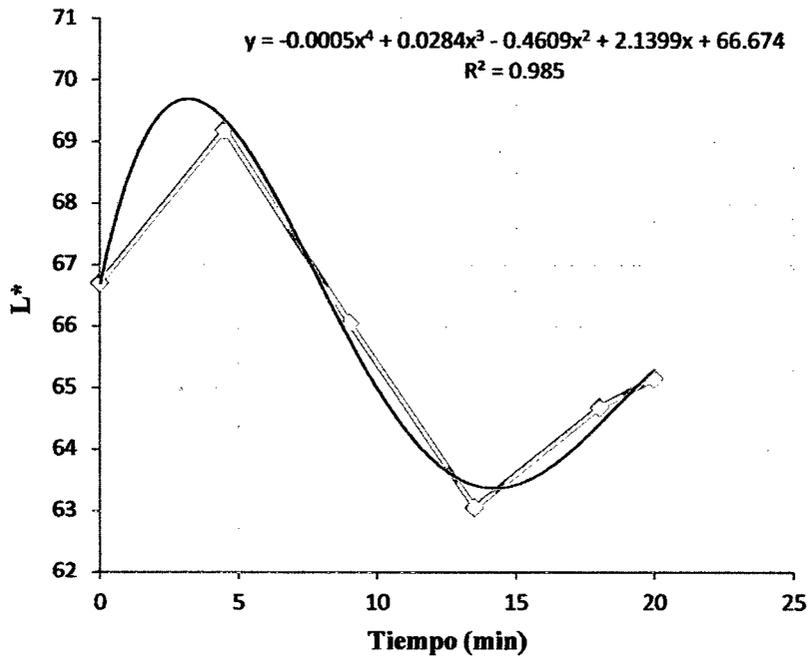


Figura 22. L* en función al tiempo

En la figura 22, se puede observar que hasta un tiempo de 5 min la luminosidad aumenta, luego desciende hasta el minuto 14, para luego aumentar ligeramente hasta el término de la cocción del pan.

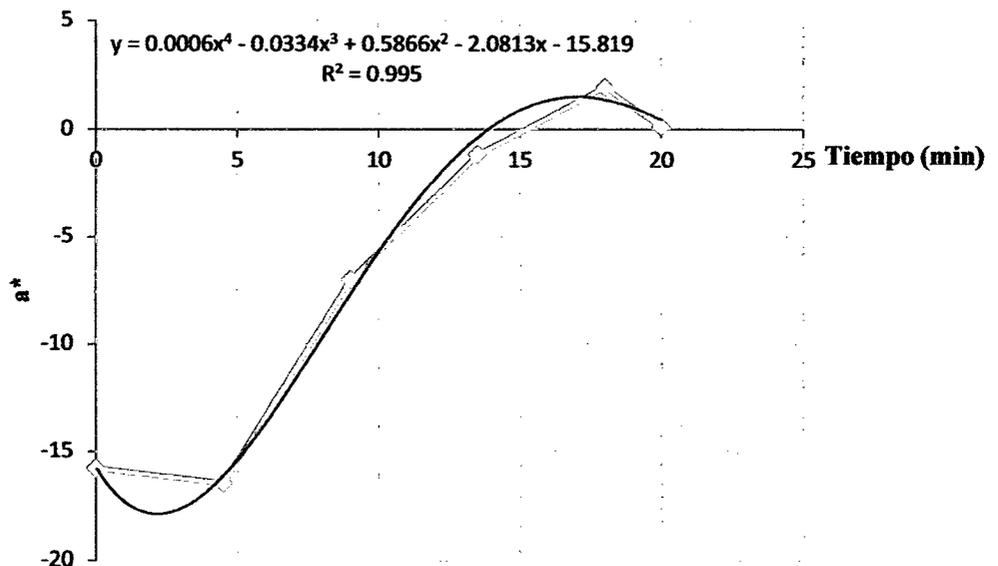


Figura 23. a en función al tiempo

En la figura 23, se puede observar una ligera caída del índice de color **a** hasta el minuto 5, luego va aumentando hasta el minuto 14, para luego volver a caer ligeramente hasta el término de la cocción del pan.

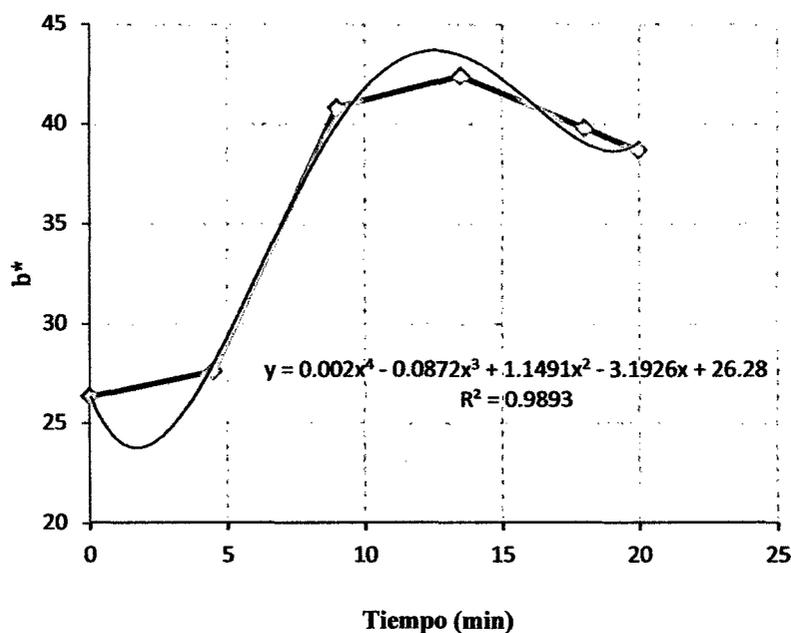


Figura 24. **b** en función al tiempo

En la figura 22, se puede observar que hasta un tiempo 15 min. va aumentando progresivamente el índice de color **b**, a partir de ello desciende ligeramente hasta el término de la cocción del pan.

3.4. Test Pareado a escala comparativa

Hipótesis

H₀: El pan chachapoyano obtenido a través de la superficie de respuesta no presenta una diferencia significativa al pan más popular de Chachapoyas (panadería Chuquimbalqui), con respecto al color de la corteza del pan.

H₁: El pan chachapoyano obtenido a través de la superficie de respuesta presenta una diferencia significativa al pan más popular de Chachapoyas (panadería Chuquimbalqui), con respecto al color de la corteza del pan.

Tabla 16. Datos obtenidos a través de una test pareado en el mercado municipal de Chachapoyas.

		B (456)			
A (123)	A \ B		SI	NO	TOTAL
	SI		4	10	14
	NO		14	4	18
TOTAL		18	14	32	

Tabla 17. Ji-cuadrado calculada obtenida a través de la tabla 16

oi	Ei	$((oi-ei -1/2)^2)/ei$
4	7.875	1.446428571
10	10.125	0.013888889
14	6.125	8.880102041
4	7.875	1.446428571
X^2 (calculado)		11.78684807

- $X^2_{1,(0.05)}(tabla)=3.841$; como X^2 (calculado) $>X^2_{1,(0.05)}(tabla)$ entonces:
- Con el 95% de confianza, se determina que hay una diferencia significativa en el color de la corteza del pan obtenido a través de la superficie de respuesta con respecto al pan más popular (panadería Chuquimbalqui).

3.5. Discusión

- La caramelización, se produce a los 154° Celsius; luego de este punto, al llegar a 168° C, comienza a adquirir un color ligeramente ámbar, el sabor dulce inicial se enriquece y el color se transforma progresivamente en marrón oscuro (según: Mohd y Col. 2009). Esto se aprecia en las figuras 23 y 24, en las que claramente se aprecia que **a** vira a rojo oscuro y **b** toma coloraciones azul oscuro y la combinación de estos forma el marrón oscuro apreciable según la cita anterior.
- Según Schmidhofer, 1994, la percepción de las diferencias de color depende de la magnitud de sus parámetros y a partir de estos podemos obtener valiosa información de cómo se desarrollan los cambios de color. Por ejemplo, cuando las diferencias de L^* son positivas, el color se vuelve más claro; pero cuando estas diferencias son negativas, el color se va haciendo más oscuro. En este sentido y de acuerdo a lo observado en la figura 13 al pasar los primeros cinco minutos la corteza del pan va adquiriendo brillo y L^* va ascendiendo; posteriormente se puede decir que comienza la reacción de Maillard y L^* comienza a descender, posiblemente ocasionado por la evaporación de la humedad en la superficie del pan (según: Purlis E y Viviana .S . 2009), ocasionando que los panes se tornen más oscuros con el transcurso del tiempo; posteriormente, debido a la caramelización, el valor de L^* esto debido a que el azúcar cristalizada tiene mayor capacidad de poder de refracción que en solución (según: Purlis E y Viviana .S . 2009).
- Se observó que el parámetro L^* más alto se obtuvo cuando las variables en análisis temperatura y tiempo tuvieron valor máximo, y la relación azúcar/harina valor mínimo; al respecto y en comparación con lo que informa García (2009), el cual obtuvo valores máximos de luminosidad (L) aplicando potencias bajas y tiempos cortos en el producto muffin a través de un horneado por microondas; esto puede atribuirse a las diferencias del equipo de horneado y sus efectos en el proceso de generación y transferencia de calor.
- Las condiciones obtenidas de L por optimización numérica en el software Desing Expert en el producto del muffin horneado en microondas tuvieron una deseabilidad del 0.977, lo que implica cumplimiento elevado de sus criterios establecidos (según: García, 2009); por lo que en las condiciones obtenidas de la tabla 9, el tratamiento 13 brinda las mejores condiciones para L en el producto del pan tipo popular chachapoyano, obteniendo una deseabilidad de 0.7097 este a través de la optimización numérica de la superficie de respuesta, lo cual indica

una cercanía del valor obtenido por García (2009) al hornear su producto en horno microondas.

- El proceso de evolución de luminosidad reflejada en el color de la corteza del pan tipo popular chachapoyano, se observa el cambio de color en la corteza del pan a partir del 4^{to} minuto, esto debido a la reacción de Maillard y caramelización; por ende brindan el color característico al pan a causa de la interacción de las variables de estudio. Según, Sánchez. (2006), menciona que el desarrollo de luminosidad fue menor en el producto del muffin horneado en microondas, debido a la falta de reacción de oscurecimiento, cuyos resultados son comparables con los de Icoz (2004) quien informa que el panqué horneado por microondas da como resultado un producto sin corteza y sin color.
- Los resultados obtenidos por Mohd y Col. (2009), muestran que el espesor de la corteza del pan varió desde 6,02 hasta 9,00 mm, simultáneamente tiene una relación negativa con cada uno de los índices de L (luminosidad), a y b (color) una correlación positiva, por el cual demostró el aumento del color y espesor de la corteza del pan con las temperaturas de cocción altas; por lo que en la figura 22 se puede observar una ligera caída de la luminosidad, esto producto de la evaporación del agua, y en las figuras 23 y 24 tienen una inclinación a valores positivos tal como lo demostró Mohd, así mismo obteniendo una tonalidad de marón oscuro característico del pan popular. Además de suponer del aumento de corteza tostada del pan.

IV. CONCLUSIONES

- El empleo del modelo de superficie de respuesta, con los factores relación azúcar/harina (0.8 – 1.2), tiempo (16 – 20 minutos) y temperatura de horneado (160 a 170 °C), permitió optimizar la condiciones de proceso para elaborar pan tipo chachapoyano para las variables de L^* , a y b , resultando valores óptimos que se presenta a continuación.

Parámetros	Óptimo	Temperatura °C	Tiempo min.	Relación azúcar/harina
L^*	65.95	160.7	20.0	0.80
a	1.09	163.3	16.7	1.20
b	46.3	160.0	18.4	0.80

- Para la variable L^* , el factor más influyente pero no significativo fue la variable relación azúcar/harina, a comparación de las demás variables independientes estudiadas, no fueron influyentes.
- Para la variable a , el factor más influyente pero no significativo fue la variable relación azúcar/harina y este en interacción con la variable temperatura, a comparación de las demás variables estudiadas, no fueron influyentes.
- Para la variable b , el factor más influyente y significativo fue la variable tiempo, también influyente pero no significativo fue la variable relación azúcar/harina, a comparación de las demás variables estudiadas que no fueron influyentes.
- Se determinó que el estadístico R^2 para las variables L^* , a y b , indicaron que el modelo fue ajustado a un 48.49, 72.5 y 82.03 % respectivamente, los cuales estos valores estuvieron en función a las variables estudiadas; así mismo se obtuvo las ecuaciones a través de la superficie de respuesta dando un valores óptimos de L^* , a y b equivalente a 65.94, -0.1549 y 42.56.
- Se aplicó el modelo Box – Behnken (superficie de respuesta – optimización de múltiples respuestas) con los factores relación azúcar/harina (0.8 – 1.2), tiempo (16 – 20 minutos) y temperatura de horneado (160 a 170 °C), el cual permitió optimizar la condiciones de proceso

para elaborar pan tipo chachapoyano, resultando una relación azúcar/harina óptima de 0.8, tiempo óptimo de horneado de 20,0 minutos y una temperatura de horneado óptimo de 161°C, con función de deseabilidad en el rango de 0.7 a 0.8 (en una escala de 0 a 1) lo que representa un muy buen modelo.

- La implementación de la visión computacional en la línea de procesos de elaboración de pan tipo chachapoyano brinda valores no subjetivos y reproducibles para el proceso de control de calidad del pan.
- Es posible hacer un seguimiento de las reacciones causantes del color en productos de panificación mediante técnicas de visión artificial y análisis de imágenes.

V. RECOMENDACIONES

- Evaluar el efecto de la temperatura, tiempo y/o relación azúcar/levadura en el desarrollo del volumen del pan, a través de visión por computacional.
- Elaborar nuevos tipos de panes y comparar su aceptabilidad con los resultados obtenidos en esta investigación.
- Realizar el Análisis Sensorial Descriptivo Cuantitativo (QDA) al pan tipo chachapoyano.
- Evaluar la cinética de pardeamiento enzimático en función del parámetro de color L* (luminosidad), a y b (índices de color) en alimentos mínimamente procesados y/o procesados.
- Estimar la vida útil sensorial de alimentos mínimamente procesados y/o procesados usando visión computación.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Sharon, G. 2000. Formulating irresistible sweet baked goods. *Food Product Design: Design Elements*. September—Snack Mixes, 1–9. www.foodproductdesign.com/articles/463/463-1000de.htm
- Dubois, D.K. 1981a. Chemical leavening. *Technical Bulletin*. American Institute of Baking 3:1–6. Manhattan, KS.
- Dubois, D.K. 1981b. Fermented doughs. *Cereal Foods World* 26:617–622.
- Pylar, E.J. 1988a. Sugars and syrups. In: Pylar, E.J. (Ed.). *Baking Science and Technology*, vol 1, pp. 412–413. Sosland, Kansas City, MO.
- Menjivar, J.A. and H. Faridi. 1994. Rheological properties of cookie and cracker doughs. In: Faridi, H. (Ed.). *The Science of Cookie and Cracker Production*, pp. 315–316. Chapman and Hall, New York
- Brooker, B.E. 1993b. The stabilization of air in foods containing fat—A review. *FoodStructure* 12:115–122.
- Lucas, E. 2003. “proceso de fabricación de pan”. Lima-Perú. www.aldeaeducativa.com/67ngles67ación/elaboracióndelpan.Html. Acceso en febrero de 2011.
- Dubois, D.K. 1981b. Fermented doughs. *Cereal Foods World* 26:617–622.
- Bushuk, W. 1966. Distribution of water in dough and bread. *Baker’s Digest* 40:38–40.
- Eliasson, A.C. and K. Larsson. 1993. *Cereal in Bread Making: A Molecular Colloidal Approach*, Chap. 6, pp. 261–266. Marcel Dekker, New York.
- Preston, K.R. 1989. Effects of neutral salts of the lyotropic series on the physical dough properties of Canadian red spring wheat flour. *Cereal Chemistry* 66:144–148.

- Ashton, John (1904) (en 68ngles). The History of Bread from Pre-historic to Modern Times (1ª edición). Brooke house publishing co.
- Belderok, Bob & Hans Mesdag&Dingena A. Donner. (2000) Bread-Making Quality of Wheat. Springer
- Hosenev, Carl (1991) Principles of Cereal Science and Technology. American Association of Cereal Chemists, St Paul, Minnessota.
- Dendv, David &Dobraszczyk, Bogdan (2001) Cereals and Cereal Products: Chemistry and Technology. Kluver Academic Plenum Publishers, New York.
- Joshi P, Brimelow C. 2002. Colour measurement of food by colour reflectance. En Colour in food. Woodhead Publishing Limited and CRC Press, LLC. Editado por Douglas B. MacDougall.
- Hunt, M. y Col. (1991). American meat Science Association, Guidelines for meat colour evaluation. Chicago, USA. National Live Stock and Meat Board.
- Lozano, R. D. (1978). El color y su medición. Buenos Aires, Argentina. Americale S.R.L.
- Cervera, R. (1995). Estudio de la evolución del color en el proceso de elaboración del paté. Proyecto fin de Carrera, E.U.I.T.A., Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Mabon, J.T. (1993). Colour measurements of food. Cereal Foods World.
- Quezada, N. (2011). Clasificación de la calidad sensorial de pan tipo hallulla mediante visión computacional. Universidad de Chile. Santiago - Chile.
- Abutaleb, A. (1989). Automatic thresholding of grey-level pictures using two-dimensional entropies
- Mohd y Col. (2009). Bread crust thickness measurement using digital imaging and L a b colour system.
- Ozge y Col. (2009). The effects of gums on macro and micro-structure of breads baked in different ovens.

- Paquet y Col (2009). Monitoring baking processes of bread rolls by digital image analysis.
- Purlis E. y Viviana S. (2009). Modelling the browning of bread during baking.
- Delgado C. y Col (2010). Development of the Maillard reaction in foods cooked by different techniques. Intake of Maillard-derived compounds
- Gokmen V. y Col. (2008). Investigating the correlation between acrylamide content and browning ratio of model cookies.
- Hadiyanto A. y Col. (2007). Quality prediction of bakery products in the initial phase of process design.
- Brosnan T. y Da-Wen S. (2003). Improving quality inspection of food products by computer vision a review
- Mundt S. y Bronislaw L. (2006). A kinetic model for browning in the baking of biscuits: Effects of water activity and temperatura
- Paulsen, M. (1990). Using machine vision to inspect oilseeds. *INFORM*, 1, 50–55.
- Pearson, T. (1996). Machine vision system for automated detection of stained pistachio nuts. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 203-209.
- Pedreschi F, L. J. (2006). Development of a computer vision system to measure the color of potato chips. *Food Research International*, 1092–1098.
- Pedreschi, F. B. (2007). color kinetics and acrylamide formation in NaCl soaked potato chips. *Journal of Food Engineering*, 989–997.
- Pedreschi, F. L. (2007). Color development and acrylamide content of pre-dried potato chips. *Journal of Food Engineering*, 786–793.
- Pedreschi, F. M. (2004). Classification of potato chips using pattern recognition. *Journal of Food Science*, 264–270.

ANEXOS

ANEXO 1. FOTOS DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL PAN



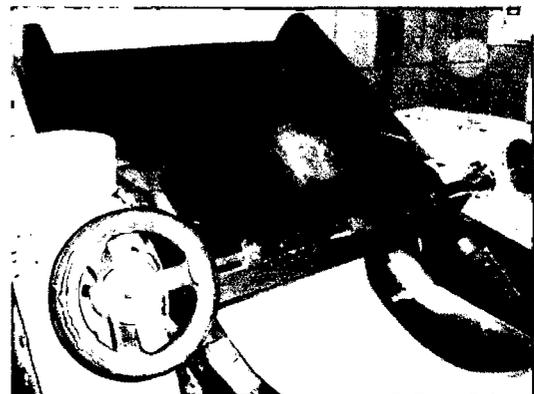
Fotografía 1. Harina de trigo



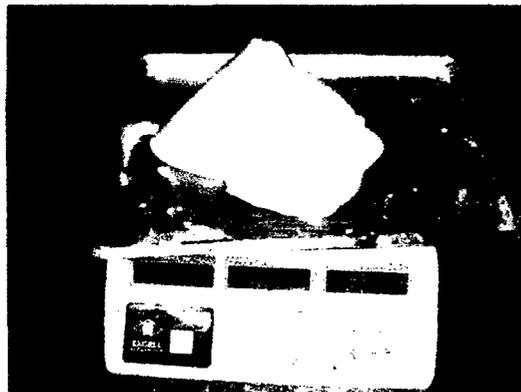
Fotografía 2. Azúcar rubia



Fotografía 3. Mezcla de los insumos



Fotografía 4. Amasando la masa panadera



Fotografía 5. Pesado de la masa



Fotografía 6. Cortadora de maza



Fotografía 7. Masa cortada



Fotografía 8. Boleo de la masa



Fotografía 9. Obtención de panes crudos **Fotografía 9. Fermentación de los panecillos**

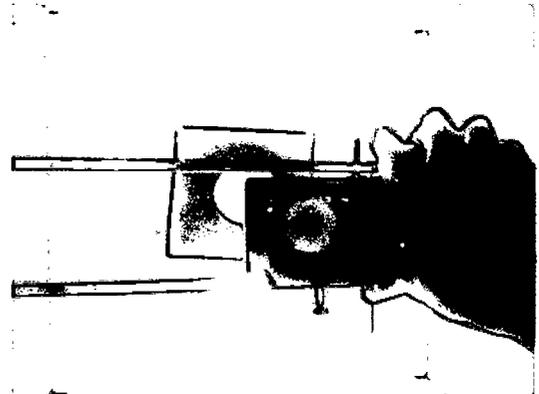
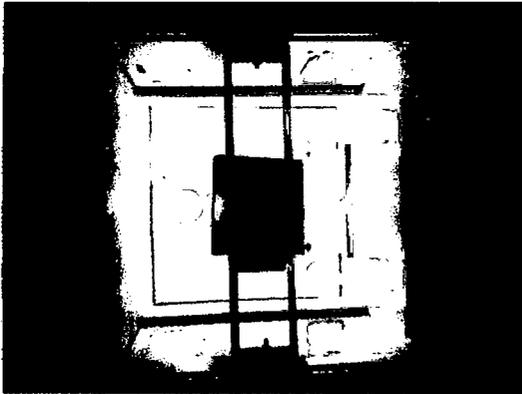


Fotografía 10. Horneado de los panes



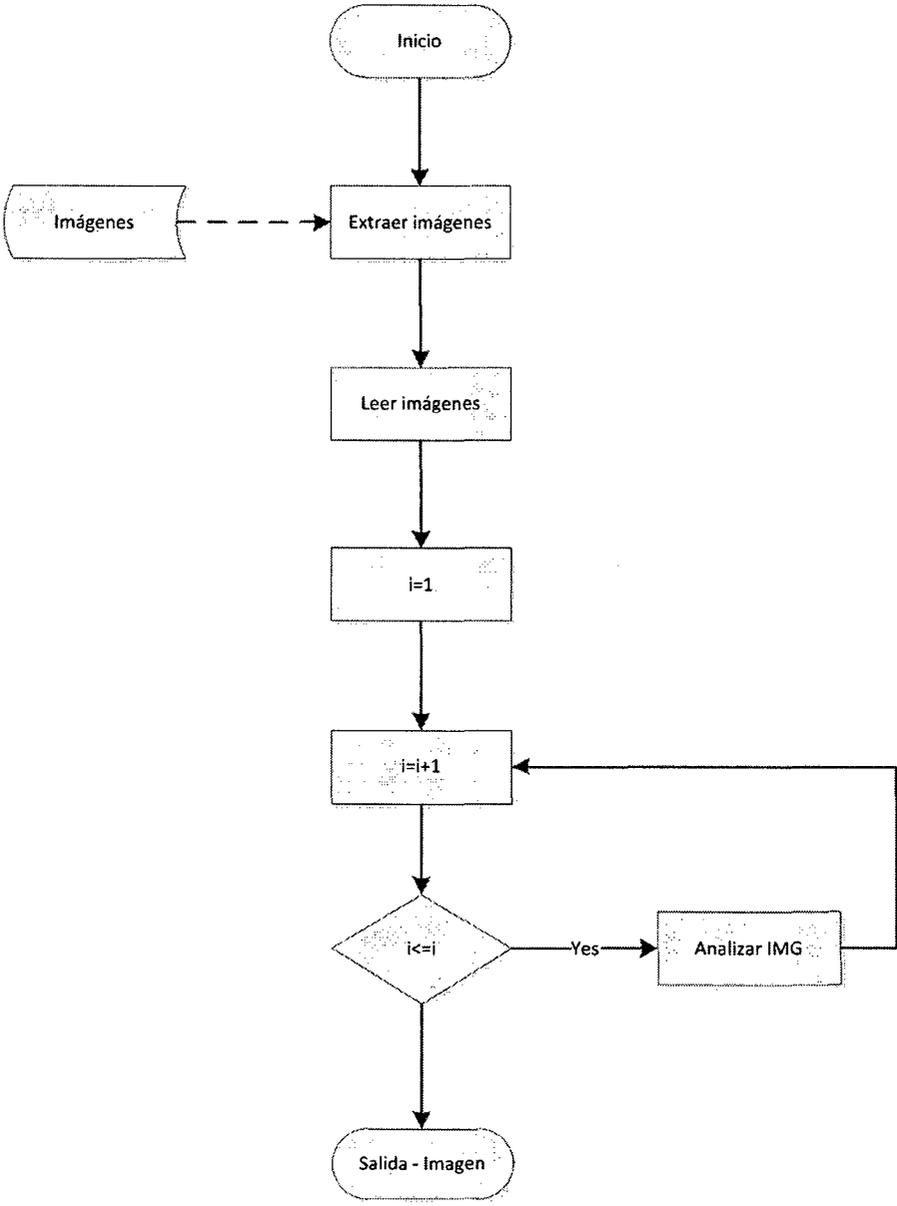
Fotografía 11. Obtención de panes horneados

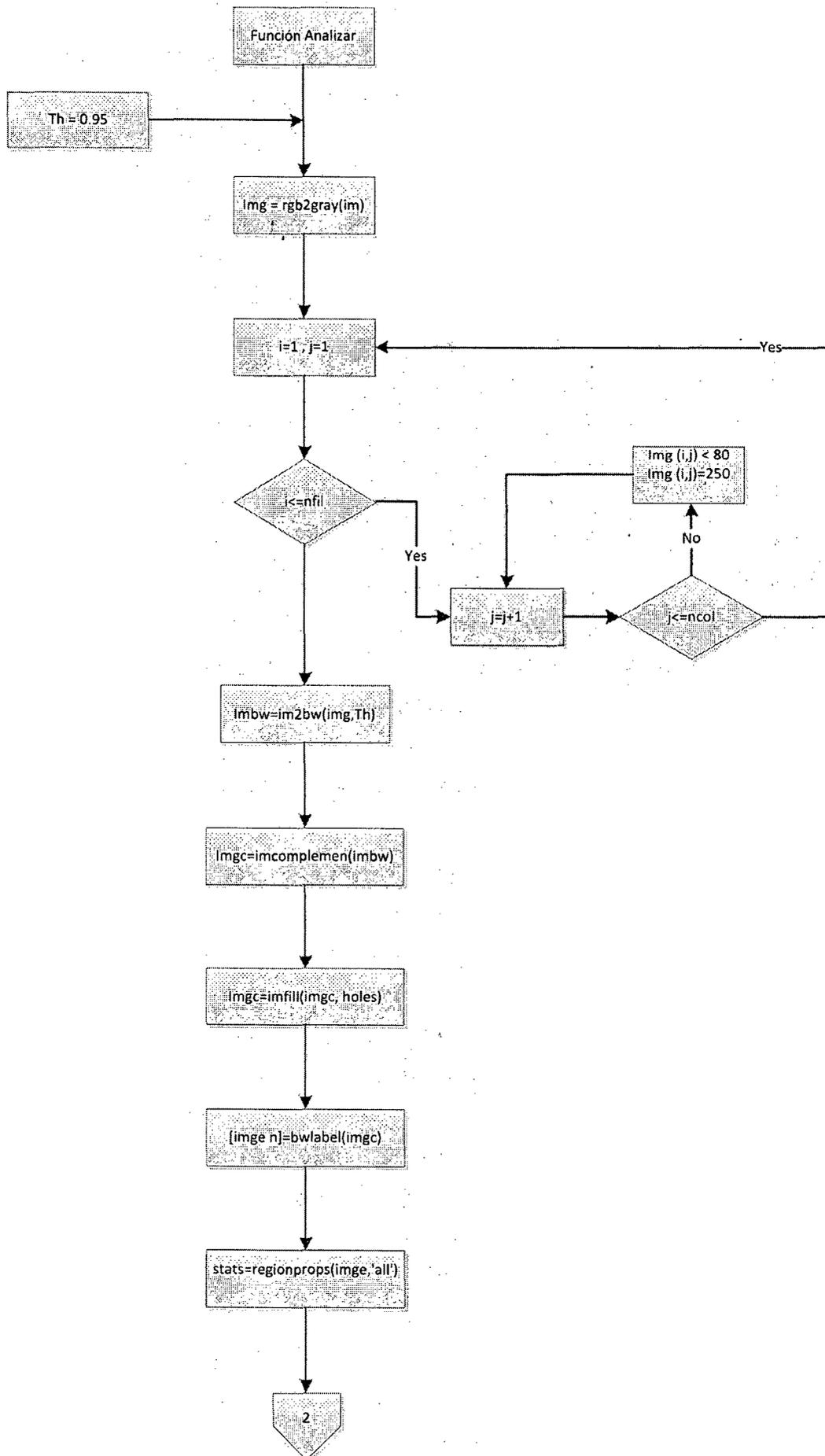
ANEXO 2. FOTOS DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

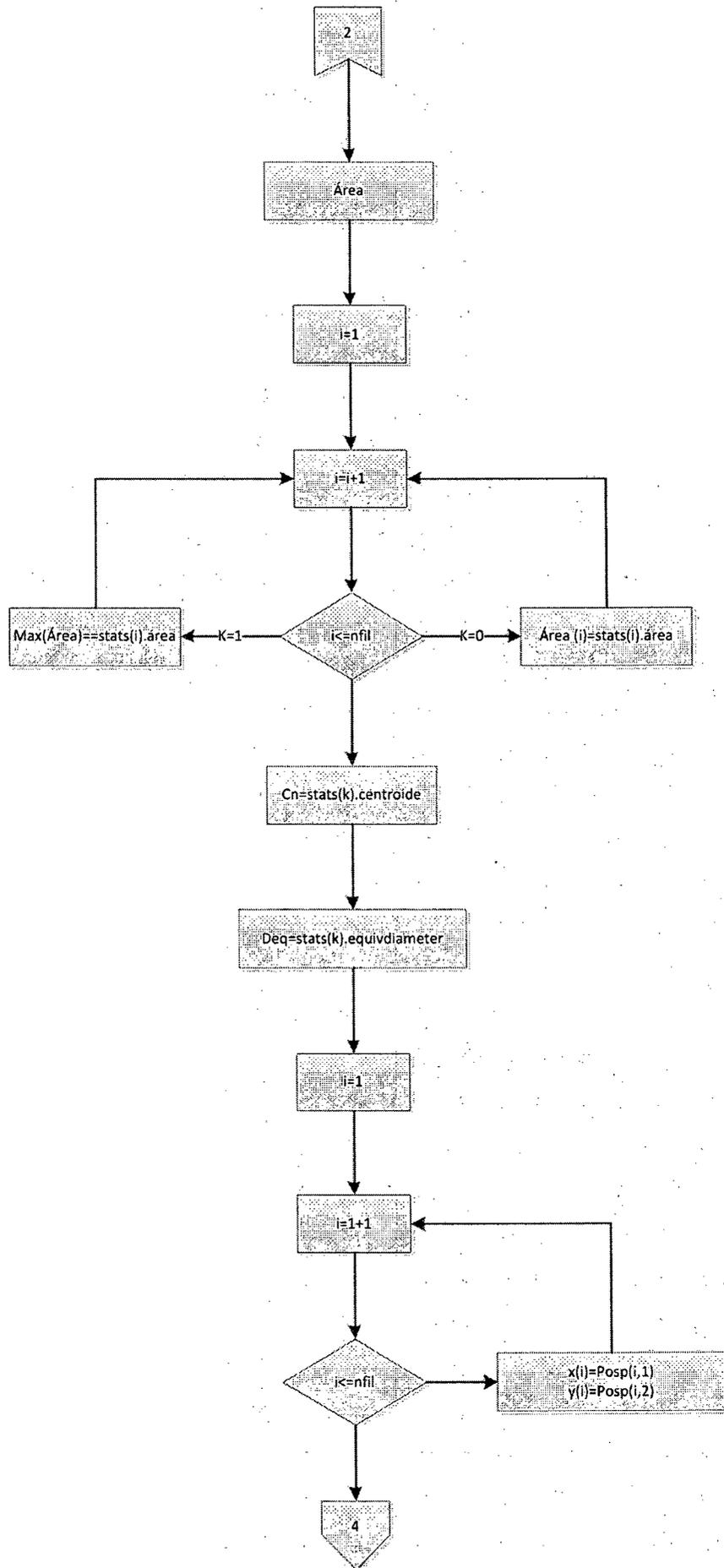


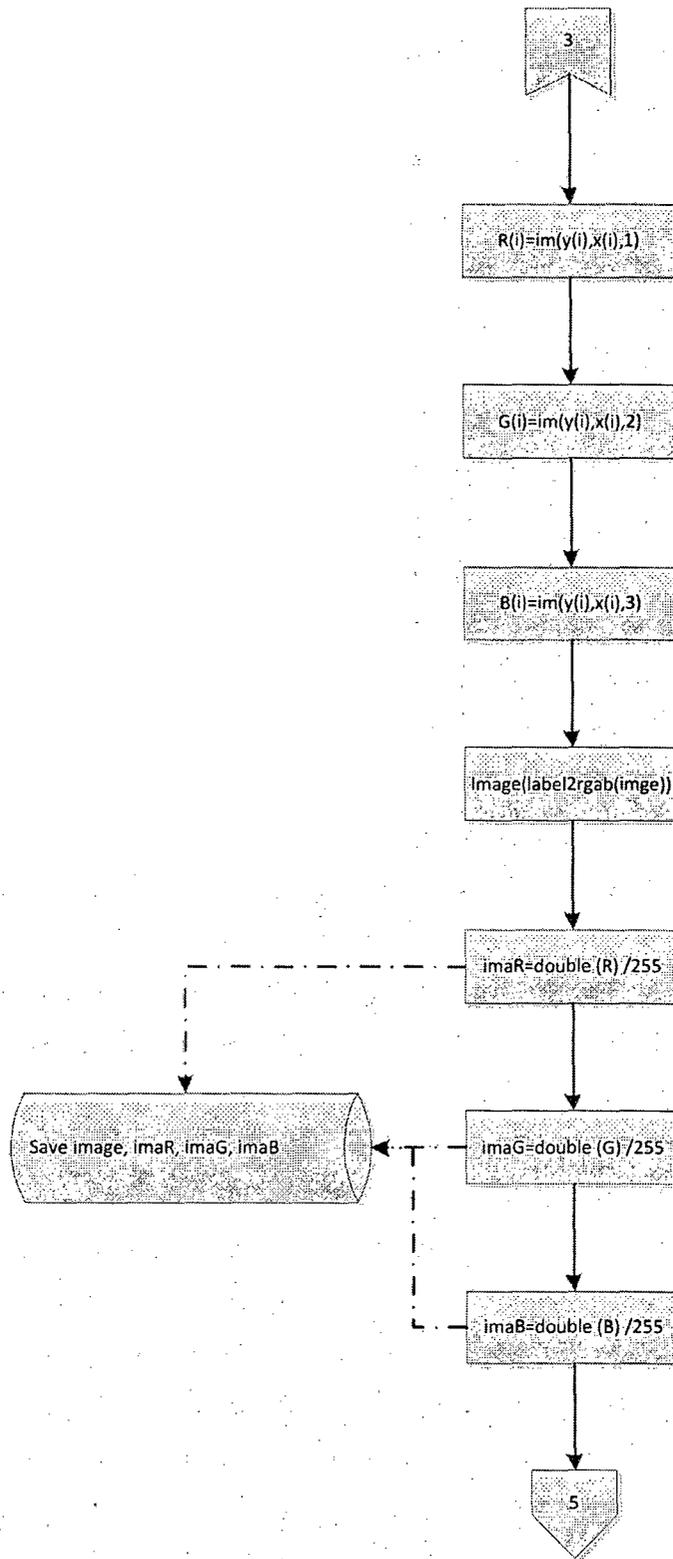
Fotografía 12. Sistema de adquisición de imágenes **Fotografía 13. Toma fotográfica**

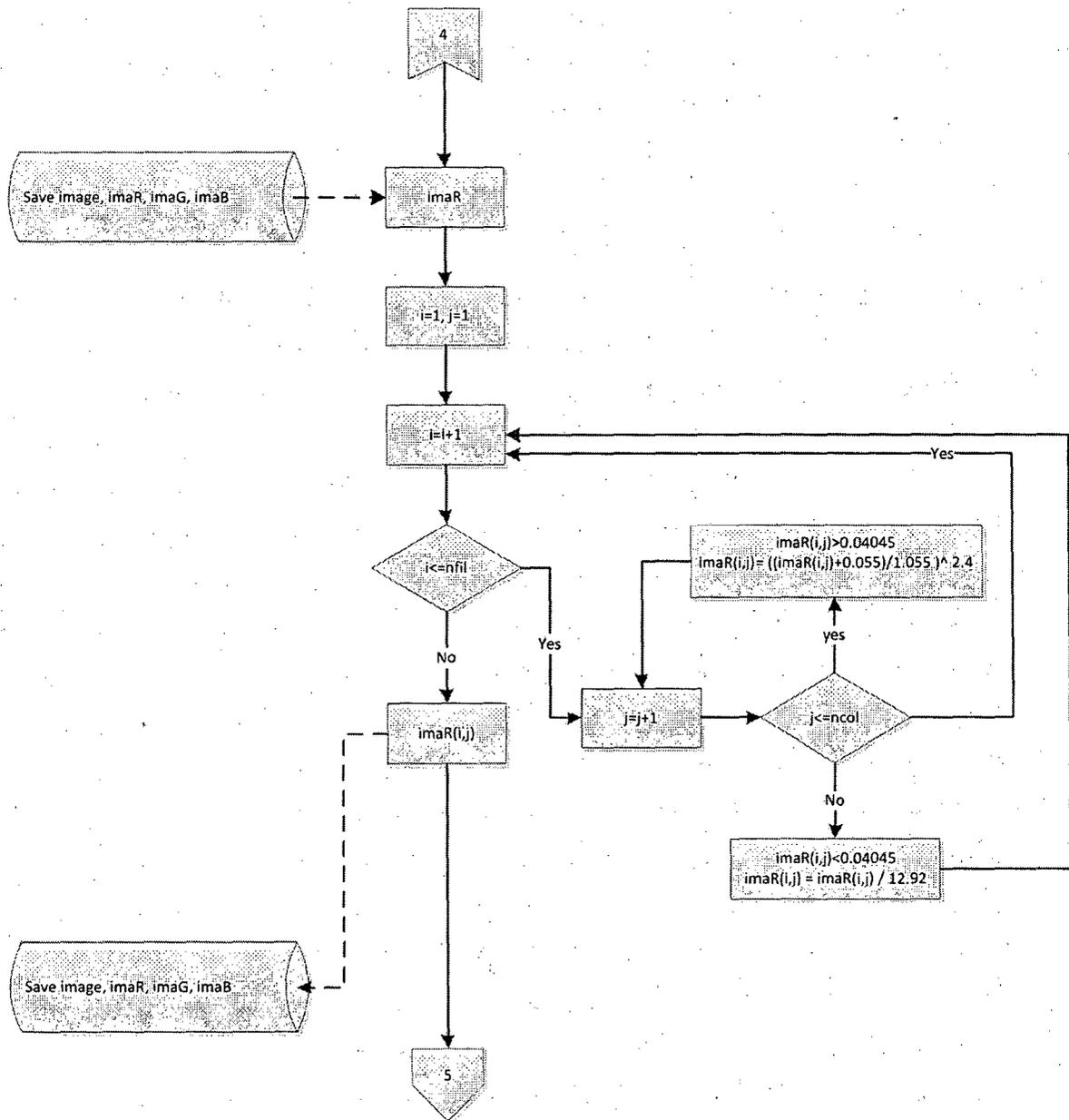
ANEXO 3. SECUENCIA LÓGICA DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES, A TRAVÉS DEL SOFTWARE MATLAB 2011B

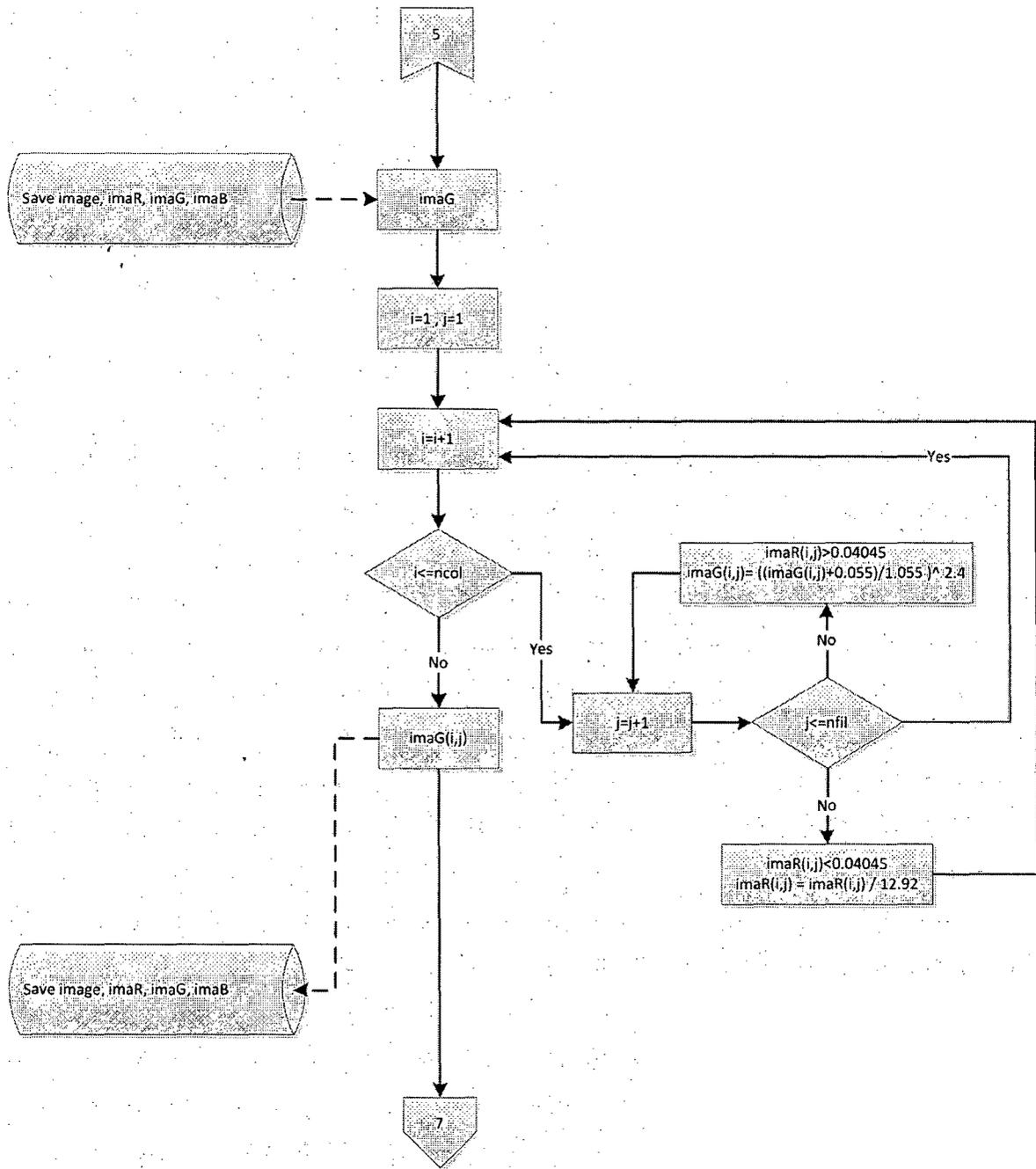


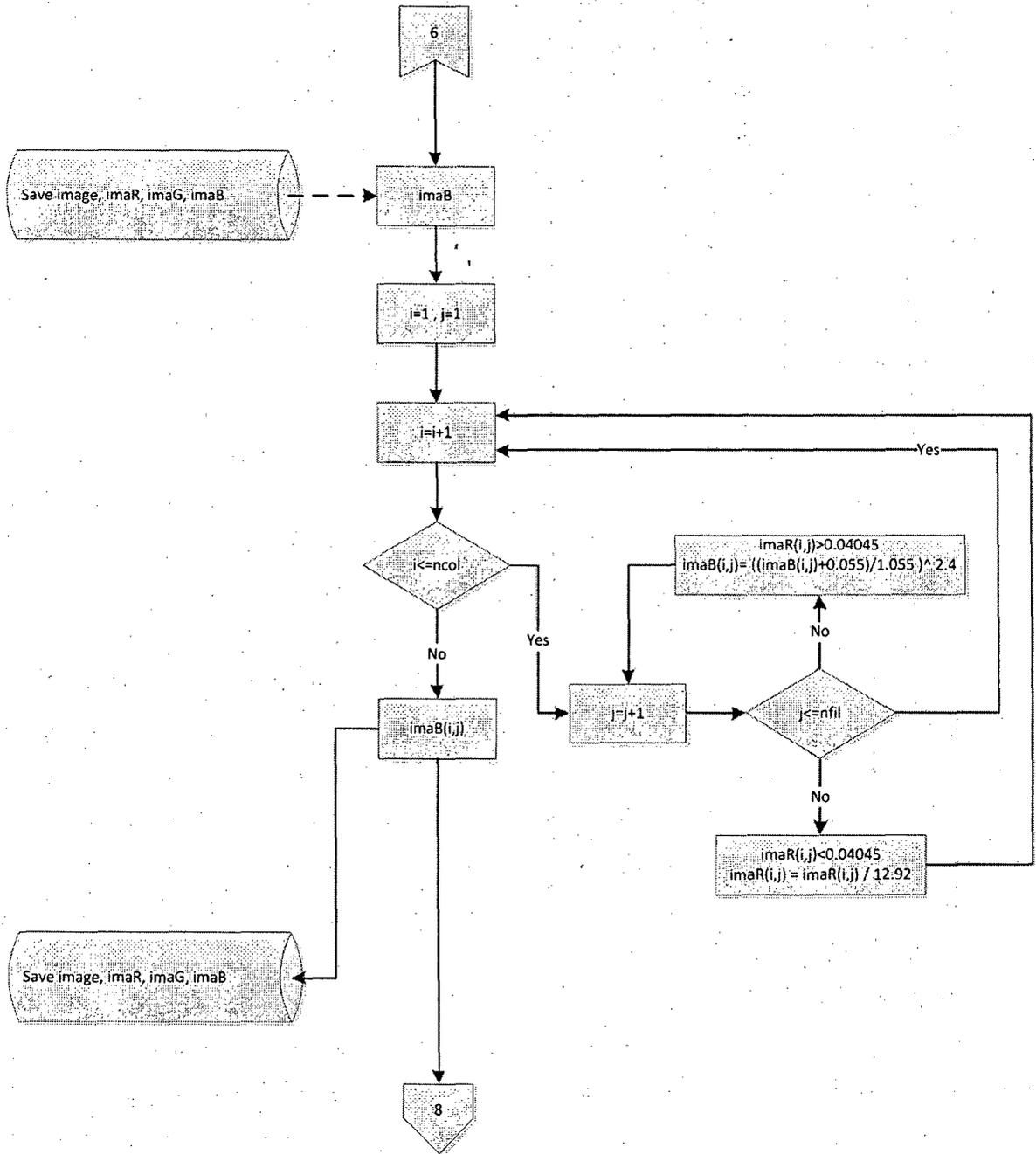


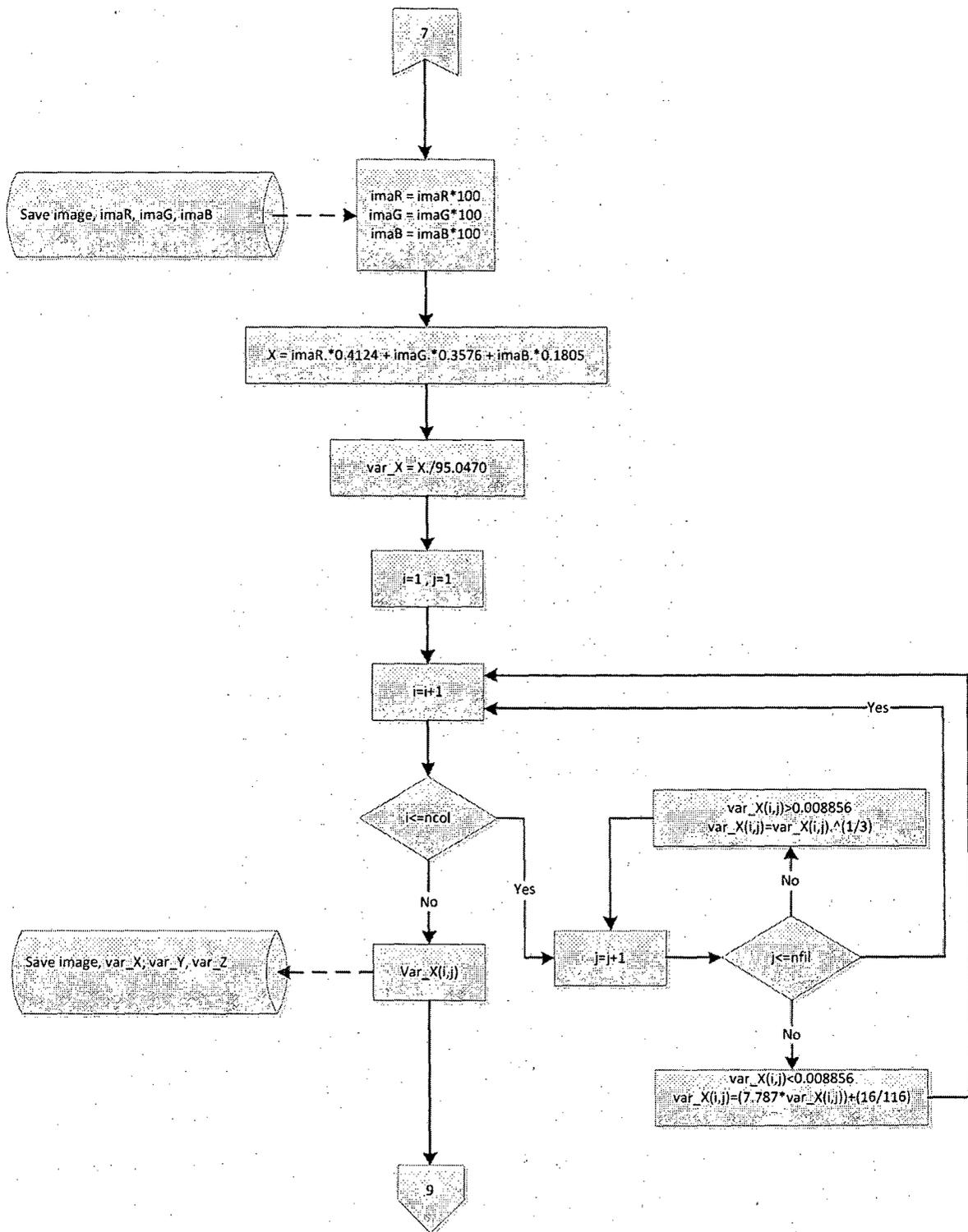


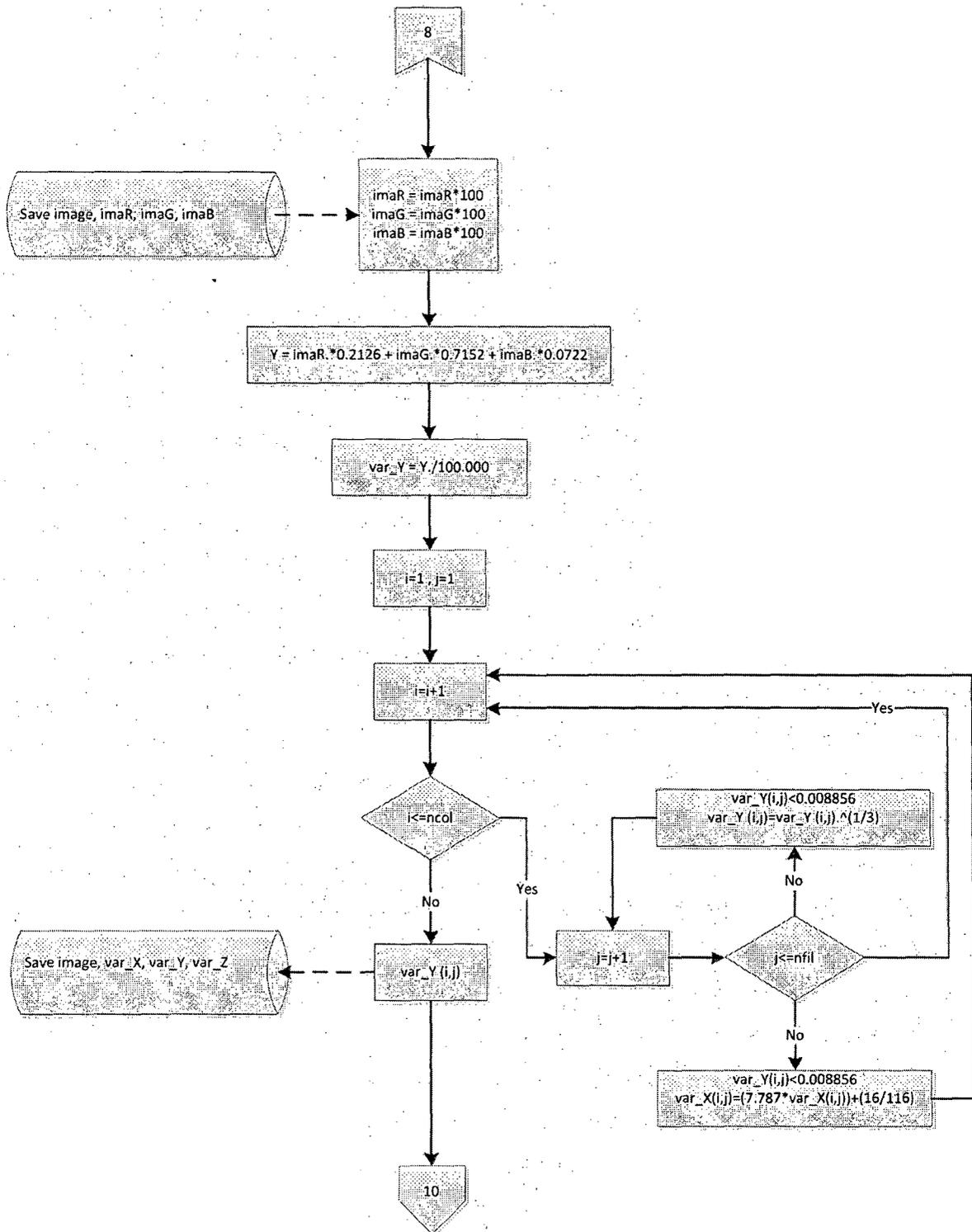


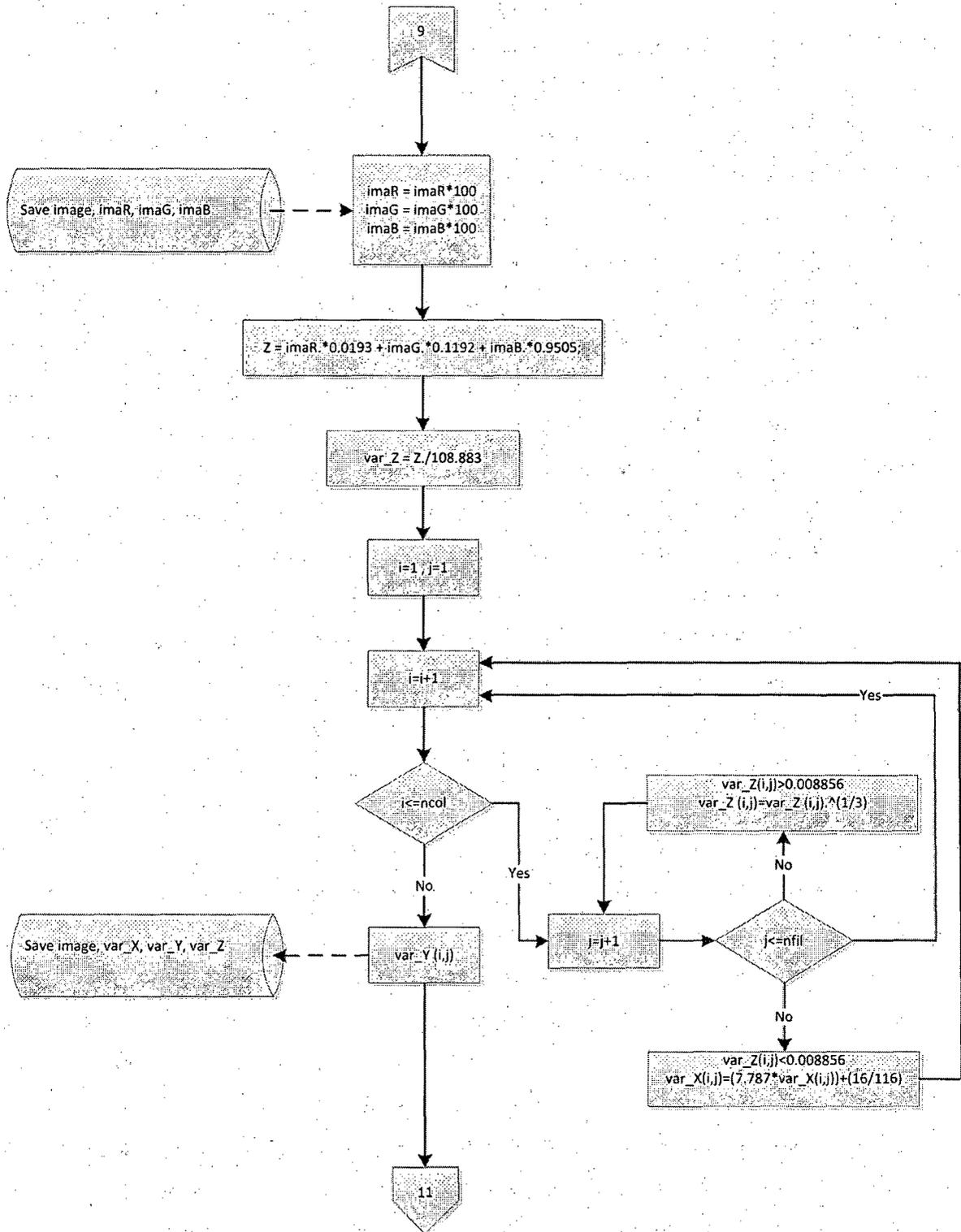


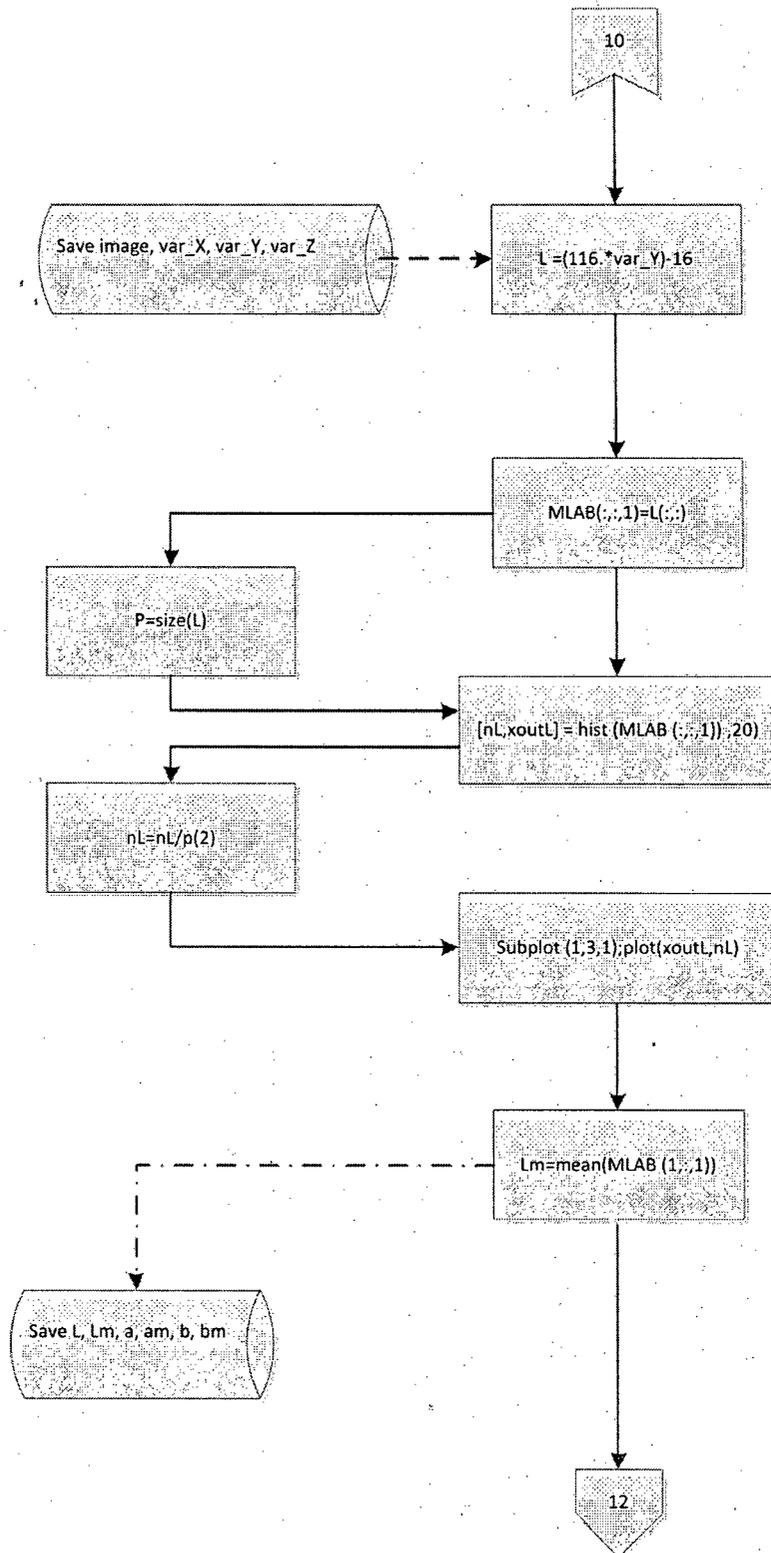


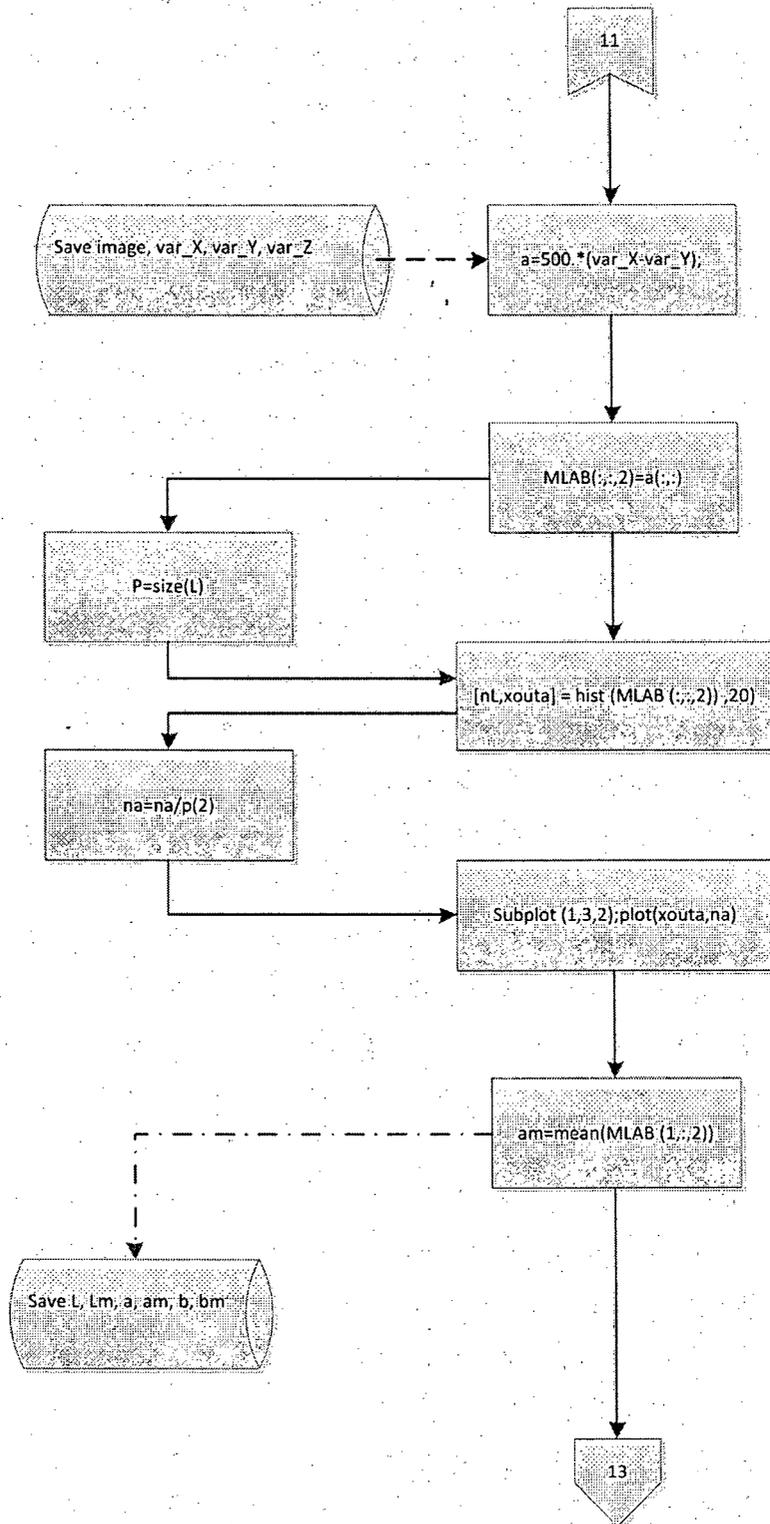


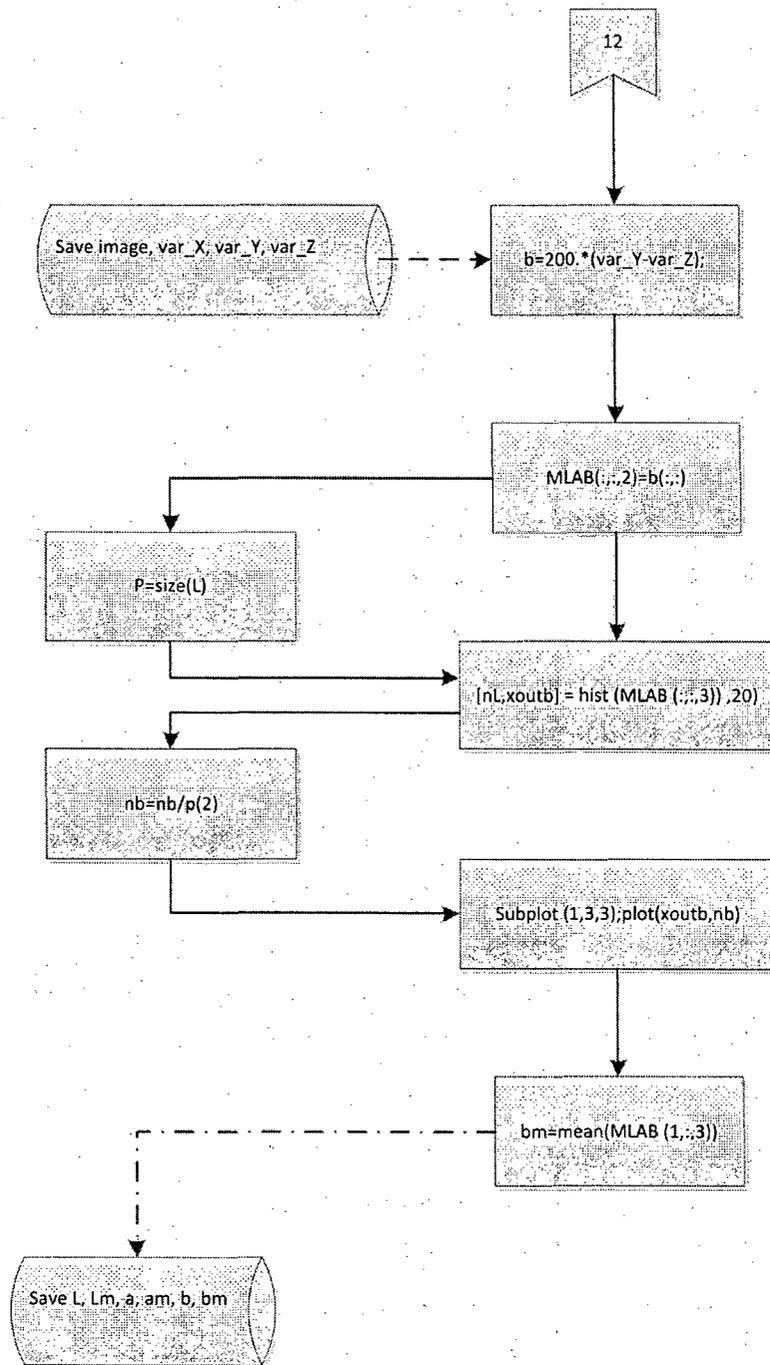












ANEXO 4. SECUENCIA LÓGICA DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES, A TRAVÉS DEL SOFTWARE MATLAB 2011B

Utilizando la función analizar

```
function analizar(im)  
Th=0.95;
```

Convertir a escala de grises

```
img=rgb2gray(im);
```

Determinando el tamaño de la imagen

```
[nfil ncol]=size(img);
```

Cambiando el color de fondo

```
for i=1:nfil  
    for j=1:ncol  
        if img(i,j)<80; % ojo con el limite inferior  
            img(i,j)=250;  
        end  
    end  
end  
imbw=im2bw(img,Th); %Corta de acuerdo a Th
```

Generando imagen complemento

```
imgc=imcomplement(imbw);
```

Imagen llenada, borrando huecos

```
imgc=imfill(imgc,'holes'); % etiquetando  
[imge n]=bwlabel(imgc);
```

Obteniendo información estadística

```
stats=regionprops(imge,'all'); % buscando área máxima
```

```
Area=zeros(1,n); % creando matriz de ceros  
for i=1:n
```

```

        Area(i)=stats(i).Area;
end
k=0;
for i=1:n
    if max(Area)==stats(i).Area
        k=i;
        break % paramos proceso
    end
end
end

```

Obteniendo el centroide

```
Cn=stats(k).Centroid;
```

Obteniendo el diámetro equivalente

```
Deq=stats(k).EquivDiameter;
```

```
hold on
```

```
plot(Cn(1),Cn(2),'*r')
```

```
hold off
```

Obteniendo información de posición de la imagen

```
PosP=stats(k).PixelList; %save PosP PosP
```

```
[nfil ncol]=size(PosP);
```

```
for i=1:nfil
```

```
    x(i)=PosP(i,1);
```

```
    y(i)=PosP(i,2);
```

Obteniendo valores de R, G, B; PosP(fila, Columna)

```
    R(i)=im(y(i),x(i),1);
```

```
    G(i)=im(y(i),x(i),2);
```

```
    B(i)=im(y(i),x(i),3);
```

```
end
```

Muestra la nueva imagen etiquetada

```
image(label2rgb(imge));
```

Grabar: R R; G G; B B

```
imaR= double(R)/255;
```

```
imaG= double(G)/255;
```

```
imaB= double(B)/255;
```

Determinando la dimensión de la matriz

```
[nfil ncol]=size(imaR);
```

```
for i=1:nfil
```

```
    for j=1:ncol
```

```
        if (imaR(i,j) > 0.04045 )
```

```
            imaR(i,j)= ((imaR(i,j)+0.055)/1.055 )^ 2.4;
```

```
        else
```

```
            imaR(i,j) = imaR(i,j) / 12.92;
```

```
        end
```

```
    end
```

```
end
```

```
for i=1:nfil
```

```
    for j=1:ncol
```

```
        if (imaG(i,j)>0.04045 )
```

```
            imaG(i,j)= ((imaG(i,j) + 0.055 )/1.055)^ 2.4;
```

```
        else
```

```
            imaG(i,j) = imaG(i,j) / 12.92;
```

```
        end
```

```
    end
```

```
end
```

```
for i=1:nfil
```

```
    for j=1:ncol
```

```
        if (imaB(i,j) > 0.04045 )
```

```
            imaB(i,j)= ((imaB(i,j) + 0.055 ) / 1.055 ) ^ 2.4;
```

```
        else
```

```
            imaB(i,j) = imaB(i,j) / 12.92;
```

```

        end
    end
end
imaR = imaR*100; imaG = imaG*100; imaB = imaB*100;

```

Transformando de RGB a XYZ, constantes para el Observador = 2°, Illuminant = D65

```

X = imaR.*0.4124 + imaG.*0.3576 + imaB.*0.1805;
Y = imaR.*0.2126 + imaG.*0.7152 + imaB.*0.0722;
Z = imaR.*0.0193 + imaG.*0.1192 + imaB.*0.9505;

```

Transformando de XYZ a Lab, usando Observador= 2°, Illuminant= D65

```

var_X = X./95.047;
var_Y = Y./100.000;
var_Z = Z./108.883;

```

Determinando la dimensión de la matriz

```

[nfil ncol]=size(var_X);

```

Determinando los valores de L*, a*, b*

```

for i=1:nfil
    for j=1:ncol
        if (var_X(i,j)>0.008856)
            var_X(i,j)=var_X(i,j).^(1/3);
        else
            var_X(i,j)=(7.787*var_X(i,j))+(16/116);
        end
    end
end
end

```

```

for i=1:nfil
    for j=1:ncol
        if (var_Y(i,j)>0.008856)
            var_Y(i,j)=var_Y(i,j).^(1/3);

```

```

        else
            var_Y(i,j)=(7.787*var_Y(i,j)+(16/116));
        end
    end
end

for i=1:nfil
    for j=1:ncol
        if (var_Z(i,j)>0.008856 )
            var_Z(i,j)=var_Z(i,j).^(1/3);
        else
            var_Z(i,j)=(7.787*var_Z(i,j)+(16/116));
        end
    end
end
end

```

Obteniendo valores de L*, a*,b*

```

L=(116.*var_Y)-16;
a=500.*(var_X-var_Y);
b=200.*(var_Y-var_Z);

```

Creando matriz MLAB con ceros

```

MLAB (1:nfil,1:ncol,1:3)=zeros;

```

Llenando los valores en las tres capas creadas con los valores obtenidos en lab

```

MLAB(:,,1)=L(:,,);
MLAB(:,,2)=a(:,,);
MLAB(:,,3)=b(:,,);

```

Obteniendo histogramas de los valores de L*, a*, b*

```

[nL xoutL]=hist(MLAB(:,,1),20);
[na xouta]=hist(MLAB(:,,2),20);
[nb xoutb]=hist(MLAB(:,,3),20);

```

Normalizando los valores de L*, a*, b*

```
nL=nL/p(2);
```

```
na=na/p(2);
```

```
nb=nb/p(2);
```

Graficando los valores de L*, a*, b*

```
figure;
```

```
subplot(1,3,1);plot(xoutL, nL);
```

```
subplot(1,3,2);plot(xouta, na);
```

```
subplot(1,3,3);plot(xoutL, nb);
```

Guardar los valores de L*, a*, b*

```
L=zeros(20,2);L(:,1)=xoutL;L(:,2)=nL;
```

```
a=zeros(20,2);a(:,1)=xouta;a(:,2)=na;
```

```
b=zeros(20,2);b(:,1)=xoutb;b(:,2)=nb;
```

Guardar los valores medios de Lm, am, bm

```
Lm=mean(MLAB(1, :, 1))
```

```
am=mean(MLAB(1, :, 2))
```

```
bm=mean(MLAB(1, :, 3))
```

```
save Lm Lm; save am am; save bm bm
```