

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA
HARINA DE TRIGO (*Triticum spp*) POR HARINA DE CHÍA (*Salvia
hispanica L.*) EN FUNCIÓN A LAS CARACTERÍSTICAS
SENSORIALES, FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL
PAN DE MOLDE

TESIS

Presentado por:

Bach. JOSÉ LUIS CÓRDOVA YUCRA

Para optar el título de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Tacna - Perú
2017

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA
HARINA DE TRIGO (*Triticum spp*) POR HARINA DE CHÍA (*Salvia
hispanica L.*) EN FUNCIÓN A LAS CARACTERÍSTICAS
SENSORIALES, FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL
PAN DE MOLDE

Tesis sustentada y aprobada el miércoles 26 de julio del 2017,
estando conformado el jurado calificador por:

Presidente : 
Dra. LILIANA DEL CARMEN LANCHIPA BERGAMINI

Secretario : 
Mgr. NICOLÁS GUILLERMO SEQUEIROS FLORES

Vocal : 
MSc. ROLANDO CÉSPEDES ROSSEL

Asesor : 
MSc. SAMUEL ROMÁN CERRO RUIZ

DEDICATORIA

A mis padres y hermana quienes guiaron mis pasos con mucho amor a lo largo de mi vida y me enseñaron a vencer cualquier obstáculo que se presente en el camino, demostrándome que con perseverancia puedo alcanzar mis sueños y anhelos.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida y permitir que pueda lograr cumplir con todas las metas que me he trazado.

A MSc. Samuel Cerro por el apoyo para alcanzar los objetivos planificados en esta tesis, y a todos los docentes de la Escuela de Ingeniería en Industrias Alimentarias que supieron brindar sus enseñanzas y contribuir positivamente con mi persona.

A todas aquellas personas que de una u otra manera me apoyaron en el ámbito profesional y personal; con sus conocimientos, consejos y experiencias que me sirvieron de mucho para seguir adelante.

ÍNDICE GENERAL

Página

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA.....	2
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Formulación y sistematización del problema	3
1.3 Delimitación de la investigación.....	4
1.4 Justificación	5
1.5 Limitaciones.....	6
1.6 Objetivos.....	6
CAPÍTULO II. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	8
2.1 Hipótesis general y específicas	8
2.2 Diagrama de variables	9
2.3 Indicadores de las variables	9
2.4 Operacionalización de variables	10
CAPÍTULO III. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	11
3.1 Conceptos generales y definiciones	11
3.1.1 La harina	11

3.1.2	El pan.....	12
3.1.3	El pan de molde	14
3.1.4	La concentración.....	15
3.2	Enfoques teórico- técnicos.....	16
3.2.1	Chía (<i>Salvia hispanica</i>)	16
3.2.2	Composición química de las semillas de chía.....	17
3.2.3	Los ácidos grasos Ω -3 en la salud	18
3.2.4	La harina de chía.....	20
3.2.5	Funcionalidad de las proteínas de la harina de trigo.....	22
3.2.6	Modelo de regresión.....	25
3.2.7	Método de la función de deseabilidad	26
3.2.8	Análisis sensorial.....	27
3.3	Marco referencial	28
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		30
4.1	Tipo de investigación	30
4.2	Población y muestra	30
4.3	Materiales y métodos.....	32
4.3.1	Método experimental.....	32
4.3.2	Materiales y equipos	36
4.3.3	Métodos de análisis.....	38
4.3.4	Análisis de datos	39

CAPÍTULO V. TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS.....	40
5.1 Resultados para el análisis sensorial.....	40
5.1.1 Color.....	41
5.1.2 Olor	45
5.1.3 Textura	47
5.1.4 Sabor.....	49
5.1.5 Apariencia	51
5.2 Resultados del análisis proximal.....	54
5.2.1 Resultados para el análisis físico	59
5.2.2 Optimización sensorial	62
5.3 Discusión de resultados.....	68
5.3.1 Aceptabilidad sensorial	68
5.3.2 Textura instrumental.....	69
5.3.3 Composición proximal	71
CONCLUSIONES	73
RECOMENDACIONES.....	74
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	75

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Diagrama de variables en estudio	9
Figura 2. Pan común.....	13
Figura 3.Semilla de la chía	17
Figura 4.Harina integral de chía.....	21
Figura 5. Diagrama de dispersión para los datos de resistencia a la tensión	26
Figura 6. Granos de chía molida.....	33
Figura 7. Análisis proximal de las muestras en estudio	34
Figura 8. Diseño procedimental para el estudio del pan de molde	35
Figura 9. Modelo cuadrático para la aceptabilidad del color	41
Figura 10. Color de la corteza y miga de los panes según las dosis de harina de chía añadida	43
Figura 11. Modelo cúbico para la aceptabilidad del color	44
Figura 12. Modelo cuadrático para la aceptabilidad del olor.....	46
Figura 13. Modelo cúbico para la aceptabilidad del olor	46
Figura 14. Modelo cuadrático para la aceptabilidad de la textura.....	48
Figura 15. Modelo cúbico para la aceptabilidad de la textura	48
Figura 16. Modelo cuadrático para la aceptabilidad del sabor	50

Figura 17. Modelo cúbico para la aceptabilidad del sabor	51
Figura 18. Modelo cuadrático para la aceptabilidad de la apariciencia.....	53
Figura 19. Modelo cúbico para la aceptabilidad de la apariciencia	53
Figura 20. Comparación de proteínas entre las muestras de pan y la harina de chía.....	55
Figura 21. Comparación de cenizas entre las muestras de pan y la harina de chía.....	56
Figura 22. Comparación de humedad entre las muestras de pan y la harina de chía.....	56
Figura 23. Comparación de lípidos entre las muestras de pan y la harina de chía.....	57
Figura 24. Comparación de carbohidratos entre las muestras de pan y la harina de chía.....	57
Figura 25. Comparación de lípidos entre las muestras de pan y la harina de chía.....	58
Figura 26. Comparación del valor calórico entre las muestras de pan y la harina de chía.....	59
Figura 27. Medición instrumental de la textura del pan.....	60
Figura 28. Modelo cuadrático para los datos de la textura instrumental.....	61

Figura 29. Optimización numérica para los atributos sensoriales del pan de molde con harina de chía según modelos y función de deseabilidad.....	63
Figura 30. Medición de la textura en corteza y miga del pan de molde con 11,7% de harina de Chía	64
Figura 31. Perfil de los atributos sensoriales comparativos entre la muestra óptima y las muestras comerciales de pan de molde	65
Figura 32. Flujo definitivo en la elaboración de pan de molde con adición de harina de chía	67

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Operacionalización para las variables en estudio	10
Tabla 2. Energía y composición centesimal correspondiente a diversos granos	18
Tabla 3. Nomenclatura de los ácidos grasos	20
Tabla 4. Información nutricional de la harina de Chía por 100 g.....	21
Tabla 5. Clasificación de las proteínas de la harina del trigo con base en su funcionalidad.	23
Tabla 6. Proteínas presentes en las fracciones de Osborne	24
Tabla 7. Niveles codificados y reales de la variable independiente	31
Tabla 8. Resultados del análisis sensorial de aceptabilidad de los panes de molde con adición de harina de Chía	40
Tabla 9. Resultados del análisis proximal de los panes de molde con adición de harina de Chía	55
Tabla 10. Resultados del análisis físico de los panes de molde con adición de harina de Chía.....	60
Tabla 11. Medición de la textura de corteza y miga del pan de molde óptimo	64
Tabla 12. Cuadro comparativo de la composición próxima entre el pan óptimo y un pan blanco de molde comercial	66

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar del porcentaje óptimo de sustitución de harina de trigo por harina de chía (*Salvia hispanica* L.) en función a las características sensoriales, físicas y químicas del pan de molde. La población fueron las unidades de pan con determinada dosis de harina de chía; con el diseño de un solo factor con 5 tratamientos. Se ajustaron modelos y evaluaron por análisis de regresión. Se concluyó que la influencia de la harina de chía no fue significativa sobre el color y textura calificando entre “me gusta moderadamente” y “me gusta mucho”. Fue significativo para el olor y el sabor. La influencia sobre la composición proximal y valor calórico del pan molde resulto un pan funcional con riqueza en fibra soluble (4,86 %) confiriendo al pan características funcionales. La la textura física resulto significativa con una relación directa entre la harina chía y la presión de textura en un rango de 1,74 kg/cm² hasta 2,13 kg/cm². Finalmente la concentración óptima de harina de chía es de 11,96 %; y producen un pan de molde con: proteínas 12,25 %; lípidos 6,38 %; carbohidratos 43,03 %; humedad 34,98 %; cenizas 1,76 %; fibra cruda 1,62 % con 278,58 kcal, con un valor de 2,021 kg/cm² de presión en textura.

Palabras clave: harina de chía, pan funcional, presión de textura.

ABSTRACT

The objective of the research was to determine the optimal percentage of substitution of wheat flour for chia flour (*Salvia hispanica* L.) according to the sensory, physical and chemical characteristics of the mold bread. The population were bread units with a certain dose of chia flour; with the design of a single factor with 5 treatments. Models were adjusted and evaluated by regression analysis. It was concluded that the influence of the chia flour was not significant on the color and texture, qualifying between "I like moderately" and "I like it a lot". It was significant for the smell and taste. The influence on the proximal composition and caloric value of the bread mold resulted in a functional bread with richness in soluble fiber (4,86 %), giving the bread functional characteristics. The physical texture was significant with a direct relationship between chia flour and texture pressure in a range of 1,74 kg / cm² to 2,13 kg / cm². Finally, the optimum concentration of chia flour is 11,96 %; and they produce a bread mold with: 12,25 % proteins; lipids 6,38 %; 43,03 % carbohydrates; humidity 34,98 %; ashes 1,76 %; raw fiber 1,62 % with 278,58 kcal, with a value of 2,021 kg / cm² of texture pressure.

Key words: chia flour, functional bread, texture pressure.

INTRODUCCIÓN

El pan ha ocupado un papel importante en su alimentación, en muchos casos básico. Pero la tendencia actual según Alija y Col, (2008) de utilizar los productos de panificación como el pan, para enriquecer su composición hace que se le considere como un producto nutritivo, según se le incluya algún ingrediente o componente especial en su elaboración, con fuentes que tienen efectos positivos importantes en la salud en virtud de sus propiedades biológicas.

Asimismo, Ramírez *et al.* (2008) destacan que la chía (*Salvia hispanica* L.) ha demostrado ser un excelente ingrediente en alimentos horneados, enriqueciéndolos con fibra dietaria soluble e insoluble y omega.

Además, la European Food Information Council (2010), afirma que la reformulación de alimentos no consiste simplemente en eliminar o sustituir un ingrediente de una receta, sino que aparte de mejorar de forma significativa las propiedades nutricionales del producto alimentario en cuestión, también se debe tomar en cuenta si los consumidores no están dispuestos a aceptar cambios en las cualidades típicas del producto.

CAPÍTULO I.

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Actualmente se están realizando diversos estudios relacionados a la elaboración o producción de harinas compuestas. La harina compuesta se refiere a cualquier mezcla de dos o más harinas de cereales, leguminosas, tubérculos con diferentes fines. Entre los productos desarrollados con harinas compuestas, destacan los horneados; en especial el pan, donde la función de la panificación es presentar la harina de trigo en una forma atractiva, palatable y digerible (Aguado, 2002).

En la actualidad, las modernas técnicas industriales han permitido la presencia en el mercado y la aceptación creciente por parte del consumidor de un tipo de pan, diferente del tradicional que, por llevar distintas cantidades de grasa, es más palatable, más blando y menos perecedero, conservándose en buen estado durante más tiempo: el pan de molde. Además, se trata de un producto que ofrece una gran variedad de formatos, lo cual le permite llegar a más sectores de la sociedad (Hernando, 2012).

Por tanto, el presente trabajo de investigación pretende evaluar la sustitución parcial de harina de trigo por harina de chía en la elaboración de pan de molde y conocer su influencia en las características sensoriales, físicas y químicas, y así establecer la dosis optima de sustitución que permitirá aprovechar las cualidades benéficas de la chía a través de un producto de consumo masivo como es el pan de molde.

1.2 Formulación y sistematización del problema

Problema general:

¿Cuál será la influencia de la sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum spp*) por harina de chía (*Salvia hispanica* L.) sobre las características sensoriales, físicas y químicas del pan de molde?

Problemas específicos:

- ¿Cuál será la influencia del porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina de chía sobre las características sensoriales del pan de molde?
- ¿Cuál será la influencia del porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina de chía sobre las características físicas del pan de molde?

- ¿Cuál será la influencia del porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina de chía sobre las características químicas del pan de molde?
- ¿Cuál será el porcentaje óptimo de sustitución de harina de trigo por harina de chía en el pan de molde en función a las características sensoriales aplicando la función deseada?

1.3 Delimitación de la investigación

- a) Temporal: La ejecución de la investigación abarcará el periodo del año 2016-2017 aproximadamente.
- b) Espacial: Para la elaboración de los tratamientos se hará uso de semillas de chía de la variedad negra producidas en el departamento de Cusco y adquiridas en el mercado de abastos de la ciudad de Tacna, luego se sometió a molienda para obtener la harina y se ejecutó a nivel planta piloto en los ambientes de la panadería Inversiones LUMATAC. Los análisis se realizaron en los laboratorios de Análisis de alimentos de la ESIA-UNJBG.
- c) Teórica: Se investigó el proceso de elaboración del pan de molde con adición de harina de chía, a través de características sensoriales, físicas y químicas en unidades de muestra de pan de molde de 1kg. No se harán estudios de las características agronómicas,

edafoclimáticas, reológicas ni componentes funcionales como los omegas y fibra dietaría.

1.4 Justificación

Actualmente los constantes cambios en ciencia y tecnología de nuestro país han obligado a la industria a implementar alimentos enriquecidos y con un alto contenido nutricional.

La sustitución de la harina de trigo por harina de chía en el pan implica determinar la dosis óptima que resulté para el pan de molde, sin alterar significativamente sus cualidades y/o perjudiqué sus características sensoriales y que permita ofrecer un producto panificable, aprovechando los altos índices nutricionales que posee la chía.

Recientemente se observa una inclinación por alimentos novedosos, pero sobre todo naturales. Es por esto por lo que la sociedad está cambiando sus costumbres alimenticias, y no solo consumen alimentos tradicionales, sino que buscan aquellos que brinden una mayor cantidad de nutrientes para mantenerse saludables.

Por ello se propuso diseñar un pan a través del uso de la harina integral de chía como aditivo en el pan, buscando un producto novedoso y agradable para el consumidor; y así aportando conocimiento tecnológico sobre cómo aprovechar las cualidades nutricionales de la chía mediante su consumo como pan de molde.

1.5 Limitaciones

No se presentaron mayores problemas para los análisis ejecutados. Asimismo, con respecto a la naturaleza de la investigación y la aplicación de los métodos estadísticos se cuenta con la bibliografía necesaria para su aplicación.

1.6 Objetivos

Objetivo general

Determinar el porcentaje óptimo de sustitución de harina de trigo por harina de chía (*Salvia hispanica* L.) en función a las características sensoriales, física y químicas del pan de molde.

Objetivos específicos

- Analizar la influencia del porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina de chía sobre las características sensoriales del pan de molde.

- Analizar la influencia del porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina de chía sobre la composición proximal y valor calórico del pan de molde.
- Estudiar la influencia del porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina de chía sobre la característica física de textura del pan de molde.
- Establecer el porcentaje óptimo de sustitución de la harina de trigo por harina de chía para la elaboración del pan de molde aplicando el método de la función deseada.

CAPÍTULO II.

HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1 Hipótesis general y específicas

Hipótesis general

La sustitución parcial de harina de trigo por harina de chía (*Salvia hispanica* L.) influirá en las características sensoriales, físicas y químicas del pan de molde.

Hipótesis específicas

- La sustitución parcial de harina de trigo por harina de chía influirá sobre las características sensoriales del pan de molde.
- La sustitución parcial de harina de trigo por harina de chía influirá sobre la composición proximal y valor calórico del pan de molde.
- La sustitución parcial de harina de trigo por harina de chía influirá sobre las características físicas del pan de molde.
- El método de la función deseada permitirá establecer el porcentaje óptimo de sustitución de harina de trigo por harina de chía en el pan de molde.

2.2 Diagrama de variables

La Figura 1 muestra a la variable harina de chía (independiente) y su relación causa-efecto con las variables a medir (dependientes).

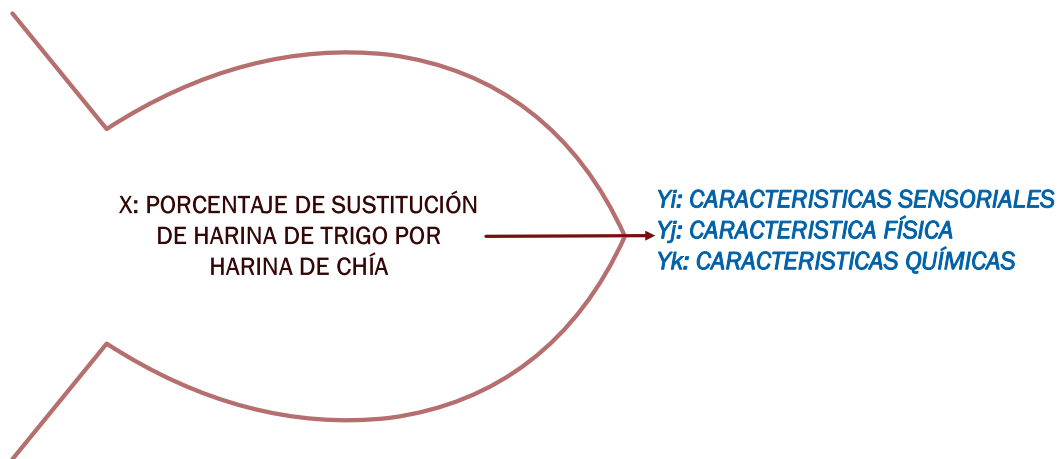


Figura 1. Diagrama de variables en estudio
Fuente: Elaboración propia (2017)

2.3 Indicadores de las variables

a) Variables independientes:

X1: Porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina de chía.

b) Variables dependientes:

Yi: Características sensoriales: el color, olor, textura, sabor y apariencia general, con ayuda de escala hedónica del 1 al 9.

Yj: Característica física: textura (kg/cm²).

Yk: Características químicas: proteínas, lípidos, carbohidratos, humedad, cenizas, fibra y valor calórico.

2.4 Operacionalización de variables

El Tabla 1, muestra cómo serán operacionalizadas las variables a medir (indicador) y el instrumento utilizado para su medición.

Tabla 1. Operacionalización para las variables en estudio

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicador (es)	Instrumento
Independiente				
X: Harina de chía	La harina de chía es el resultado de la molturación, su utilidad es más funcional y digestiva	Son las dosis de harina de chía dosificadas según diseño escogido	Porcentaje de harina integral de chía	balanza
Dependientes				
Yi: Características sensoriales	Se refieren al conjunto de estímulos que interactúan con los receptores de los órganos de los sentidos.	Atributos percibidos según el test hedónico o aceptabilidad	- Color - Apariencia - Olor - Sabor - Textura	Escala hedónica
Yk: Característica física: Textura	Manifestación de las propiedades reológicas de un alimento	Medida de fuerza de la textura o resistencia al corte	- Presión de corte	Texturómetro
Yj: Características químicas: Composición proximal y calórica	La composición de los alimentos se refiere a la cantidad de nutrientes que lo componen y su valor energético, que se expresa en calorías.	Son los principales macronutrientes que se determinaran en los diferentes tratamientos (pan de molde)	- Proteínas - Lípidos - Carbohidratos - Humedad - Cenizas - Fibra cruda. - Valor calórico	Instrumental fisicoquímico Computo

Fuente: elaboración propia (2016)

CAPÍTULO III.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 Conceptos generales y definiciones

3.1.1 La harina

La harina de trigo blanca proviene del endosperma del grano. La composición química respecto del grano varía durante el proceso de molienda y la modificación más importante que se produce es la disminución del contenido proteico y un aumento en la concentración del almidón (Hoseney 1994).

La composición en base seca de una harina es aproximadamente un 70% de almidón, 9-18% de proteínas, 2% de lípidos y 2,5% de polisacáridos no almidonosos. Las harinas de trigo y en menor grado las de centeno son las únicas que resultan panificables. Las propiedades únicas de la harina de trigo de formar una masa viscoelástica al ser mezclada con agua se deben a las características de las proteínas, gliadinas y gluteninas, presentes en el grano (Shewry *et al.*, 2002).

Estas proteínas pueden absorber prácticamente dos veces su peso en agua y constituir una red deformable, elástica y extensible capaz de retener CO₂ durante la fermentación y posterior cocción. Por lo tanto, la calidad de la harina de trigo está determinada principalmente por la estructura molecular de las proteínas presentes, y de ellas dependen las interacciones que se establecen durante la panificación. En el amasado se producen numerosas interacciones, no sólo entre las proteínas y el agua para formar la red de gluten sino también interacciones con otros componentes presentes en la harina: almidón, polisacáridos no almidonosos (arabinosilanos, arabinogalactanos) y lípidos (neutros y polares: fosfo y glicolípidos) (Lee *et al.*, 2001). De todas las interacciones que se establecen resulta luego de la cocción un producto con características únicas, el pan.

3.1.2 El pan

El pan (Figura 2), es el producto perecedero resultante de la cocción de una masa obtenida por la mezcla de harina de trigo, sal comestible y agua potable, fermentada por especies de microorganismos propios de la fermentación panaria, como el *Saccharomyces cerevisiae* (Mesas y Alegre, 2002).

Es a partir de esta definición que se establecen dos categorías de productos: pan común y pan especial, definidos a continuación:

Pan Común: Es el elaborado con harina de trigo y al que solo se le pueden añadir los coadyuvantes tecnológicos y aditivos autorizados para ese tipo de pan. Las materias primas harina, agua, levadura y sal cumplirán con lo dispuesto en sus Reglamentaciones Técnico-Sanitarias de cada país.



Figura 2. Pan común

Fuente: <http://amasandoyescudillando.blogspot.pe/2015/12/pan-comun.html>

La quiwicha, la cañihua, el zapallo loche, el ají amarillo, la chicha de jora, el garbanzo, el huacatay y una gran variedad de papas nativas vienen marcando la tendencia de las nuevas creaciones gastronómicas en cuanto a elaboración de panes artesanales se trata. Estos insumos regionales vienen siendo utilizados como ingredientes principales en la cocina de Alta Panadería de un hotel cinco estrellas en Machu Picchu. Hasta el momento es un concepto nuevo en nuestro país (Panes peruanos, 2016).

La elaboración artesanal de panes basados en productos naturales y en la preparación de sus propios fermentos, recibe el nombre de Alta Panadería. Al no intervenir ningún químico en su proceso, el producto final es más saludable y de mejor sabor. En Francia e Italia, los productos de alta panadería son muy conocidos. Pero en el Perú solo se encuentran en el hotel Sumaq Machu Picchu ubicado en Aguas Calientes. Ahí podrán encontrar hasta 30 variedades de panes como los creativos panes de papa con hierbas andinas y el Campesino de tomillo y almendras. Estos originales panes son elaborados en base a un método artesanal exclusivamente creados por el hotel. La masa preparada es colocada en un horno de barro., el cual es calentado por la ardiente leña que a su vez es alimentado por el aire de los sopletes (Panes peruanos, 2016).

3.1.3 El pan de molde

Los productos de panadería, y, por lo tanto, el pan de molde, son una parte importante de una dieta equilibrada y, hoy por hoy, podemos encontrar una amplia variedad de estos productos en los supermercados. Sin embargo, al igual que muchos otros alimentos procesados, están sujetos al deterioro (Hernando, 2012).

Un aspecto diferencial entre el pan tradicional y el pan de molde es que a éste se le añade grasa para conferirle sus especiales características organolépticas, incrementando su capacidad energética (274 kcal/100 g). Este hecho, junto con otros factores internos y externos interrelacionados, como temperatura de almacenamiento, humedad relativa, cantidad de conservantes, pH, material de envasado y las más importantes, la humedad del orden de 38% (Tejero, 2011), y la actividad de agua (a_w), tienen como consecuencia negativa el deterioro de este producto, el cual puede ser físico (endurecimiento), químico (enranciamiento) y/o microbiológico (mohos) (Smith et al., 2004).

3.1.4 La concentración

La concentración es una medida de la cantidad de una sustancia contenida en un volumen unidad. Puede expresarse como peso por unidad de peso o como peso por unidad de volumen, siendo habitual en el primer caso que la concentración se exprese en % en peso. Así expresado, un alimento con un 20% de grasa contiene 20 g de grasa por cada 100 g de alimento. También puede expresarse como masa por unidad de volumen; por ejemplo, masa de soluto disuelto por unidad de volumen de disolución (Sing & Heldman, 2001).

3.2 Enfoques teórico- técnicos

3.2.1 Chía (*Salvia hispanica*)

Es una planta anual, de hasta 1 m de altura; presenta hojas opuestas, de 4 a 8 cm de largo y 3 a 5 cm de ancho. Las flores son hermafroditas, purpúreas a blancas, y aparecen en ramilletes terminales; florece entre julio y agosto en el hemisferio norte. Al cabo del verano, las flores dan lugar a un fruto en forma de aqueno indehisciente. La semilla es rica en mucílago, fécula y aceite; tiene unos 2 mm de largo por 1,5 de ancho, y es ovalada y lustrosa, de color pardo grisáceo a rojizo. Según Guiotto (2014) la clasificación taxonómica de la chía (*Salvia hispanica* L.) es la siguiente:

- Reino: Vegetal o Plantae
- División: Magnoliophyta o Angiospermae
- Clase: Magnoliopsida o Dicotyledoneae
- Orden: Lamiales
- Familia: Lamiaceae
- Subfamilia: Nepetoideae
- Tribu: Mentheae
- Género: *Salvia*
- Especie: *hispanica*

El fruto (Figura 3), al igual que otras especies de la familia Lamiaceae, es típicamente semillas monospermas, ovales, suaves y brillantes, de

color pardo grisáceo con manchas irregulares marrones en su mayoría y algunos blancos (Ayerza y Coates, 2005).



Figura 3. Semilla de la chía

Fuente: <http://www.siliciumg5.com/es/tienda-online/31-orgono-semillas-de-chia-500g-0094922155757.html>

3.2.2 Composición química de las semillas de chía

La Tabla 2, muestra la composición de las semillas de chía y la correspondiente a los cinco cereales de mayor importancia a nivel mundial (arroz, cebada, avena, trigo, maíz). En la misma, puede observarse que el contenido de proteínas, lípidos y fibra, así como la energía aportada por la semilla de chía son mayores que los presentes en los demás granos. La chía es conocida principalmente como una importante fuente de ácidos grasos esenciales Ω -3, además aporta elevados niveles de fibra dietética, compuestos fenólicos, proteínas, minerales y vitaminas liposolubles como A, D, E y K (Capitani, 2013).

Tabla 2. Energía y composición centesimal correspondiente a diversos granos

Grano	Energía kcal/100g	Proteínas	Lípidos	Carbohidratos	Fibra	Cenizas
Arroz ¹	358	6,5	0,5	79,1	2,8	0,5
Cebada ¹	354	12,5	2,3	73,5	17,3	2,3
Avena ¹	389	16,9	6,9	66,3	10,6	1,7
Trigo ¹	339	13,7	2,5	71,1	12,2	1,8
Maíz ¹	365	9,4	4,7	74,3	3,3	1,2
Chía ^{2,3}	550	19-23	30-35	9-41	18-30	4-6

Fuente: ¹United States Department of Agriculture (2002); ²Ayerza y Coates (2004); ³Diario oficial de la Unión Europea (2009)

3.2.3 Los ácidos grasos Ω -3 en la salud

Según FAO/OMS (1997) y Chow, (1992) entre los lípidos se incluyen grasas y aceites ordinarios, ceras y compuestos relacionados que se encuentran en los alimentos y en el cuerpo humano. En su mayor parte (95%) están compuestos por triacilglicéridos (TG) que contienen una molécula de glicerol (un alcohol) y tres ácidos grasos. Desde el punto de vista químico, los ácidos grasos (AG) son cadenas rectas de hidrocarburos que terminan en un grupo carboxilo en un extremo y en un grupo metilo en el otro. La forma más común de clasificar a los AG es:

- Por su grado de saturación se dividen en saturados e insaturados (monoinsaturados y poliinsaturados).

- Por la longitud de su cadena pueden ser clasificados como de cadena corta (4-6 carbonos), media (8-12 carbonos), larga (14-18 carbonos) o muy larga (20 o más carbonos).

De acuerdo a la posición del primer doble enlace de la cadena, denominado omega, contando a partir del extremo metilo, existen tres familias de AG poliinsaturados Ω -3, Ω -6 y Ω -9. Algunos AG grasos se clasifican como ácidos grasos esenciales (AGE) tal como se muestra en la Tabla 3; porque no pueden ser sintetizados por el cuerpo humano y además son necesarios para funciones vitales, éstos son los de las familias Ω 2-6 y Ω 2-3, conocidos comúnmente como omega 6 y omega 3 (FAO/OMS, 1997; Chow, 1992).

Los AG Ω -3 tienen efectos antitrombóticos y antiarrítmicos, aumentan el tiempo de sangrado evitando la adherencia de plaquetas en las arterias. previene la aterosclerosis al reducir las concentraciones de colesterol en plasma, son útiles en pacientes hipertensos, ya que contribuyen a bajar la presión sanguínea y reducen la concentración de triglicéridos en plasma, disminuyen el colesterol total y el VLDL-C (Simopoulos, 1999).

Tabla 3. Nomenclatura de los ácidos grasos

Nombre común	Nombre sistemático	Abreviatura	Fórmula
<i>Familia Ω-6:</i>			
Linoleico	Cis-9,12, -octadecadienoico (LA)	18:2 Ω -6	$C_{18}H_{32}O_2$
γ - linolénico	Cis-6,9,12 -octadecatrienoico	18:3 Ω -6	$C_{18}H_{30}O_2$
Dihomoglinolénico	Cis-8,11,14 -eicosatrienoico	20:3 Ω -6	$C_{20}H_{34}O_2$
Araquidónico (AA)	Cis-5,8,11,14-eicosatetraenoico	20:4 Ω -6	$C_{20}H_{32}O_2$
Adrénico	Cis-7,10,13,16-docosatetraenoico	22:4 Ω -6	$C_{22}H_{36}O_2$
Osmond	Cis-4,7,10,13,16-docosapentaenoico	22:5 Ω -6	$C_{22}H_{34}O_2$
<i>Familia Ω-3:</i>			
α -linolénico	Cis-9,12,15-octadecatrienoico (ALA)	18:3 Ω -3	$C_{18}H_{30}O_2$
Estearidónico	Cis-6,9,12,15-octadecatetraenoico	18:4 Ω -3	$C_{18}H_{28}O_2$
Timnodónico	Cis-5,8,11,14,17-eicosapentaenoico (EPA)	20:5 Ω -3	$C_{20}H_{30}O_2$
Clupanodónico	Cis-7,10,13,16,19-docosapentaenoico (DPA)	22:5 Ω -3	$C_{22}H_{34}O_2$
Cervónico	Cis-4,7,10,13,16,19-docosahexaenoico (DHA)	22:6 Ω -3	$C_{22}H_{32}O_2$

Fuente: Dupont (1999).

3.2.4 La harina de chía

La harina de chía al ser resultado de la molturación, su utilidad es más funcional y digestiva. Puede emplearse en muchos alimentos como ingrediente nutricional y fuente de omega-3 vegetal. Se trata también de una harina sin gluten, que se presenta en forma de polvo fino de color marrón oscuro, de sabor suave y agradable (Figura 4) (Dayelet, 2015).

Necesita absorber agua para formar un ligero gel que mejora la hidratación y la palatividad de los alimentos. Su alta calidad nutricional (Tabla 4) la hace muy interesante para aplicarla en pequeñas cantidades, entre el 2 y el 3%, como suplemento enriquecedor en toda clase de

productos horneados como: pan de molde, panecillos integrales, galletas, bollería, pasta de spaguetti (3 al 5%), panes morenos (máx.10%), etc. Para cada aplicación encontraremos una proporción adecuada que aporte sabor y distinción a cualquier masa. Por encima del 1,75% puede definirse como "fuente de omega-3" vegetal (Dayelet, 2015).



Figura 4. Harina integral de chía

Fuente: <http://potenzagrupoempresarial.com/productos/harina/>

Tabla 4. Información nutricional de la harina de Chía por 100 g

Valor energético (kcal/100g)	470
Hidratos de carbono	25 %
Fibra alimentaria	18 %
Grasas: De las cuales son saturadas: 3 %.	30 %
Proteínas	20 %
Cenizas	4 %

Fuente: Dayelet, (2015).

La harina de chía integral por su contenido en aminoácidos esenciales (entre ellos la usina), y su alto porcentaje de fibras, puede considerarse como un enriquecedor nutricional, con un sabor neutro y una fuerza adaptable a todas. No contienen ningún factor alergénico, ni colesterol, ni gluten. Es pues un perfecto ingrediente vegetariano (Dayelet, 2015).

3.2.5 Funcionalidad de las proteínas de la harina de trigo

Desde el punto de vista de la funcionalidad de las proteínas, se pueden distinguir dos grupos de proteínas de trigo. Proteínas pertenecientes al gluten con un desempeño muy importante en la elaboración del pan y proteínas no pertenecientes al gluten, con un desempeño secundario en la elaboración del pan. Las proteínas no pertenecientes al gluten representan entre un 15 - 20 % del total de las proteína del trigo, principalmente se encuentran en las capas externas del grano de trigo y en bajas concentraciones en el endospermo. Estas proteínas son extraídas en soluciones de sales diluidas y por lo tanto se encuentran en las fracciones de Osborne de albúminas y globulinas. (enzimas) (De la Vega, 2009).

No obstante a estas proteínas también pertenecen un grupo secundario de proteínas poliméricas de almacenamiento, llamadas tritricinas, que pertenecen a la clase globulinas de las proteínas de almacenamiento de la semilla. Están relacionadas con la mayoría de las proteínas de almacenamiento de legumbres y en otros cereales, como la avena y el arroz (Shewry y Halford, 2002).

Las proteínas del gluten representan entre un 80-85 % del total de las proteínas del trigo, representan la mayor parte de las proteínas de almacenamiento. Pertenecen a la clase de prolaminas. Las proteínas del gluten se encuentran en el endospermo del grano de trigo maduro donde forman una matriz continua alrededor de los gránulos de almidón. Las proteínas de gluten son en gran parte insolubles en agua o en soluciones de sales diluidas. Pueden distinguirse dos grupos funcionalmente distintos de proteínas de gluten: gliadinas que son monoméricas y gluteninas que son poliméricas y estas últimas se subclasifican en extraíbles y no extraíbles (Shewry y Halford, 2002). La tabla 5, muestra la clasificación de las proteínas con base en su funcionalidad.

Tabla 5. Clasificación de las proteínas de la harina de trigo con base en su funcionalidad.

Clasificación de acuerdo a su funcionalidad	Ubicación en el grano	% en la harina de trigo	Proteínas monoméricas	Proteínas poliméricas
Proteínas no pertenecientes al gluten	Principalmente en las capas externas del grano de trigo, y muy bajas concentraciones en el endospermo	15-20%	Albúminas Globulinas	Triticinas
Proteínas pertenecientes al gluten	En el endospermo del grano de trigo	80-85%	Gliadinas	Gluteninas

Fuente: De la Vega (2009)

Las gliadinas y gluteninas se encuentran normalmente en una relación 50/50 en el trigo. Bioquímicamente se han identificado tres tipos (α , γ y ω) (Veraverbeke y Delcour 2002). Estas son fácilmente solubles en soluciones de alcohol en agua y son por lo tanto los principales componentes en la fracción de gliadinas de Osborne (Tabla 6).

Tabla 6. Proteínas presentes en las fracciones de Osborne

Fracción Osborne	Comportamiento en Solubilidad	Composición	Papel biológico	Papel funcional
Albúminas	Extraíbles en agua	Proteínas no del gluten (principalmente monoméricas)	Proteínas estructurales y metabólicas	Variable
Globulinas	Extraíbles en sales diluidas	Proteínas no del gluten (principalmente monoméricas)	Proteínas estructurales y metabólicas	Variable
Gliadinas	Extraíbles en soluciones de alcohol	Proteínas del gluten (principalmente gliadinas monoméricas y polímeros de glutenina de bajo peso molecular)	Proteínas de almacenamiento de la semilla tipo prolaminas	Viscosidad a la masa/ extensibilidad
Gluteninas	Extraíbles en ácido acético diluido	Proteínas del gluten (principalmente polímeros de glutenina de alto peso molecular)	Proteínas de almacenamiento de la semilla tipo prolaminas	Elasticidad a la masa/ tenacidad
Residuo	Sin extraer	Proteínas del gluten (polímeros de alto peso molecular) y proteínas no del gluten poliméricas (triticinas)	Proteínas de almacenamiento de la semilla, tipo prolamina (gluten) y tipo globulinas (triticinas)	Variable

Fuente: De la Vega (2009)

3.2.6 Modelo de regresión

Los factores que intervienen en un experimento pueden ser cuantitativos o cualitativos. Si el factor es cualitativo, como tipo de operadores, no tiene sentido averiguar la respuesta de una corrida subsecuente en un nivel intermedio del factor. Sin embargo, con un factor cuantitativo como el tiempo, el experimentador tiene interés por lo general en el rango de los valores en estudio, particularmente la respuesta de una corrida subsecuente con un nivel intermedio del factor. Es decir, si se usan los niveles 1, 2 y 3 en el experimento, tal vez quiera predecir la respuesta de 2,5 horas. Por lo tanto, el experimentador tiene con frecuencia interés en desarrollar una ecuación de interpolación para la variable de respuesta del experimento y usarlo para predecir, optimizar o contralar un proceso o sistema. Esta ecuación es un modelo empírico que en general, es un polinomio de orden menor que describe adecuadamente el proceso (Figura 5), y al enfoque general para ajustar modelos empíricos se le llama análisis de regresión (Montgomery (2001)).

Los métodos de regresión se utilizan con frecuencia para analizar datos de experimentos no planeados, la observación de fenómenos no controlados o de registros históricos. Los métodos de regresión también son muy útiles en experimentos diseñados cuando algo "salió mal" o

cuando el experimentador tiene interés en desarrollar una ecuación de interpolación para la variable de respuesta (Montgomery, 2001).

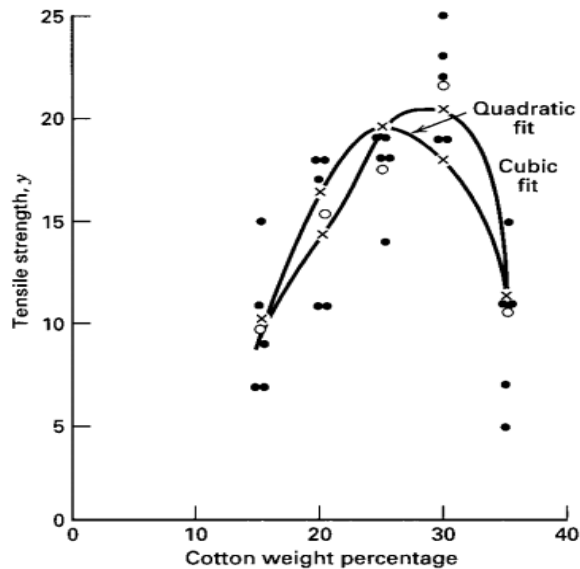


Figura 5. Diagrama de dispersión para los datos de resistencia a la tensión Fuente: Montgomery (2001).

3.2.7 Método de la función de deseabilidad

Consiste en definir una función en el espacio de factores que mide la deseabilidad global (DG) del producto predicha en cada punto, convirtiendo de esta forma el problema de optimización multivariado en un problema de optimización univariado. Basta maximizar dicha deseabilidad global para obtener el punto óptimo que buscamos. La deseabilidad global (DG) en un punto $x' = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ se define como la media geométrica de las deseabilidades individuales (d_1, d_2, \dots, d_m), que son índices que toman valores entre 0 y 1; y que son generados al transformar los valores

predichos de cada respuesta Y_1, Y_2, \dots, Y_m . Si d_i es igual a 1 significa que la correspondiente respuesta predicha Y_i toma su valor máximo deseable; si $d_i = 0$ la respuesta Y_i predice un valor inaceptable y en este caso la deseabilidad global es cero ($DG = 0$), lo que significa que el todo el producto es inaceptable independientemente de los valores de las respuestas restantes (Gutiérrez & De la Vara, 2008).

3.2.8 Análisis sensorial

El análisis sensorial es la disciplina que aprovecha la capacidad de los sentidos para reaccionar ante los estímulos fisicoquímicos de los alimentos, permitiendo medir, analizar e interpretar las reacciones al percibir sus características. Estos estímulos son comparados en el cerebro con estímulos almacenados y son transformados en conceptos que permiten evaluar y emitir un juicio de la calidad sensorial de un producto (González, 2009).

Pruebas de grado de satisfacción: Cuando se pretende evaluar más de dos muestras a la vez, o se quiere obtener más información acerca de un producto que en la prueba anterior, se realiza este tipo de prueba. Para ello, se recurre a unas escalas hedónicas que serán los instrumentos para medir las sensaciones producidas por el producto en el juez afectivo, ya sean placenteras o desagradables (Alzandua, 1994).

3.3 Marco referencial

Silveira (2013) evaluó panes con adición de 2 y 20% de harina de chía, probando el uso de harina de chía hidratada y no hidratada. Las bajas concentraciones de harina de chía no afectaron las características tecnológicas del pan en comparación con el control. Altas concentraciones afectaron directamente al volumen específico y la dureza de los panes.

Iglesias y Haros (2012), evaluaron semillas de chía triturada para su uso en productos de panadería, con un contenido máximo de 5%. La calidad del pan se evaluó mediante el volumen específico, aspecto de la rebanada central, perfil de textura de la miga, análisis digital de imagen de la miga, color de la miga y de la corteza.

Ramírez et al (2008), obtuvieron la fórmula base para preparar un pan sustituyendo porciones de harina de trigo (5%; 10%; 15% y 20%) por porciones de semillas de chía enteras y molidas, hasta obtener la mejor fórmula. Se elaboraron 8 pastas sustituyendo porciones de harina de trigo por semillas de chía enteras y molidas. La pasta elaborada con semillas molidas resultó la que tenía mayor plasticidad, y la que podía manejarse mejor incluso en la masa de mayor porcentaje de sustitución (20%). Se

realizó una prueba de evaluación sensorial afectiva, con 191 niños en edad escolar como jueces, encontrando una aceptabilidad excelente.

Gutiérrez (2007), para la obtención de la formulación de galletas con semillas de chía utilizó un diseño experimental rotacional central compuesto de dos variables independientes (límites entre paréntesis): concentración de materia grasa (8 % y 16 %) y concentración de semilla de Chía (4 % y 10 %). Las respuestas del diseño fueron obtenidas a través de evaluación sensorial con un panel entrenado, por medio de un test analítico descriptivo en una escala no estructurada de 10 cm y un test de calidad numérico de 7 puntos. Del análisis de efectos del diseño experimental y de los criterios tecnológicos se obtuvo la formulación de galletas con semilla de Chía con 13 % de materia grasa y 7 % de semillas de Chía.

CAPÍTULO IV.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo de investigación

- Tipo de investigación: Es de tipo aplicativo.
- Nivel de investigación: Es descriptivo, correlacional, experimental.
- Diseño de la investigación: es del tipo experimental, donde se estableció la relación causa-efecto entre las variables en estudio, los rangos de concentraciones a ensayar se seleccionaron en base a la experiencia y antecedentes previos.

4.2 Población y muestra

El número de tratamientos “K” (Tabla 7), es determinado por el investigador y depende del problema particular de que se trata. El número de observaciones por tratamiento (n) debe escogerse con base en la variabilidad que se espera observar en los datos, así como en la diferencia mínima que el experimentador considera que es importante detectar (Gutiérrez y De la Vara, 2008),

Con este tipo de consideraciones para el presente estudio. La población representa las hipotéticas unidades de pan con determinada dosis de harina de Chía, con un peso por unidad de 1200 gr; y los tratamientos se representan a través del diseño de un solo factor con 5 tratamientos y se muestran en la Tabla 7 con los niveles o porcentajes de harina de Chía a sustituir en una mezcla con harina de trigo. Los tratamientos se ejecutaron a dos replicas.

Tabla 7. Niveles codificados y reales de la variable independiente

Tratamientos	X:Porcentaje de harina de Chía	Complemento (harina de trigo)
1	3 % (21,6 g)	97,0% (698,4 g)
2	6 % (43,2 g)	94,0% (676,8 g)
3	9 % (64,8 g)	91,0% (655,2 g)
4	12 % (86,4 g)	88,0% (633,6 g)
5	15 % (108,0 g)	85,0% (612,0 g)

Fuente: elaboración propia (2016)

Con los datos de los 5 tratamientos diseñados se ejecutaron en 2 réplicas, y con los resultados a obtenidos para las variables respuesta se desarrollaron modelos ya sean cuadráticos o cúbicos a fin de buscar el que mejor ajuste los datos y para determinar sus coeficientes se empleó la metodología de superficie de respuesta unifactorial.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2$$

Dónde:

X = Porcentaje de harina de Chía

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = Coeficientes del modelo de regresión cuadrático.

Y = variable dependiente (respuesta)

4.3 Materiales y métodos

4.3.1 Método experimental

A continuación se detalla las principales operaciones llevadas a cabo en el estudio del pan de molde con adición de harina de chía:

- a) Recepción: se realiza en el almacén, donde, la materia prima e insumos llegan en sus envases originales, sin rotura, o aparente violación y/o adulteración.
- b) Pesado: según la formulación de elaboración de pan molde, se pesan todos los ingredientes sólidos y medimos los líquidos utilizando balanza y recipiente con escala de medidas.
- c) Mezclado: Se realiza en la amasadora, los ingredientes se agregan en forma ordenada. El mezclado se efectúa en un tiempo que va de 1 a 3 la mezcla de los ingredientes en una amasadora durante 10 minutos.
- d) Harina de chía: obtenida de semillas de chía molidas (Figura 6) y en dosis ya establecidas por el diseño de investigación.



Figura 6. Granos de chíá molida
Fuente: elaboración propia (2016)

- e) Amasado: la mezcla fue sometida a un amasado mecánico donde se mezclan los ingredientes hasta formar una masa flexible y elástica, se efectúa en un tiempo aproximado de 10 minutos.
- f) Boleado y enrollado: se realiza manualmente sobre la mesa de trabajo, en porciones de 1 250 g.
- g) Moldeado: de manera manual, los rollos de masa alargados se depositan en los moldes para pan.
- h) Fermentación: se deja reposar para que la masa recupere su elasticidad y aumente su volumen. Se deja fermentar a una temperatura de 35 °C por un tiempo aproximado de 120 minutos, en la cámara de fermentación

- i) Horneado: El tiempo de horneado para el pan de molde se efectuó durante 40 min en horno eléctrico con vapor a una temperatura de 150°C.
- j) Enfriado: el tiempo de enfriado a temperatura ambiente es de 60 minutos antes de realizar los ensayos.
- k) Análisis: consiste en realizar los análisis sensoriales, físicos y químicos (Figura 7).



Figura 7. Análisis proximal de las muestras en estudio
Fuente: elaboración propia (2016)

Finalmente, la Figura 8 muestra las operaciones descritas destacando la variable en estudio y aquellas mediciones realizadas.

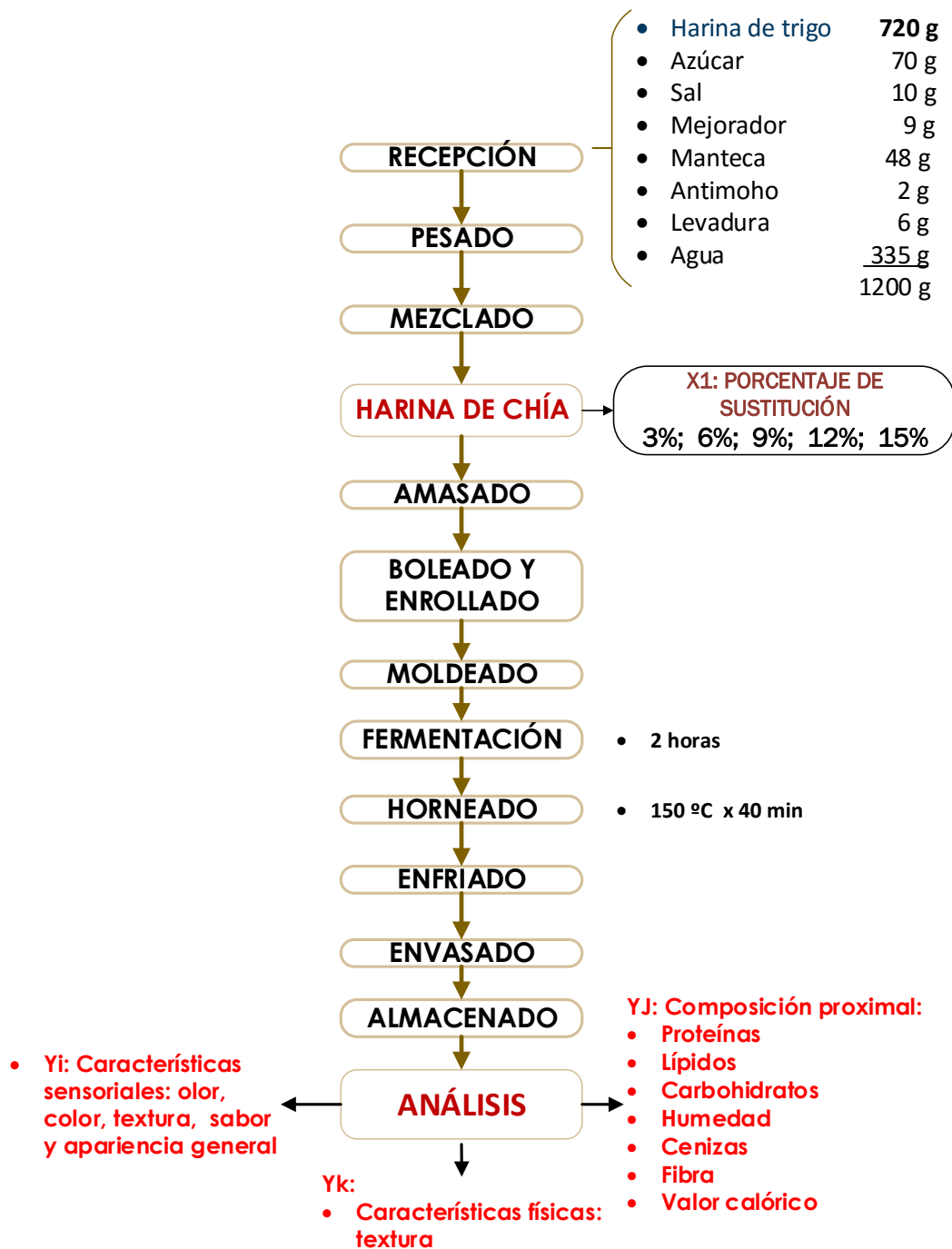


Figura 8. Diseño procedimental para el estudio del pan de molde
Fuente: Elaboración propia (2017)

4.3.2 Materiales y equipos

El estudio se realizó a nivel de laboratorio y en consecuencia se contaron con los siguientes materiales:

- a) Materiales de laboratorio
 - Balanza analítica marca Sartorius exactitud $\pm 0,1$ g.
 - Balanza de platillo.
 - Baldes de plástico de 4 litros y 12 litros.
 - Balones.
 - Bureta de 25 ml.
 - Cocina eléctrica doméstica, 220 voltios, Perú.
 - Espátula de metal.
 - Fiolas de 50ml y 100ml.
 - Matraz Erlenmeyer de 250ml y 500ml.
 - Mechero bunsen.
 - Piceta de agua destilada.
 - Pipetas volumétricas de 1ml, 5ml y 10ml
 - Probetas de 1000 ml.
 - Tapón de jebe.
 - Termómetro, escala 0 °C – 200 °C.
 - Vaso precipitado.
 - Regla.

- Vernier.
- b) Materiales de panadería
- Mesa de trabajo de acero inoxidable.
 - Bandeja para horneado.
 - Bandeja de madera.
 - Cuchillos.
- c) Equipos de panadería
- Amasadora NOVA cap. máx. 15 kg.
 - Divisora manual NOVA cap. máx. 3 kg.
 - Horno eléctrico NOVA.MAX 600 cap. 12 bandejas.
 - Balanza electrónica de 0 a 30 kg.
- d) Materia prima e insumos
- Harina de trigo extra marca Nicolini.
 - Harina de Chía de semillas previamente molidas.
 - Levadura seca marca Bakels.
 - Azúcar blanca marca Costeña.
 - Sal de mesa marca Emsal.
 - Mejorador de masas Levapan.
 - Manteca Levapan.

4.3.3 Métodos de análisis

a) Análisis fisicoquímico

- Ceniza: (Método Mufla) A.O.A.C. 1981
- Humedad: (Método por pérdida de peso); A.O.A.C. 1981.
- Proteína: (Método Kjeldahl), A.O.A.C. 1981.
- Carbohidratos (Por diferencia restando de 100 el contenido de humedad, proteína, grasas y cenizas). A.O.A.C. 1981.
- Determinación de fibra cruda. AOAC 985.29, 993.21
- Determinación del aporte energético: Se calculó considerando que los carbohidratos aportan 17 kJ/g (4 kcal/g), proteínas 17 kJ/g (4 kcal/g) y grasas aportan 38 kJ/g (9 kcal/g), NOM-051-SCFI-1994.

b) Aceptabilidad sensorial: olor, color, textura apariencia y sabor según escala hedónica estructurada (Anexo 1).

c) Análisis instrumental

- Medición de la textura: medidor de fuerza digital PCE- FM 200.

4.3.4 Análisis de datos

Se desarrollaron modelos de regresión en las cuales para medir su predicción se utilizara el coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}), que se obtienen a partir del ANOVA. Y para interpretar estos coeficientes se cumple que $0,0 < R^2_{aj} < R^2 < 100,0$ que cuantifican el porcentaje de variabilidad presente en los datos y que es explicado por el modelo; por ello, son deseables valores próximos a 100.

Con respecto a la significancia de los modelos se evaluaron mediante la prueba F al nivel de significancia al 0,05 y 0,10. Y para fines de predicción Gutiérrez & De la Vara (2008) recomienda un coeficiente de determinación ajustado para los modelos de al menos 70 %.

Para los cálculos se utilizaron los programas MS Excel y Minitab 17. Asimismo, los autores Granato y Ares (2014) recomiendan considerar como óptima a aquella combinación con valor de deseabilidad mayor a 0,7.

CAPÍTULO V. TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS

5.1 Resultados para el análisis sensorial

Para la determinación de los parámetros de proceso del modelo de regresión que relacione la variable independiente, concentración de harina de chía y determinar su influencia sobre las características sensoriales, se muestran los siguientes resultados promedio obtenidos luego del análisis sensorial de aceptabilidad de los panes de molde de 1 kg, preparado previamente en las dosis establecidas para una masa de 1,20 kg; los resultados promedio se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados del análisis sensorial de aceptabilidad de los panes de molde con adición de harina de Chía

Harina de chía	Color	Olor	Textura	Sabor	Apariencia
3 % (21,6 g)	7,38	6,54	7,92	7,31	7,15
6 % (43,2 g)	7,15	6,77	7,31	6,92	6,85
9 % (64,8 g)	7,31	7,15	6,92	7,08	7,08
12 % (86,4 g)	6,85	7,38	7,31	7,31	7,23
15 % (108 g)	7,23	6,92	7,15	7,23	6,85

Fuente: elaboración propia (2017)

5.1.1 Color

El color es la cualidad de la sensación provocada en la retina del observador que resulta de la interacción de la luz en la retina y un componente físico que depende de determinadas características de la luz. Del análisis de varianza (Anexo 3) del modelo cuadrático que relaciona la variable concentración de harina con la aceptabilidad del color del pan de molde (Figura 9) resulto con un valor-p de 0,634 mayor al nivel significativo de 0,05 y por tanto se concluye que a través del modelo cuadrático no se relaciona necesariamente el comportamiento de la aceptabilidad del color en función de las concentraciones de harina de Chía.

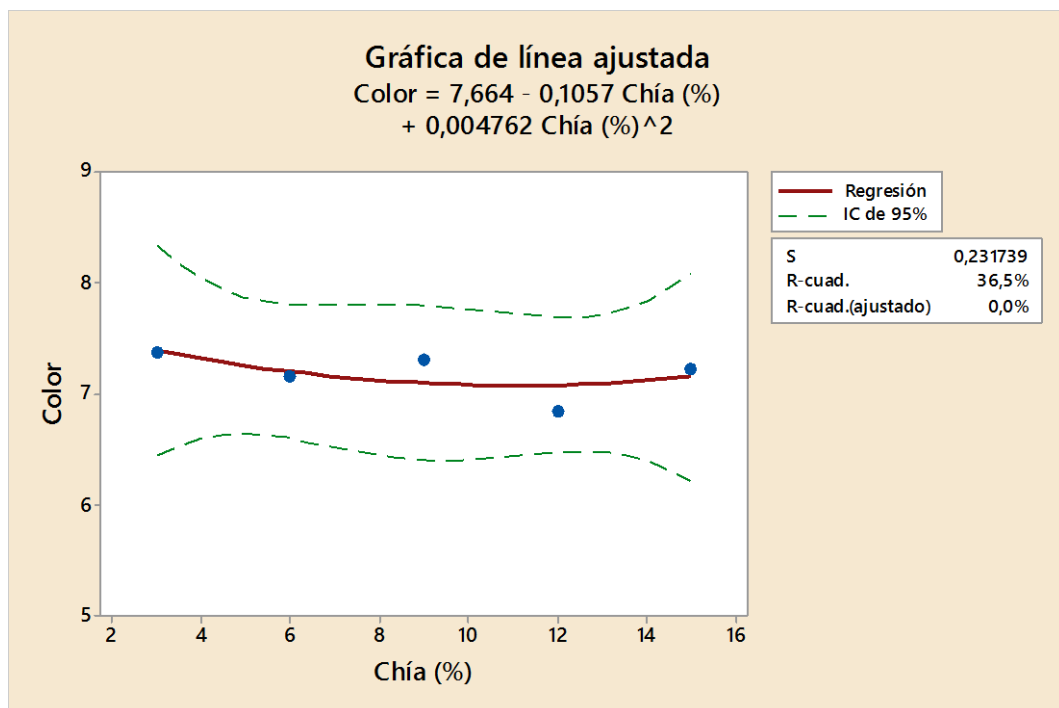


Figura 9. Modelo cuadrático para la aceptabilidad del color
Fuente: elaboración propia (2017)

Asimismo, al utilizar dicho modelo se determinó que presenta un valor del coeficiente de determinación (R^2) de 36,5 % que es muy alejado de 100 %. Por tanto el modelo cuadrático no es útil para predecir la variabilidad del color en la elaboración del pan de molde con adición de harina de chía.

En la Figura 10 se ve claramente las diferencias entre las diferentes muestras de panes con concentraciones de harina de chía, y es evidente entre dichas muestras, las diferencias de color no fueron tan notorias a pesar de que, a mayor concentración de harina de chía, el color de la miga es más oscura.

Dicha coloración resultante fue calificada por los panelistas según su aceptabilidad, donde se evidencia que la percepción no fue tan marcada pues no se percibieron muchas diferencias en la aceptabilidad del color entre ellas, según la escala hedónica estructurada de 9 puntos y tal como se confirma en la tabla 8, se estableció que están las respuesta promedio de los panelista se encuentra en un rango entre 6 a 7 según la escala de evaluación calificación que categoriza a los panes o tratamientos entre “Me gusta moderadamente” y “Me gusta un poco” para el rango de dosis de harina de chía entre 3% a 15 % de sustitución.

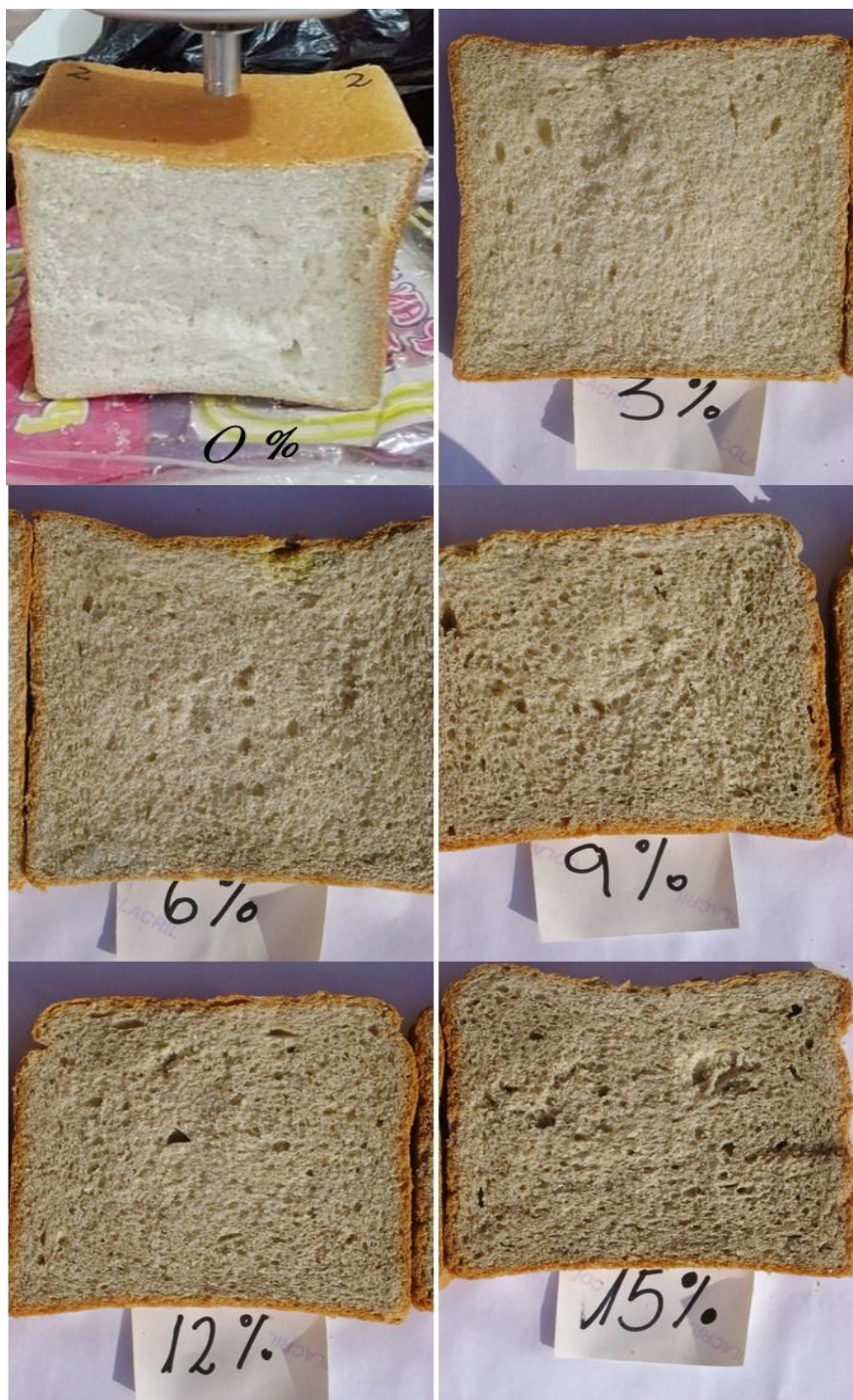


Figura 10. Color de la corteza y miga de los panes según las dosis de harina de chía añadida

Fuente: elaboración propia (2017)

Del análisis de varianza (Anexo 3 b) para el modelo cúbico que relaciona la variable aceptabilidad del color del pan de molde con la concentración de harina de chía (Figura 11), este resultó con un valor-p de 0,828, valor mayor al nivel significativo de 0,05 por tanto se concluye que con el modelo propuesto tampoco se puede establecer alguna relación entre la concentración de harina de chía y la aceptabilidad del color. Asimismo, dicho modelo presenta un valor del coeficiente de determinación (R^2) de 48,5 % que aún es muy alejado de 100 %, es decir no representa a la mayoría de datos según su aceptabilidad del color.

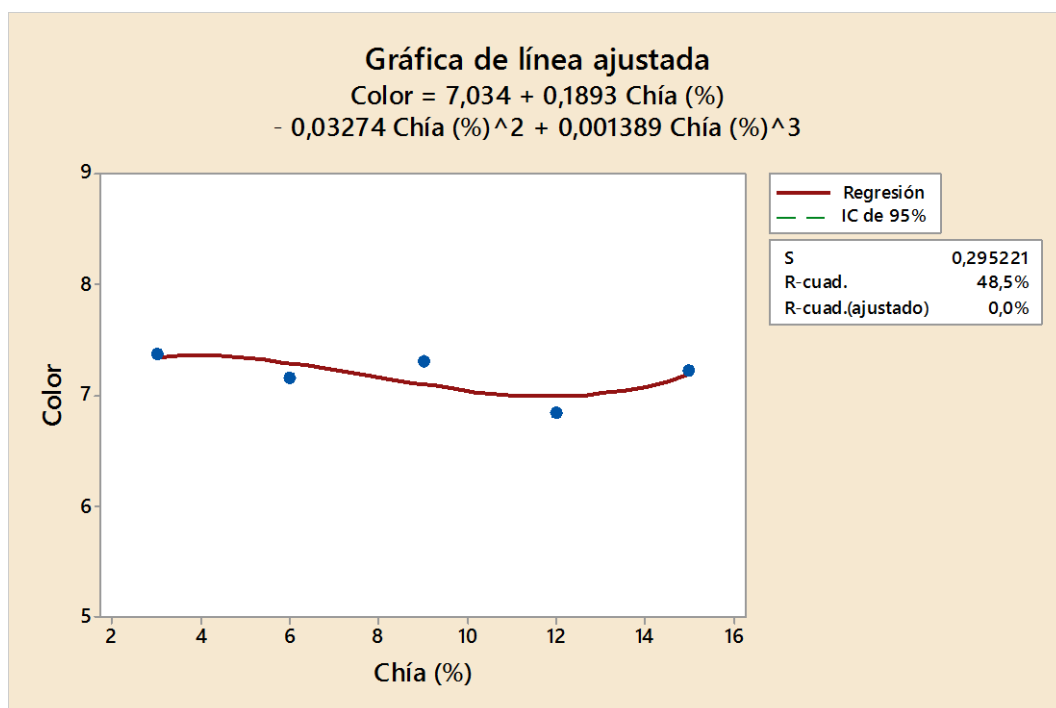


Figura 11. Modelo cúbico para la aceptabilidad del color
Fuente: elaboración propia (2017)

5.1.2 Olor

El olor del pan es otro de los factores determinantes en su aceptación por el consumidor. Aunque han sido identificados un gran número de compuestos volátiles relacionados con el aroma del pan, sólo unos pocos tienen una incidencia determinante en su olor final (Pozo *et al.*, 2006). Del análisis de varianza (Anexo 4 a) para la aceptabilidad del olor del pan de molde se obtuvo un valor-p de 0,167 que es mayor al nivel de 0,05; y puede concluirse que el modelo cuadrático desarrollado no es significativo para relacionar el comportamiento de la aceptabilidad del olor en función de las concentraciones de harina de Chía. Sin embargo el coeficiente de determinación (R^2) es 83,3 % valor muy cercano de 100 %, por lo tanto el modelo cuadrático (Figura 12) hallado se puede utilizar para predecir la variabilidad del olor en la elaboración del pan de molde. Sin embargo, en el análisis de varianza (Anexo 4 b) para la aceptabilidad del olor para el modelo cúbico propuesto, el p-valor resulto con 0,056; valor significativo para el nivel de significancia del 0,10; es decir que el modelo cúbico puede ser útil para predecir el comportamiento de la aceptabilidad del olor, pero con un error del 0,10. Además dicho modelo presenta un porcentaje de explicación del 99,8 % con respecto al total de los datos recogidos. La figura 13 muestra la tendencia del comportamiento de dicho modelo sugerido, que se utilizará para fines de optimización.

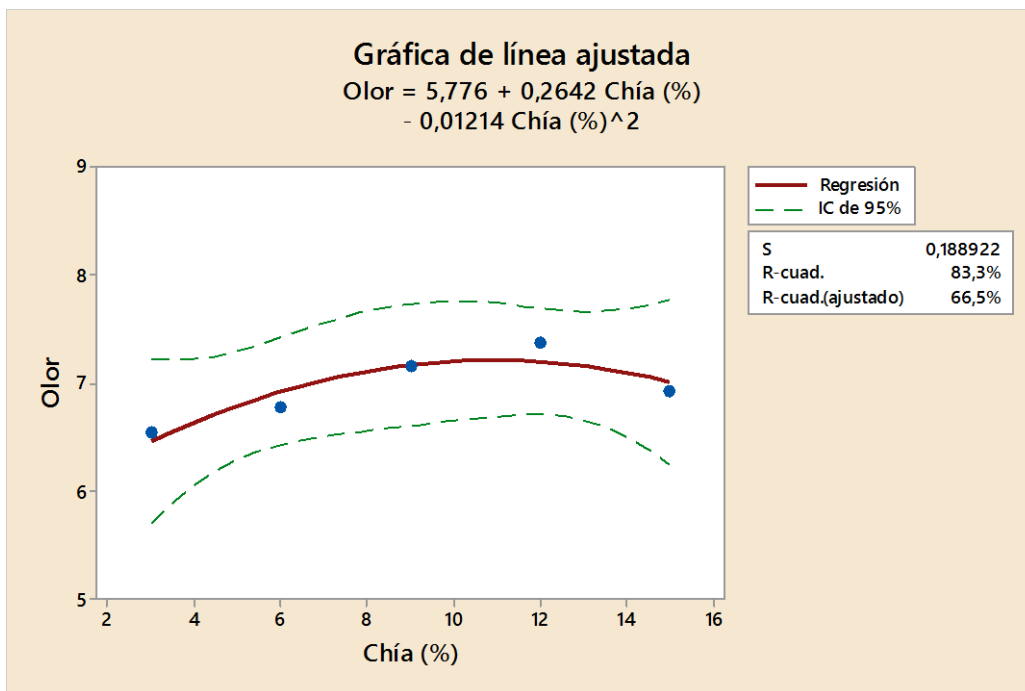


Figura 12. Modelo cuadrático para la aceptabilidad del olor
 Fuente: elaboración propia (2017)

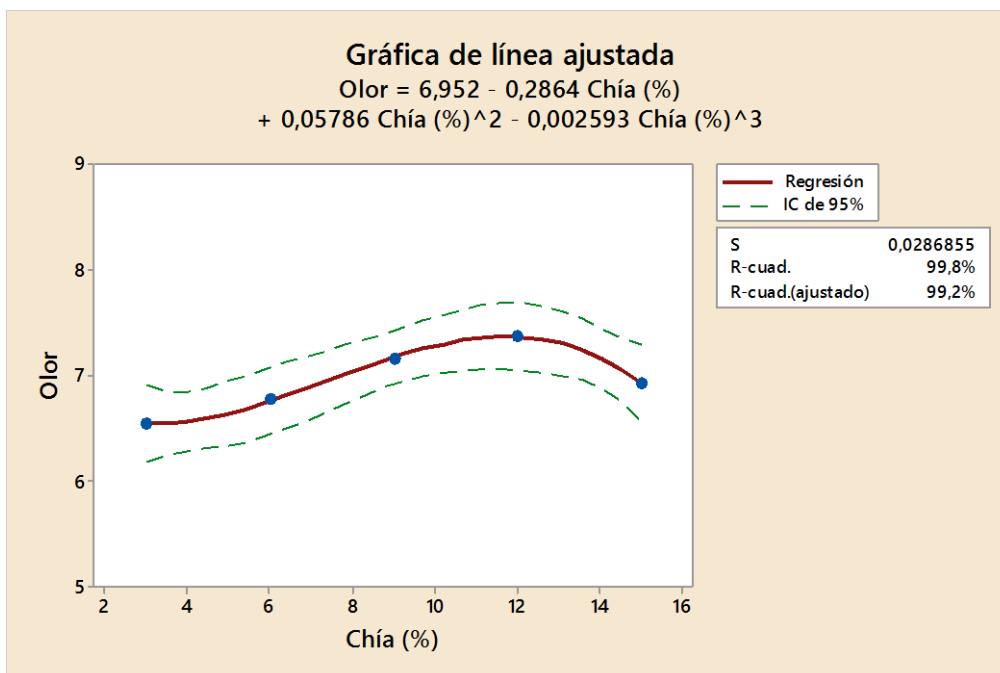


Figura 13. Modelo cúbico para la aceptabilidad del olor
 Fuente: elaboración propia (2017)

5.1.3 Textura

En los panes leudados (con volumen) la textura es un factor determinante de la calidad sensorial e influyen en gran medida en las decisiones de compra de los consumidores (Heenan et al., 2009). En el análisis de varianza (Anexo 5a) de aceptabilidad de la textura del pan de molde, su valor p calculado fue de 0,201; valor muy superior al nivel de significancia de 0,05 y por tanto se concluye que el modelo cuadrático desarrollado no relaciona el comportamiento de la aceptabilidad de la textura del pan de molde con la concentración de harina de Chía. Además el coeficiente de determinación ajustado R^2_{aj} es 59,82 % resultado no muy cercano de 100 %. Es decir que el modelo cuadrático (Figura 14) si bien cumple con el criterio de $R^2_{aj} < R^2 < 1$; para fines de predicción se recomienda un coeficiente ajustado de al menos 0,7. Por tanto el modelo hallado no necesariamente explica la aceptabilidad de la textura del pan de molde por efecto de la adición de harina de chía. Seguidamente se realizó un segundo ajuste buscando un mejor modelo que relacione la textura con la harina de chía; y del análisis de varianza del modelo cúbico propuesto (Anexo 5b) resultó con un valor-p de 0,373; valor muy alto comparado con el nivel de significancia de 0,05 es decir que dicho modelo tampoco resulto significativo para explicar la aceptabilidad de la textura del pan de molde en función a las concentraciones de harina de Chía.

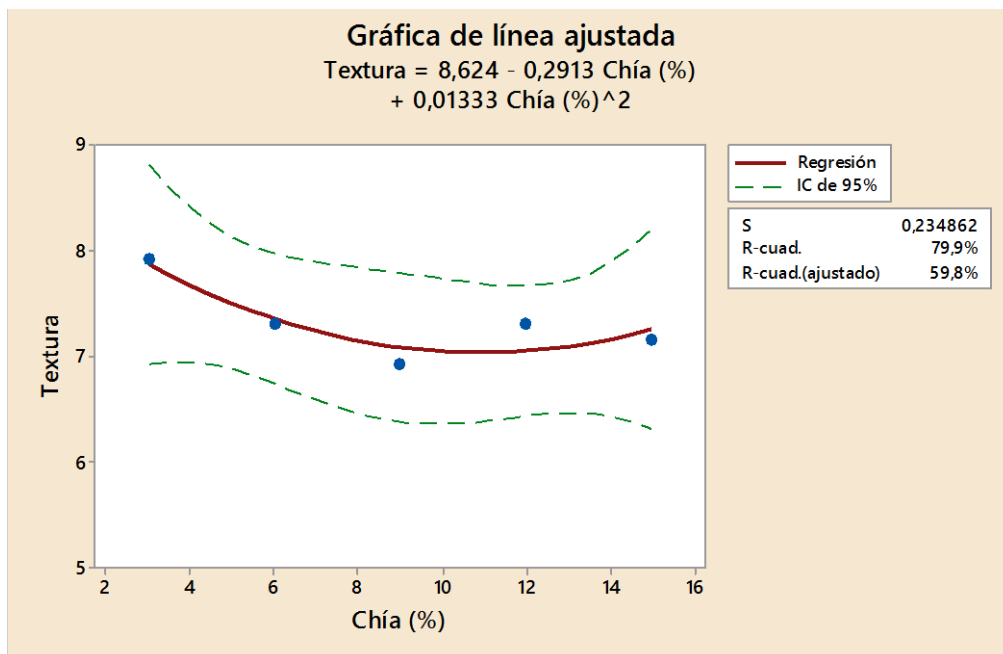


Figura 14. Modelo cuadrático para la aceptabilidad de la textura
 Fuente: elaboración propia (2017)

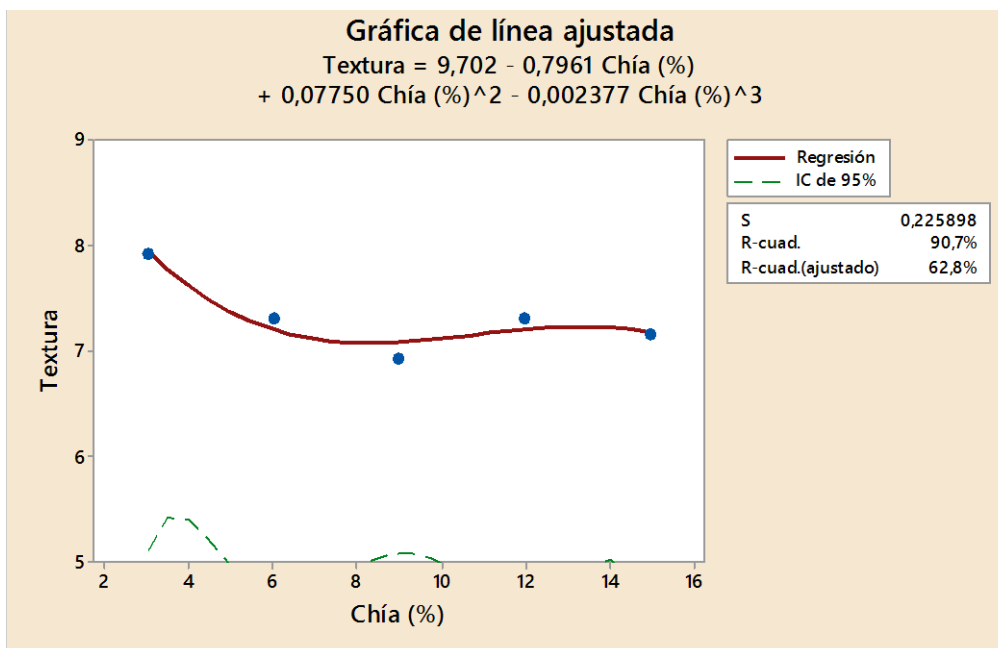


Figura 15. Modelo cúbico para la aceptabilidad de la textura
 Fuente: elaboración propia (2017)

Sin embargo el valor resultante del coeficiente de determinación (R^2_{aj}) del 62,83 % es mucho mayor al modelo cuadrático ajustado y mucho más cercano a 100 %, Es decir que el modelo cúbico (Figura 15) cumple con el criterio de $R^2_{aj} < R^2 < 1$; aunque para fines de predicción se recomienda un coeficiente de determinación ajustado de al menos 0,7 (70 %); este modelo solo explica el 63,8 % de la variabilidad de la aceptabilidad de la textura del pan de molde por efecto de la adición de harina de chía.

5.1.4 Sabor

Atributos tales como dulce, ácido, salado, amargo, mantequilla son utilizados habitualmente en los perfiles descriptivos. Factores tales como el microorganismo empleado para la fermentación, el contenido en cenizas de la harina (relacionado con la tasa de extracción) o la temperatura de fermentación, influyen sobre el flavor del pan (Katina, 2005).

Del análisis de varianza (Anexo 6a) cuyo valor-p resulto 0,653 es mayor al de significancia de 0,05 y se concluye que el modelo cuadrático desarrollado no ajusta los datos del comportamiento de la aceptabilidad del sabor del pan de molde con respecto a las concentraciones de harina de Chía. Asimismo el valor del coeficiente de determinación (R^2) es del 34,7 %, valor muy alejado de 100 %, confirmando que el modelo cuadrático

(Figura 16) no explica en su totalidad la variabilidad de la aceptabilidad del sabor del pan de molde dentro del rango de adición de harina de chía.

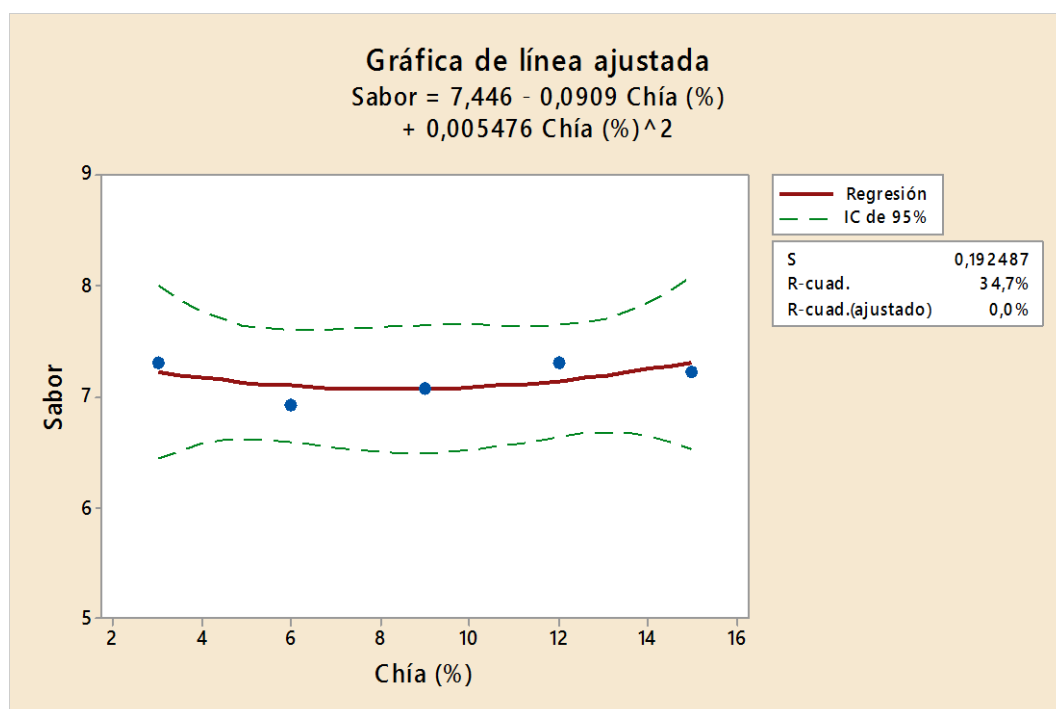


Figura 16. Modelo cuadrático para la aceptabilidad del sabor
Fuente: elaboración propia (2017)

En consecuencia, se desarrolló un segundo modelo de regresión del tipo cúbico cuyo análisis de varianza (Anexo 6b) resultó con un el valor-p de 0,045 valor inferior al nivel de significancia elegido (0,05) y por tanto se concluye que dicho modelo cúbico tampoco si ajusta los datos del comportamiento de la aceptabilidad del sabor del pan de molde en función a las concentraciones de harina de Chía. Además, presenta un coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}) del 99,5 % resultando muy cercano a 100 %. Es decir que el modelo cumple con el criterio de $R^2_{aj} < R^2 < 1$; y su

coeficiente de determinación ajustado al ser mayor 0,7 (70 %) es útil para fines de predicción, por tanto el modelo cúbico hallado explica la variabilidad de la aceptabilidad del sabor del pan de molde por efecto de la adición de harina de chía. La Figura 17 muestra la tendencia del comportamiento de la aceptabilidad del sabor del pan de molde.

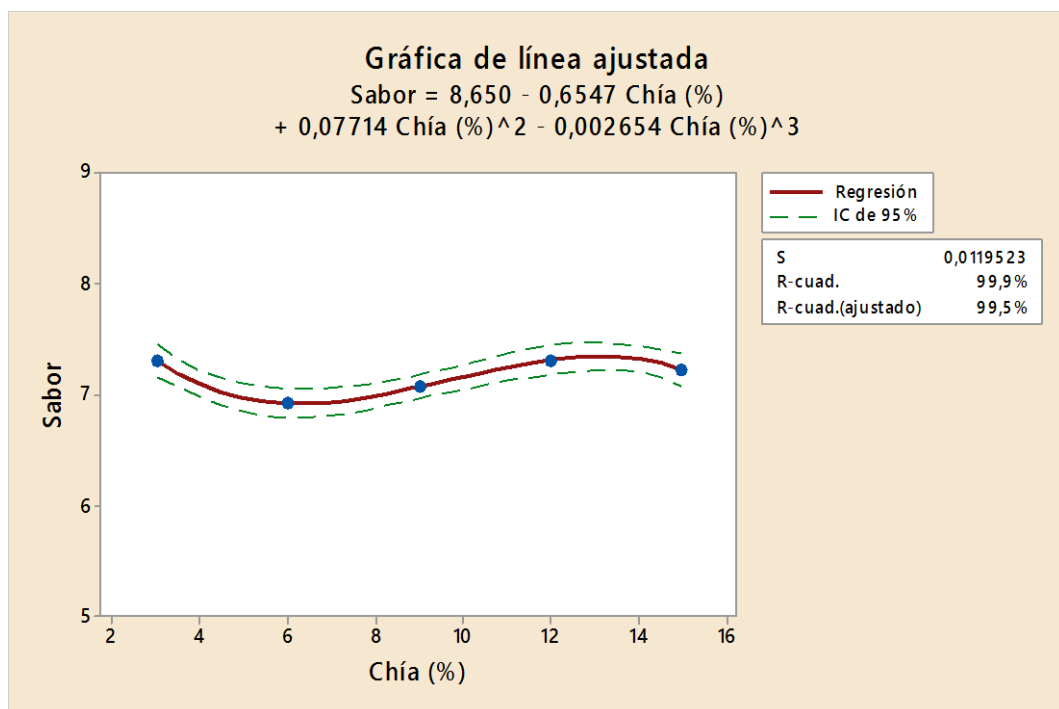


Figura 17. Modelo cúbico para la aceptabilidad del sabor
Fuente: elaboración propia (2017)

5.1.5 Apariencia

En este grupo se encuentran atributos evaluados mediante la vista: el color de la miga, el color de la corteza, el número de alveolos, su forma y regularidad (Kihlberg *et al.*, 2004).

Se ajusto el modelo cuadrático a fin de relacionar la aceptabilidad de la apariencia del pan de molde con la harina de chía, y del análisis de varianza para dicho modelo (Anexo 7a) se obtuvo un valor-p de 0,664; valor muy alto comparado con el nivel de significancia de 0,05 y por tanto se puede concluir que el modelo cuadrático no ajusta adecuadamente los datos. Asimismo el valor del coeficiente de determinación (R^2) del 7,4 % es muy alejado de 100 %, confirmando que dicho modelo cuadrático (Figura 18) no predice en su totalidad la variabilidad de la aceptabilidad de la apariencia del pan de molde dentro del rango de adición de harina de chía. Seguidamente se propone un segundo modelo de tipo cúbico y se evaluó su capacidad de ajuste, su análisis de varianza (Anexo 7b) resulto con un el valor p (0,07) aunque es superior al nivel de 0,05; sin embargo es inferior al nivel de significancia de 0,10; por tanto se concluye que dicho modelo cúbico (Figura 19) puede ajustar la aceptabilidad de la apariencia del pan de molde en función a las concentraciones de harina de Chía.

Además, su valor del coeficiente de determinación ajustado (R^2) del 98,8 % resulto muy cercano a 100 %, es decir que dicho modelo cúbico si es útil para pronosticar la aceptabilidad de la apariencia dentro del rango de adición de harina de chía.

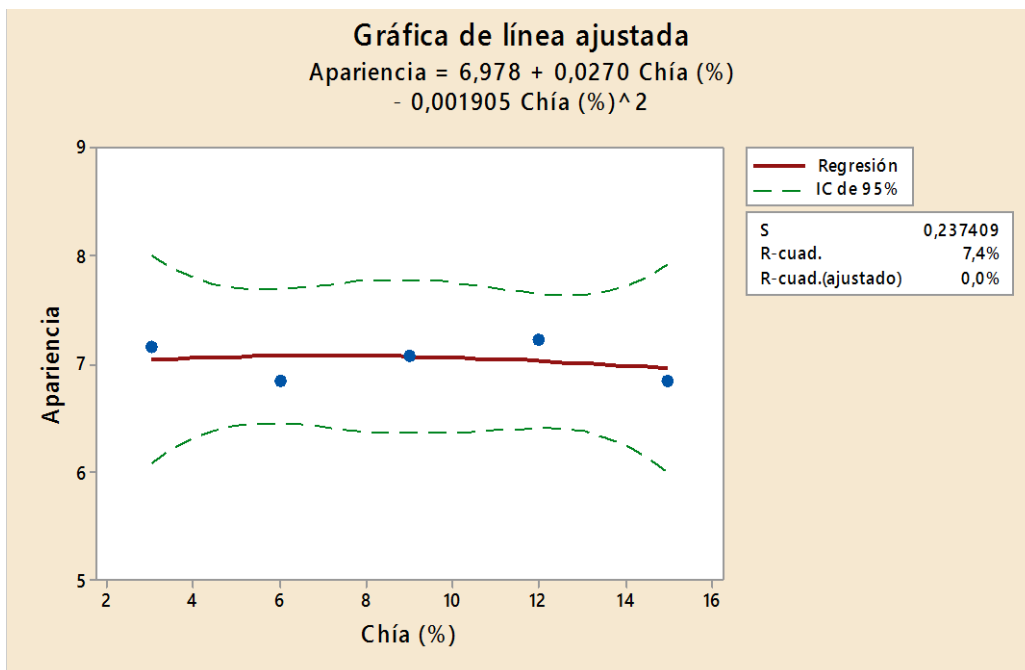


Figura 18. Modelo cuadrático para la aceptabilidad de la apariencia
 Fuente: elaboración propia (2017)

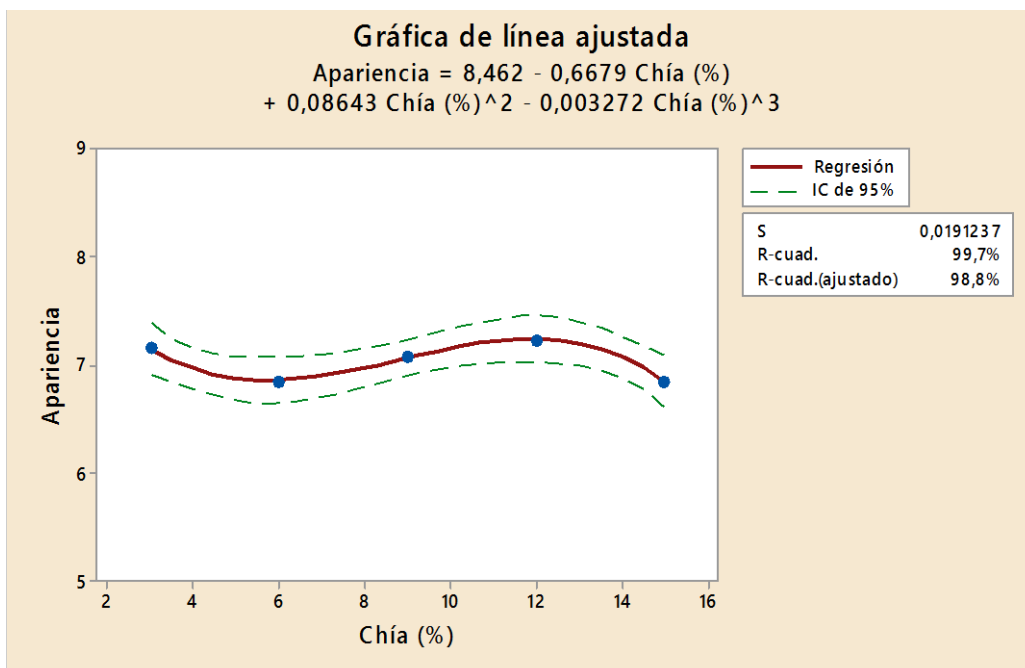


Figura 19. Modelo cúbico para la aceptabilidad de la apariencia
 Fuente: elaboración propia (2017)

5.2 Resultados del análisis proximal

En el Tabla 9 se muestran los resultados de la composición químico proximal de panes adicionados con harina de chía. En este se observa que con respecto al porcentaje de proteína es el componente que se incrementa en la medida que también se aumenta la dosis de harina de Chía en un rango que va desde 7 % hasta el 12 %. En la determinación de lípidos sus valores muestran cierta distorsión tal vez debido a errores de análisis, pero aun así se verifica la tendencia a incrementar desde un mínimo de 3,89 hasta 6,08; probablemente la diferencia de las determinaciones de los tratamientos de determinación de grasa sea consecuencia de que, en este estudio, la técnica utilizada aplica una temperatura de 100°C aproximadamente y podría considerarse una volatilización de la grasa. En el análisis de fibra sin embargo la tendencia al incremento es evidente y directa con relación a las dosis de harina de Chía añadida.

En cuanto a la humedad y carbohidratos se mantuvieron variables para cada tratamiento y no mostrando necesariamente una relación con la adición de harina de chía, sin embargo las cenizas si reportaron un incremento constante salvo un registro correspondiente a la muestra con 12 % de Chía, todos mostraron valores mayores al 1,9 % y con incrementos paulatinos.

Tabla 9. Resultados del análisis proximal de los panes de molde con adición de harina de Chía

Muestra	Proteínas (%)	Cenizas (%)	Humedad (%)	Lípidos (%)	Carbohidratos (%)	Fibra Cruda (%)	Valor Calórico (kcal/100 g)
Pan 3 % H.Ch.	7,48	1,90	35,92	4,75	49,48	0,48	270,60
Pan 6 % H.Ch.	11,25	1,94	37,43	3,89	44,87	0,63	259,49
Pan 9 % H.Ch.	11,49	1,94	36,36	5,37	43,26	1,58	267,36
Pan 12 % H.Ch.	11,88	1,69	34,83	6,08	43,91	1,62	277,87
Pan 15 % H.Ch.	12,00	1,98	36,49	5,96	41,70	1,87	268,45
Harina chía	23,05	4,17	5,52	36,02	5,66	25,59	439,00

Fuente: elaboración propia (2017)

La figura 20 muestra la ligera variación de la proteína de los panes producto de las dosis de harina de chía, en comparación con la proteína de las semillas de chía.

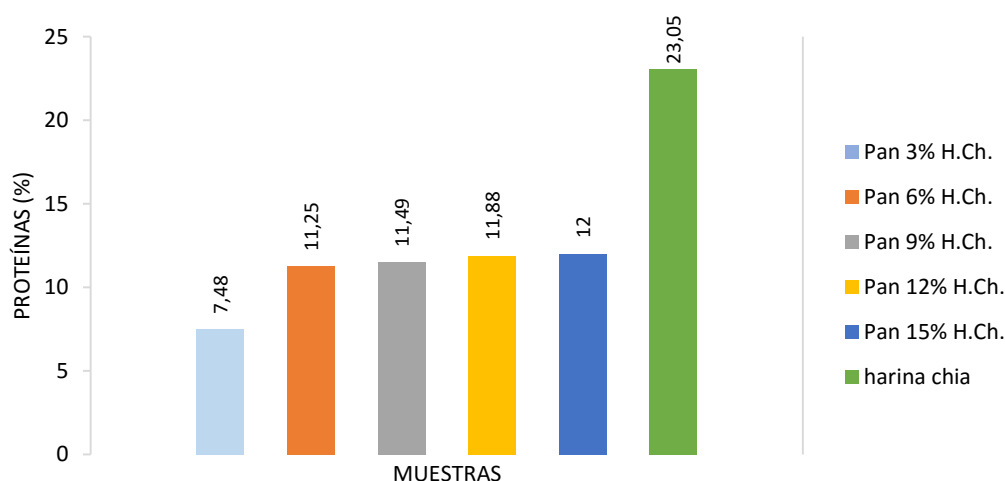


Figura 20. Comparación de proteínas entre las muestras de pan y la harina de chía

Fuente: elaboración propia (2017)

Las Figuras 21 y 22 muestran la variación de cenizas y humedad de los panes producto de las dosis de harina de chía, en comparación con su contenido en las semillas de chía.

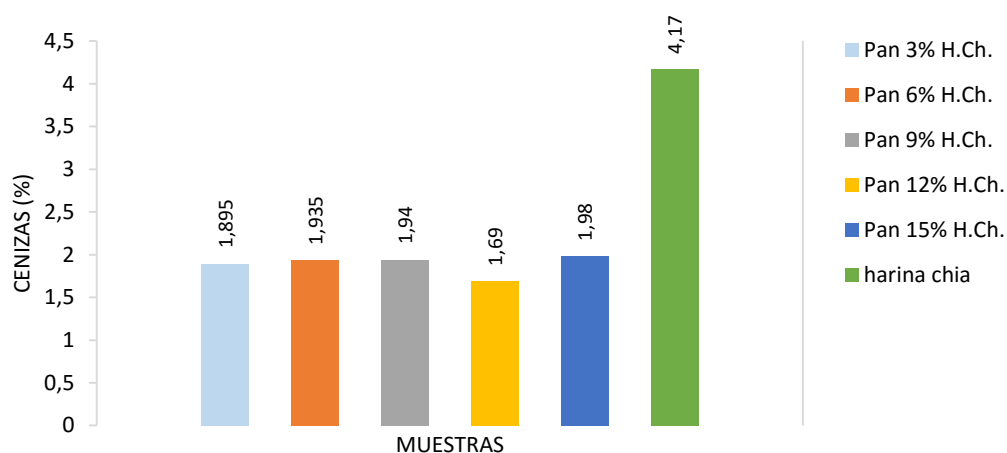


Figura 21. Comparación de cenizas entre las muestras de pan y la harina de chía

Fuente: elaboración propia (2016)

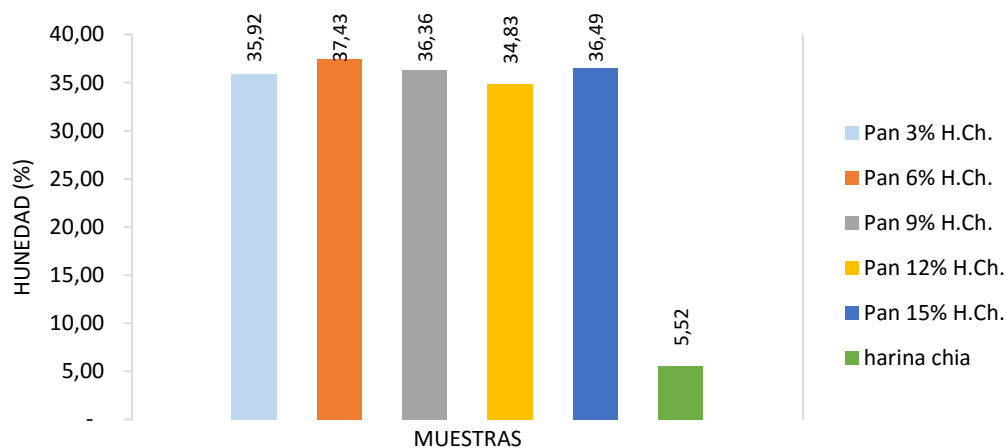


Figura 22. Comparación de humedad entre las muestras de pan y la harina de chía

Fuente: elaboración propia (2017)

Las Figuras 23 y 24 muestran la variación de lípidos y carbohidratos de los panes producto de las dosis de harina de chía, en comparación con el contenido en las semillas de chía.

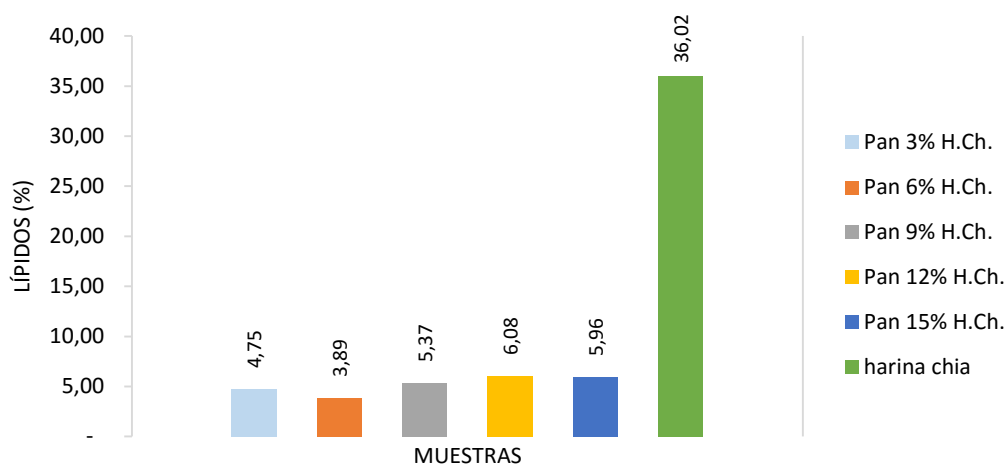


Figura 23. Comparación de lípidos entre las muestras de pan y la harina de chía

Fuente: elaboración propia (2017)

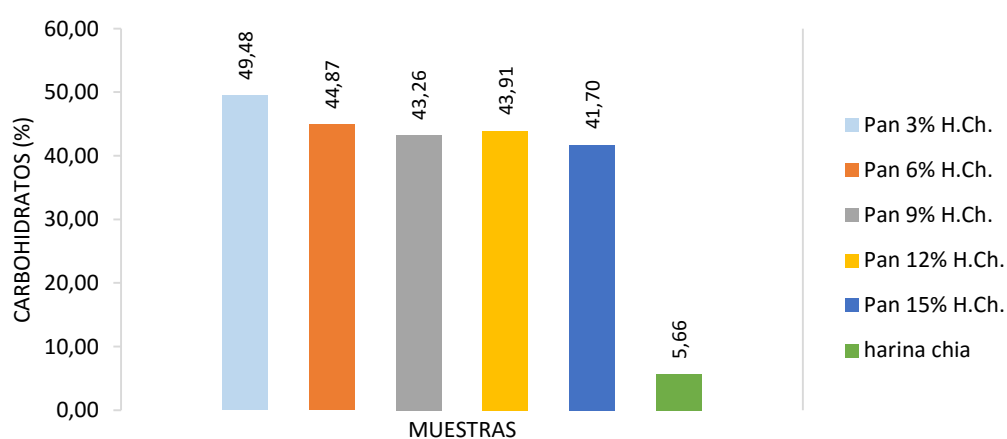


Figura 24. Comparación de carbohidratos entre las muestras de pan y la harina de chía

Fuente: elaboración propia (2017)

La Figura 25 muestran la variación de fibra cruda de los panes producto de las dosis de harina de chía, en comparación con el contenido en las semillas de chía.

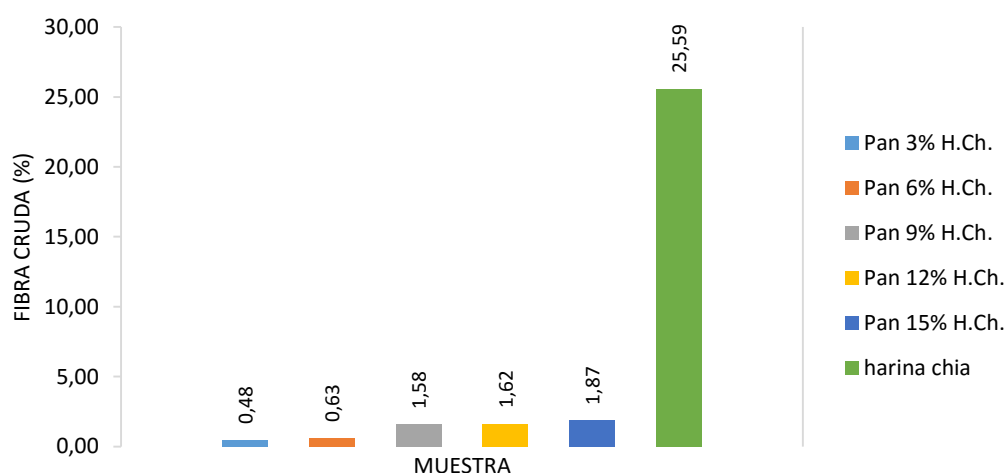


Figura 25. Comparación de lípidos entre las muestras de pan y la harina de chía Fuente: elaboración propia (2017)

Si bien aparentemente los valores de fibra cruda son bajos se debe considerar lo enunciado por la FAO (1995) que indica que los valores de fibra dietética generalmente son 3 a 5 veces mayores que los valores de fibra cruda.

La Figura 26 muestran la variación del valor calórico de los panes producto de las dosis de harina de chía, donde destaca que en general no hay diferencias evidentes entre las muestras, mientras que la semilla presenta un mayor valor explicado por su elevado contenido en lípidos.

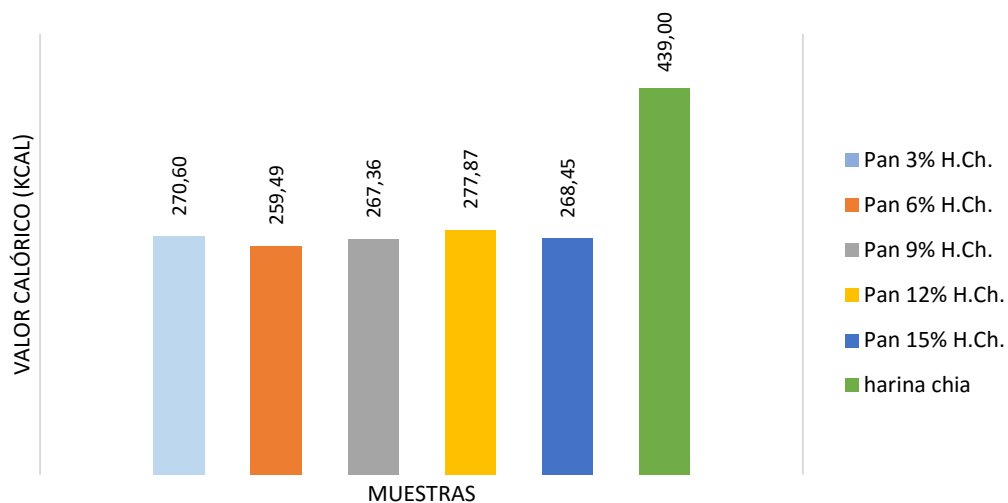


Figura 26. Comparación del valor calórico entre las muestras de pan y la harina de chía
 Fuente: elaboración propia (2017)

5.2.1 Resultados para el análisis físico

La dureza del pan de molde es la característica más evidente de textura observada por los consumidores, que influye grandemente en el juicio de la aceptabilidad del producto (Cauvain y Young, 2009). Este es uno de los parámetros más importantes y se relaciona con la fuerza aplicada para causar deformación o rotura de la muestra evaluada en texturómetros mecánicos (Esteller *et al.*, 2004) y está correlacionado con la mordedura humana durante la ingesta de alimentos. En la Tabla 10 se muestran los resultados de la medición instrumental de la textura (Figura 27) de los panes adicionados con harina de chía. En este se observa que,

con respecto al porcentaje de harina, la medida de la textura también está en un rango de 1,74 kg/cm² hasta 2,13 kg/cm² .



Figura 27. Medición instrumental de la textura del pan
Fuente: elaboración propia (2017)

Tabla 10. Resultados del análisis físico de los panes de molde con adición de harina de Chía

Harina de chía %	Textura (kg/cm ²)
3	1,74
6	1,82
9	1,85
12	1,99
15	2,13

Fuente: elaboración propia (2017)

Y para explicar el comportamiento de la textura instrumental (Figura 24) por efecto de las dosis de harina de chía, se propuso el ajuste de un modelo cuadrático, el análisis de varianza de dicho modelo (Anexo 8)

resultó con un el valor p (0,016) inferior al nivel de significancia de 0,05 y por tanto, se concluye que el modelo propuesto si ajusta adecuadamente los datos de la medida instrumental en función a las concentraciones de harina de chía. Asimismo, el coeficiente de determinación ajustado (R^2 aj) del 96,8 % resultó muy cercano al 100 %, confirmando que el modelo cuadrático (Figura 28) sirve para predecir la textura (kg/cm^2) del pan de molde en el rango de adición de harina de chía.

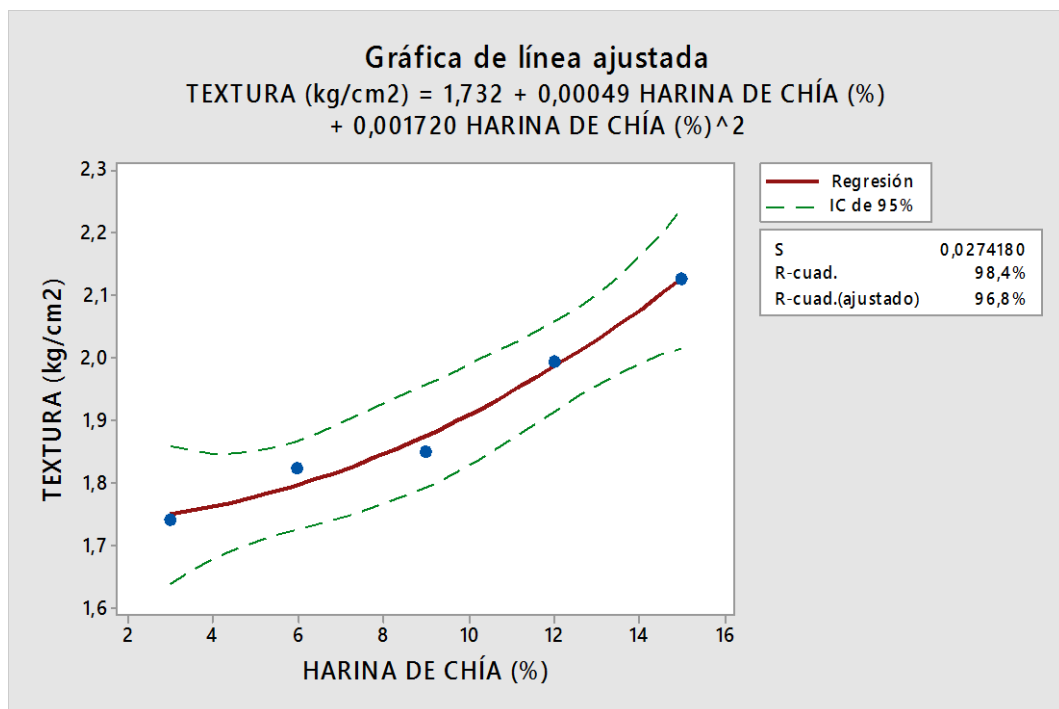


Figura 28. Modelo cuadrático para los datos de la textura instrumental
Fuente: elaboración propia (2017)

5.2.2 Optimización sensorial

Para la optimización se procedió en dos pasos:

- a) En el primer paso se tomaron las siguientes restricciones:
- Variables de entrada: mantener en el rango de estudio a los niveles de la variable independiente (concentración de harina de chía).
 - Variables respuestas: maximizar los atributos sensoriales olor en su forma cuadrática.

Aplicando la metodología de la función deseada, se obtuvo la concentración óptima de 5,06 % de harina de chía (Figura 29) con un valor D de 0,5345. Valor inferior para ser considerado como óptimo aceptable. Y por ello se siguió con la optimización buscando nuevas condiciones.

- b) En el segundo paso se tomaron las siguientes restricciones:
- Variables de entrada: mantener en el rango de estudio a los niveles de la variable independiente (concentración de harina de chía).
 - Variables respuestas: maximizar los atributos sensoriales pero en su forma cúbica.

El resultado de dicha segunda operación de optimización, resultó con una concentración de 12,81 % y un valor D de 0,6095. Lo que confirma que los modelos cúbicos son adecuados pero el valor de deseabilidad no satisface el criterio que debe ser mayor a 0,7 para ser considerado óptimo aceptable.

c) En el tercero paso se tomaron las siguientes restricciones:

- Variables de entrada: mantener en el rango de estudio a los niveles de la variable independiente (concentración de harina de chía).
- Variables respuestas: maximizar los atributos sensoriales cuyas formas cúbicas presente un D mayor a 0,7.

El resultado de dicha operación resultó una concentración de 11,96 % con un valor D de 0,9947 y por tanto dicho porcentaje de harina será considerado el óptimo resultante por ser mayor a 0,7.

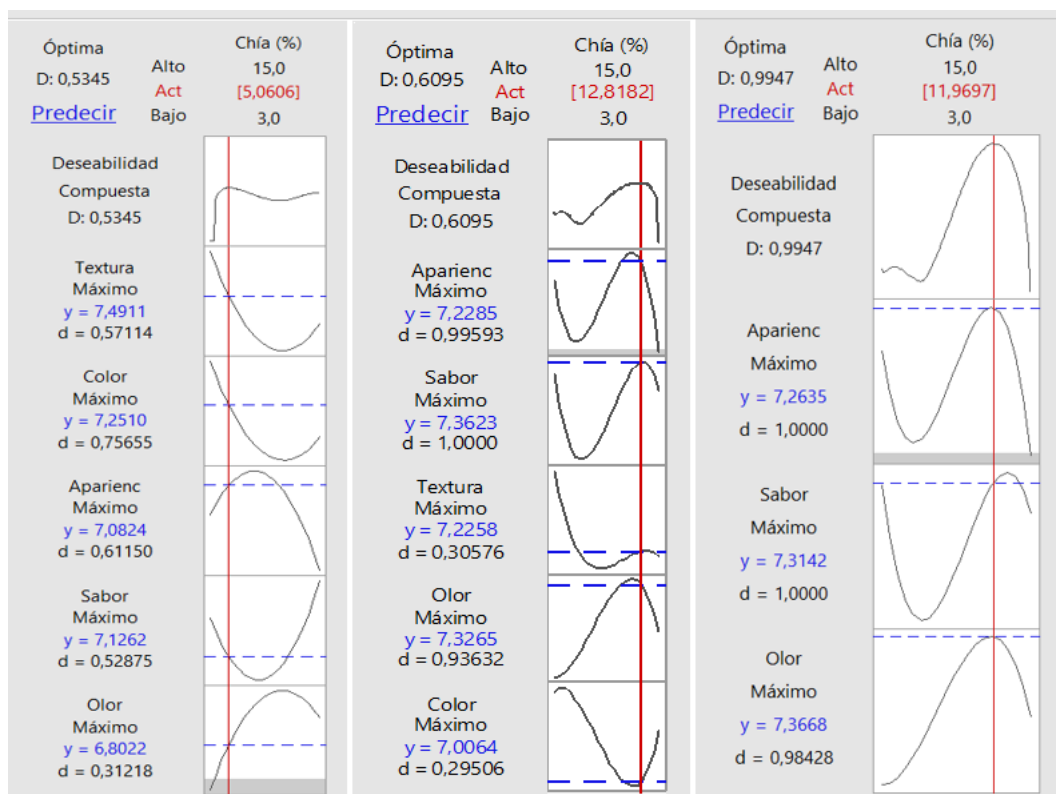


Figura 29. Optimización numérica para los atributos sensoriales del pan de molde con harina de chía según modelos y función de deseabilidad

Fuente: Software Minitab 17

En la tabla 11 se detallan los análisis de textura de la corteza y de la miga del pan de molde optimizado. Donde se reportan las distancias de penetración producto de los pesos sometidos por el instrumento (Figura 30), donde sus valores de penetración de la miga son de 2 a 3 veces mayores que en la corteza.



Figura 30. Medición de la textura en corteza y miga del pan de molde con 11,7% de harina de Chía
Fuente: elaboración propia (2017)

Tabla 11. Medición de la textura de corteza y miga del pan de molde óptimo

Peso (g)	Corteza (cm)	Miga (cm)
50	0,867	1,633
90	0,967	2,033
100	0,800	2,233

Fuente: elaboración propia (2017)

Asimismo, se realizó un análisis sensorial final comparativo entre la muestra óptima y 2 muestras comerciales, una de pan de molde tradicional y otra “integral”, los resultados demuestran que en general (Figura 31) la preferencia de los consumidores se inclina por el pan de molde tradicional, aunque se observa similitudes en la preferencia en la textura de entre el pan de molde integral y el pan de molde óptimo.

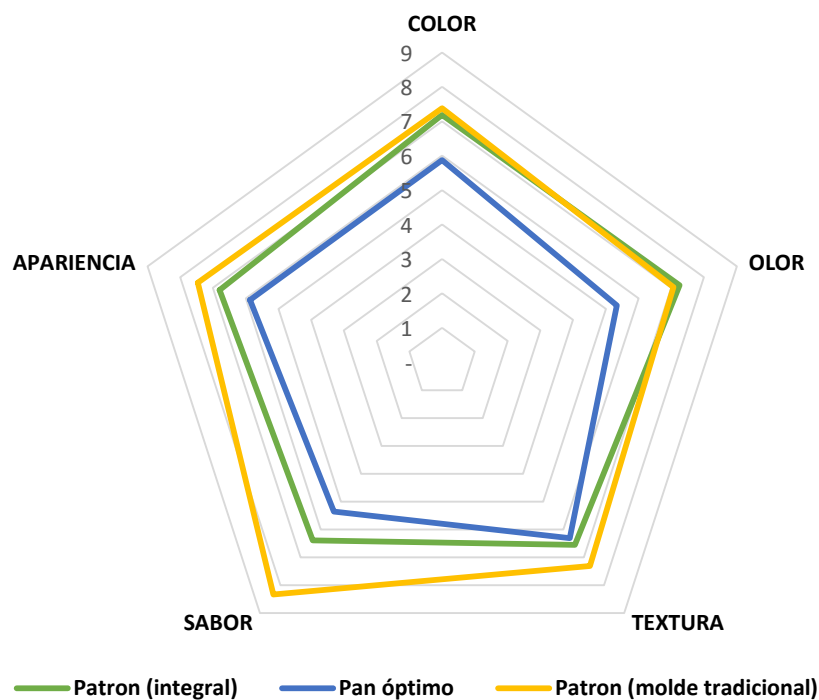


Figura 31. Perfil de los atributos sensoriales comparativos entre la muestra óptima y las muestras comerciales de pan de molde
Fuente: elaboración propia (2017)

En tabla 12 se muestra la comparación de las mismas muestras de pan a nivel de su composición proximal, destacando el óptimo por un nivel

ligeramente alto en proteínas, cenizas, y lípidos con alto contenido potencia de fibra dietética pues considerando el valor de 1,62 % de FC por el rango multiplicador de 3 a 5, el pan óptimo contendría de 4,86 % a 8,1 % de fibra dietética.

Tabla 12. Cuadro comparativo de la composición proximal entre el pan óptimo y un pan blanco de molde comercial

Composición	Pan óptimo	Patrón (molde tradicional)	Patrón (integral)
Proteínas	12,25	9,40	10,80
Cenizas	1,76	0,36	0,94
Humedad	34,97	40,64	35,46
Lípidos	6,38	2,20	3,00
Carbohidratos	43,02	45,7	43,95
Fibra	1,62 ¹	1,70 ²	5,85 ²

Fuente: elaboración propia (2017) ¹ fibra cruda ² fibra dietética

El flujo definitivo resultante es tal como se muestra en la Figura 32, donde se destaca también la respuesta de textura instrumental y componentes proximales que, si bien no se utilizaron para la determinación del tratamiento óptimo, sirven para conocer las características de dicho pan obtenido.

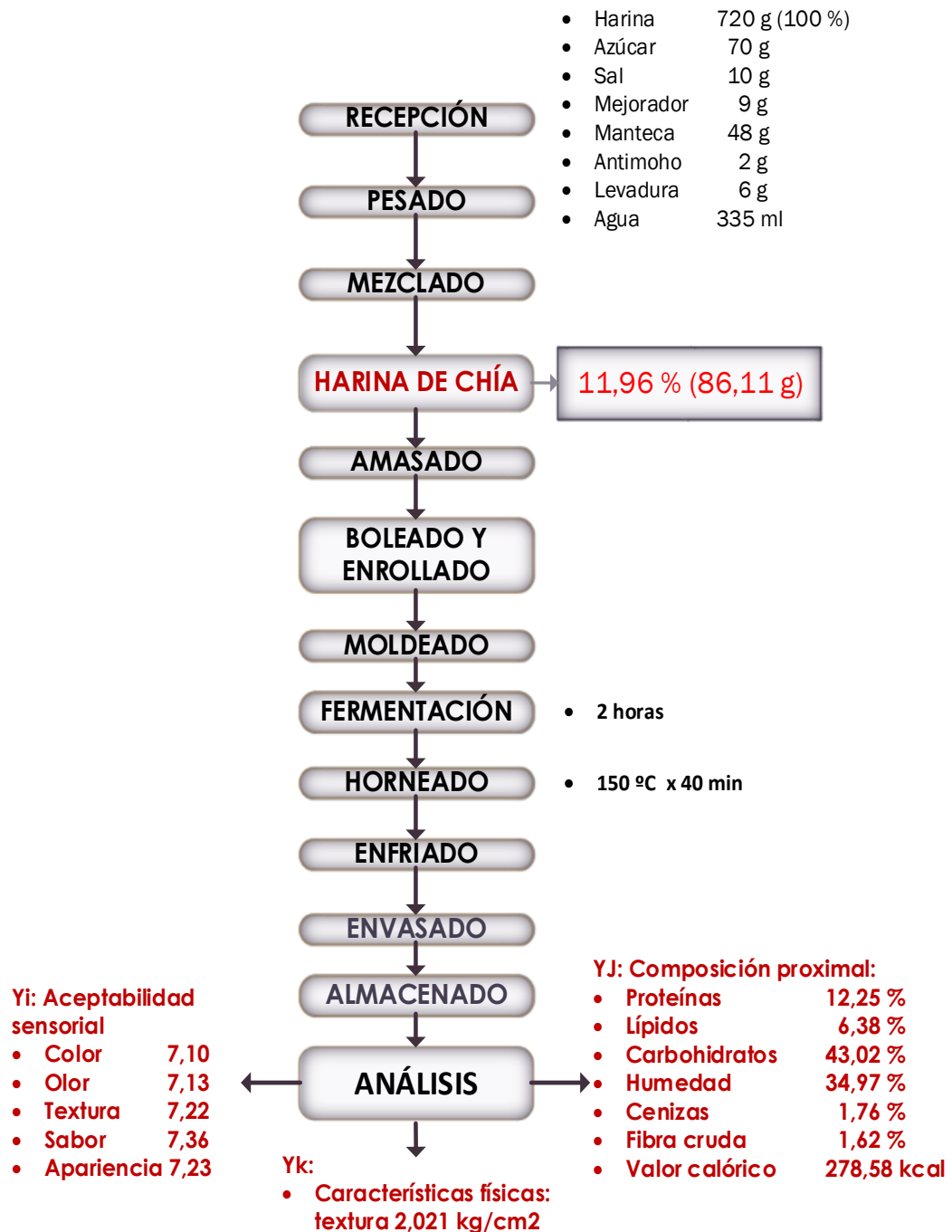


Figura 32. Flujo definitivo en la elaboración de pan de molde con adición de harina de chía

Fuente: elaboración propia (2017)

5.3 Discusión de resultados

5.3.1 Aceptabilidad sensorial

El color es uno de los parámetros importantes para la característica sensorial. Los panes con mayor concentración de harina de chía eran más oscuros en comparación con el control, como lo demuestra la tendencia de los panelistas mediante la reducción gradual de los valores de aceptabilidad sensorial. Es decir que aún para el consumidor el adaptarse a un nuevo producto no le es muy fácil aceptar las nuevas características y por lo general tiende a preferir el producto tradicional.

En general, los resultados de la evaluación sensorial reveló una escasa variación en la aceptación de olor, textura y sabor de los panes experimentales pues obtuvieron calificaciones de 7 hasta 8 (“me gusta poco” hasta “me gusta moderadamente”), comportamiento también reportado por Garda et al., (2012) quienes afirman que una fórmula con semillas de lino y chía en pan de bajo gluten fue preferida en todas las características evaluadas, siendo la aceptabilidad global el atributo calificado más positivamente, atributos como sabor, aroma y esponjosidad demuestran similar preferencia. Si bien el color fue el atributo con menores diferencias obtenidas, aun así, sigue marcando diferencia con respecto de la fórmula estándar. La propuesta de optimización de 11,96 % de harina de

chía resulto con ligeras mejoras en la aceptabilidad, valor muy superior a los reportado por Baños (2007) quien para el pan enriquecido con fibra soluble el análisis sensorial reporta una buena aceptación del producto formulado con 5% de fibra soluble.

Ramírez et al., (2008), obtuvieron la fórmula base con mejor aceptabilidad en la masa de pan un mayor porcentaje de sustitución (20%). Donde la prueba de evaluación sensorial afectiva en niños encontrando una aceptabilidad excelente.

5.3.2 Textura instrumental

La calidad de miga resultante con respecto a la miga del pan testigo presenta alvéolos más abiertos y no homogéneos, inclusive el pan con 11,96 % de harina de chía, presenta una estructura más cerrada y uniforme. En función a la operación de elaboración se debe desatacar que el amasado con dosis de harina de chía llevo más tiempo que el tiempo del pan testigo, es decir que presencia creciente de harina de chía redujo la fuerza de la harina de trigo afectando directamente la presencia y calidad del gluten. Pues se debe considerar que la aireación que reproduce durante el amasado proporciona pequeñas burbujas de aire que actúan como puntos de nucleación para la difusión del CO₂ y el crecimiento de dichas

celdillas durante la fase de fermentación. Sin estos puntos de nucleación el CO₂ producido no tendría sitios o huecos a donde ir y se saldría de la masa por lo que se produciría un pan con muy pocas celdillas de gas, escaso volumen y una estructura abierta y poco atractiva.

En general, los panes adicionados con harina de chíá presentan una distribución de las celdillas uniforme, lo que indica que, aunque llevó más tiempo hubo una buena aireación durante el amasado y que la masa empleada tenía una extensibilidad aceptable, y por lo tanto el CO₂ producido durante la cocción del pastel se difundió correctamente y no salió de la masa haciendo que el producto final tenga un volumen adecuado.

De acuerdo con Pomeranz et al., (1992) el exceder en la sustitución de cierto nivel de harina por fibra insoluble, causaría la disminución del volumen de la hogaza, mucho más que por la disolución del gluten. Ello se atribuyen el decremento en la alta calidad de la hogaza de pan y a la poca retención de gas en la masa, hogaza que al contener la mayoría de fibra insoluble favorece a una solidificación de peso y esponjamiento, lo que trae como consecuencia una solidificación prematura de la estructura de la hogaza por la gelatinización prematura con los niveles altos de agua en la masa.

Según Silveira y Salas (2013) la fuerza máxima evaluada para productos de panadería es dependiente de la formulación (calidad de la harina, la cantidad de azúcares, grasas, emulsionantes, enzimas y adición de mejoradores de gluten y harina), de la conservación de la masa y de la humedad (sincronización de producto, fabricación y embalaje). En la fuerza máxima de los panes elaborados, los de mayor concentración de harina de chía obtuvieron valores significativamente superiores a los de menor concentración.

5.3.3 Composición proximal

Considerando los resultados obtenidos en la evaluación tecnológica del pan con adición de harina de chía, Silveira y Salas (2014) afirman que la hidratación de la chía en la panificación hace que los nutrientes pueden ser mejor utilizados por el cuerpo. La capacidad de hidratación es una característica fisicoquímica de la fibra, definida a partir de la presencia de grupos hidrófilos de la superficie y la disposición estructural de las moléculas que comprende esta fracción (Annison y Choct, 1994).

En el caso de los componentes que forman la fibra insoluble contenida en la chía, la cantidad de grupos hidrófilos es muy pequeña y su capacidad de hidratación es más dependiente de los espacios intra-celulares de su

superficie de contacto (Van Soest, 1994). Por las cualidades a destacar en el pan propuesto en su contenido en fibra soluble que por el factor multiplicador recomendado por la FAO (1995) se puede afirmar que un 4,86 % es el potencial contenido mínimo de fibra dietética, que probablemente contenga y que probablemente influyo en la medición textural instrumental. Cuyo efecto según Stephen y Cummings, (1979) un alimento rico en fibra soluble presenta mayores espacios intracelulares (como en el pan), en consecuencia, mayor es el contenido de hidratación de la fibra insoluble.

Se comprobó que el porcentaje de proteínas del tratamiento óptimo reporto un valor alto (11,96 %) en comparación con otros panes de molde comerciales, además su contenido de humedad no superó el máximo permitido según la norma sanitaria de fabricación del MINSA (40%) pues resulto con 34,93 %, resultados que coinciden con Iglesias y Haros (2011) quienes notaron que muestras de pan que contenían chía aumentaron su aporte nutritivo en comparación con un tratamiento control, mostrando mayor calidad nutricional, tecnológica y sensorial que el pan control. La inclusión de chía no modifico las condiciones de elaboración.

CONCLUSIONES

1. La influencia de la sustitución de harina de trigo por harina de chía sobre la aceptabilidad del pan de molde, evaluada a través del modelo cúbico: no fue significativa al 0,10 tanto para el color y textura; fue significativo para el olor y apariencia al 0,10 y para el sabor al 0,05. En general los panes calificaron entre “me gusta moderadamente” y “me gusta mucho.
2. La influencia del porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina de chía sobre la composición proximal y valor calórico del pan molde dio como resultado un pan funcional por la riqueza en fibra soluble (4,86 %) confiriendo al producto final características funcionales.
3. La influencia de la harina de chía sobre la textura física del pan molde, resultó significativa al 0,05, con una relación directa entre el porcentaje de harina y su valor de presión de textura en un rango que va desde 1,74 kg/cm² hasta 2,13 kg/cm² .
4. La concentración óptima de sustitución de harina de trigo por harina de chía es 11,96 % que da un pan con proteínas 12,25 %; lípidos 6,38 %; carbohidratos 43,02 %; agua 34,97 %; cenizas 1,76%; fibra cruda 1,62% con 278,28 kcal y 2,021 kg/cm² de presión en textura instrumental.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar la vida útil del pan en función al tipo de envase.
2. Evaluar la textura instrumental y sensorial en función a aditivos humectantes a fin de mejorar la dosis de harina de chía.
3. Determinar el efecto de sustitución combinada con otras semillas como ser quinua o harina de trigo integral sobre la aceptabilidad sensorial del pan de molde
4. Se recomienda realizar un análisis para poder determinar el contenido de omega tres y ácidos grasos presentes en el pan de molde enriquecido con harina de chía, para mayores conocimientos en cuanto a las propiedades nutricionales.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- AACC. American Association of Cereal Chemists (1981). *Approved Methods of the AACC*. Décima Edición. The American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, EE.UU.
- Aguado, J. (2002). *Ingeniería de la Industria Alimentaria. Operaciones de Procesado de Alimentos* Ed. Síntesis: 30-61.
- Alija, C, Leealavatchick, Rao U. (2008). *Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango pectin powder*. Journal of cereal science, 48:319 -326.
- Annisson, G.; Choct, M. (1994) *Plant polysaccharides - their physicochemical properties and nutritional roles in monogastric animals*. In: Alltech Annual Symposium, 10, 1994. Proceedings. Nottingham: University Press, p.51-66.
- Anzaldúa A. (1994). *La Evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica*. España. Editorial Acribia S. A..
- Ayerza R, Coates W (2004). *Protein and oil content, peroxide index and fatty acid composition of chía (Salvia hispanica L) grown in six tropical and sub-tropical ecosystems of South America*. Trop Sci, 44: 131-135

- Baños B.(2007) Caracterización reologica de masas de harina de trigo adicionadas con fibra soluble. tesis, Universidad Autónoma Del Estado De Hidalgo. Tulancingo Mexico
- Betancur S. (2005). *Operacionalización de Variables* Universidad de Caldas. Colombia
- Capitanl I, Spotorno V, Nolasco S., Tomás M. (2012). *Physicochemical and functional characterization of by-products from chía (Salvia hispanica L.) seeds of Argentina*. LWT - J Food Sci Technol, 45: 94-102
- Castro-González M. (2002). Ácidos Grasos Omega 3: Beneficios y Fuentes Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal Sistema de Información Científica
- Cauvain, S.P.; Young, LS. (2009) *Tecnología da Panificado*. 2 Ed. Sao Paulo: Editora Manóle, , 418p.
- Chow KC (1992). *Fatty acids in foods and their Health implications*. Marcel Decker; USA.
- Hernando D. (2012). *Evolución de la vida útil en panes sin corteza blancos al sustituir el mejorante y sórbico habituales*. Tesis de maestría. Universidad deValladolid-España
- Dayelet (2015). *Harina de Chia*. En: <https://www.dayelet.com/es/harina-de-chia.html>

- Dupont J. (1999). *Fats and Oils*. Encyclopedia of Human Nutrition. Academic Press. USA.
- Derringer, G. C.; Suich, R. (1980). *Simultaneous optimization of several response variables*. J. Quality Technol. Pág. 30 – 40.
- Diario Oficial de la Unión Europea 2009. *Autorización de la comercialización de semillas de chía (Salvia hispanica) como nuevo ingrediente alimentario con arreglo al Reglamento (CE) N° 258/97 del Parlamento Europeo y del Consejo*
- De La Vega G. (2009) *Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales*. Temas de Ciencia y Tecnología vol. 13 número 38. Universidad Tecnológica de la Mixteca. Oaxaca. México
- Díaz Vélez C. (2012). *Operacionalización de variables*. Lambayeque-Perú.
- Espinoza E. (2003). *Evaluación sensorial de los alimentos*. Imprenta Universitaria. Tacna-Perú
- Esteller, M.S.; Amaral, R.L; Lannes, S.C.S. (2004). *Effect of sugar and fat replacers on the texture of baked goods*. Journal of Texture Studies 35:383-393,
- European Food Information Council (2010) *Innovación y reformulación de alimentos para mejorar la salud de los europeos*
<http://www.eufic.org/article/es/artid/Innovacion-reformulacion->

alimentos-para-mejorar-la-salud-de-los-europeos-una-mision-complicada/

FAO/OMS (1997). *Grasas y aceites en la nutrición humana*. Organización Mundial de la Salud. 168 pp.

Garda M. y otros (2012). *Rol de los hidrocoloides de semillas de chía y lino en la optimización de panificados libres de gluten*. Asociación Argentina de Dietistas y Nutricionistas Dietista. Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Gómez S. (2008). *Comportamiento Del Volumen de Pan de Masa Madre- Masa Directa Preformado y Refrigerado* M.C. Instituto Politécnico Nacional Durango-Mexico

González G. y otros (2009). *Aspectos nutricionales y sensoriales de vegetales frescos cortados*. Editorial Trillas. México, D.F.

Granato Daniel y Ares Gastón (2014) *Mathematical and statistical methods in food science and technology* / edited by WILEY Blackwell. West Sussex, UK. p. 9

Gutiérrez H. De la Vara R. (2008) *Análisis y diseño de experimentos* Segunda edición McGrawHill. México

Guiotto Estefanía N. (2014) *Aplicación de subproductos de chía (Salvia hispanica L.) y girasol (Helianthus annuus L.) en alimentos*. Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires-Argentina

- Heenan, s.p., nazimah hamid, n., dufour, j.p., harvey, w., &delahunty, M (2009). "Consumer freshness perceptions of breads, biscuits and cakes". En *Food Quality and Preference* 20,. Páginas 380 al 390
- Hernando D. (2012) Evolución de la vida útil en panes sin corteza blancos al sustituir el mejorante y sórbico habituales. Universidad de Valladolid. Castilla y León. España
- Hoseney RC. (1994). Structure of Cereal. En: *Principies of Cereal Science and Technology*, Second Edition. Editado por Hoseney RC. American Association of Cereal Chemists, USA. 1-27.
- Iglesias E., Haros M. (2012) *Mejora del valor nutricional y tecnológico de productos de panadería por incorporación de ingredientes a base de chíá (Salvia hispanica L.)* Universidad Politécnica de Valencia. España
- Katina K. *Sourdough a tool for the improved flavour, texture and shelf-life of wheat bread* (2005). Thesis. VTT Technical Research Centre of Finland.
- Kihlberg, i., Johansson, l., kohler, a. &risvik, E. (2004) "Sensory qualities of whole wheat pan bread influence of farming system, milling and baking technique." In *Journal of Cereal Science*. Nº 39.. Páginas 67-84

Lainez, CE. (2006). *Estudio de la estabilidad de pan parcialmente horneado conservado en refrigeración*. Tesis de Licenciatura. Universidad de las Américas Puebla. México.

Lee MR, Swanson BG, Baik BK. (2001) Influence of amylose content on properties of wheat starch and breadmaking quality of starch and gluten blends. *Cereal Chemistry*, 78:701-706.

Mesas, J. M.; Alegre, M. T. (2002). *El pan y su proceso de elaboración* Ciencia. Tecnol Aliment. Vol. 3, No. 5, pp. 307-313, Lugo España

Montgomery, D. (2001). *Diseño y análisis de Experimentos* 5ta Edición. John Wiley & Sons, INC. Arizona- EEUU

Navidi William (2006) *Estadística para ingenieros*, 1ra Ed. McGraw-Hill Interamericana Colorado School of Mines. USA

Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería RMN°1020-2010/MINSA

Norma Oficial Mexicana NOM-051-SCFI-1994, Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados.

Panes peruanos (2016) *los insumos regionales de alta panadería*. Luxury Edition. Cusco – Perú

- Pomeranz, Y. Czuchajowska, Z., & Paszczynska, B., (1992). Functional properties of psyllium in wheat -based products. *Cereal Chem.*69:516-520.. Estados Unidos.
- Pozo M., Guichard, E. & Cayot, N. (2006) "Flavor Control in Baked Cereal Products".In *Food Reviews International* N° 22,. Páginas 335 al 379.
- Ramírez M., Beltrán-Orozco, M. y Cruz M. (2008). *Elaboración de un pan tipo cubilete con semillas de chía (Salvia hispanica) rico en fibra y antioxidantes para niños en edad escolar*. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. D.F. México. México
- Ricaute .V, Lucia y Polania .S, Tatiana (1996) *Utilización de la harina de quinua (chenopodium quinoa wild) en la elaboración de pastas alimenticias*. Tesis de grado. Bogotá.Universidad de La Salle Facultad de Ingeniería de Alimentos.
- Saguy, S. & Moskowitz, H.R. (1999). *Integrating the consumer into new product development*. *Food Technology*. 53(8): 68-73.
- Shewry PR, Popineau Y, Lafiandra D, Belton P. (2001). *Wheat glutenin subunits and dough elasticity: findings of the Eurowheat Project*. *Trend in Food Science & Technology*, 11:433-441.

- Silveira M.; Salas M. (2013) *Pan formulado con adición de harina de chía (Salvia hispanica L.)* Escuela de Química y Alimentos - Universidad Federal do Rio Grande - FURG. Rio Grande, Brasil
- Simopoulos A. (1999) *Essential fatty acids in health and chronic disease.* Am. J. Clin. Nutr 70:
- Smith, J. P. Daifas, D.P. El-Khoury, W. Koukoutsis, J. and El-Khoury, A. (2004). *Shelf Ufe and safety concerns of bakery producís - a review.* In Crit Rev Nutr, vol. 44, 2004, no. 1,p. 19-55.
- Sing R., Heldman R. (2001) *Introducción a la ingeniería de los alimentos.* 2da edición. Editorial ACRIBIA, S.A. Zaragoza (España)
- Supo J. (2012). *Seminarios de investigación científica* www.seminanosdeinvestigacion.com
- Stephen, A.M.; Cummings, J.H. (1979) *Water-holding by dietary fibre in vitro and its relationship to faecal output in man,* An International Journal of Gastroenterology and Hepatology 5, 20:722-729,
- Shewry, R R., and Halford, N. G. (2002). *Cereal seed storage proteins: Structures, pro-perties and role in grain utilization.* Journal of Experimental Botany, 53: 947-958
- Veraverbeke, W. S., and Delcour, J. A. (2002) *Wheat protein composition and properties of wheat glutenin in relation to breadmaking*

functionality. CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 42: 179 - 208

Tejero, F. (2011) *Asesoría Técnica en Panificación Francisco Tejero*, en: www.franciscotejero.com.

United States Department of Agriculture - USDA (2002). *Nutrient Database for Standard Reference. Release 15, Nutrient Data Laboratory*, Beltsville Research Center, US Department of Agriculture, Pennsylvania (USA)

Ureña, M., Arrigo, M., Giron, M. (1999). *Evaluación sensorial de los alimentos* – Primera edición – Universidad Nacional Agraria La Molina – Lima, Perú. Pág. 30 – 40

Van Soest, P.J. (1994) *Nutritional ecology of the ruminant*. 2. Ed. Ithaca: Cornell University Press,. Nueva York. USA p 76.

Vitti, P. Pao. (2001). *Bioteología industrial*. Sao Paulo: Edgar Blücher, v.4, cap.13, 365-386p.

ANEXOS

Anexo 1. Ficha de cata hedonica estructurada

NOMBRE: _____ FECHA: _____

Frente a usted hay muestras codificadas, las cuales debe probar una a una y marcar con una X en el casillero que corresponda según su juicio sobre cada muestra.

Atributo: _____

ESCALA	MUESTRAS						
	309	257	109	415	720	874	674
Me gusta muchísimo							
Me gusta mucho							
Me gusta moderadamente							
Me gusta un poco							
Me es indiferente							
Me disgusta un poco							
Me disgusta moderadamente							
Me disgusta mucho							
Me disgusta muchísimo							

Comentarios: _____

Anexo 2. Criterios físico químicos para el pan de molde

PRODUCTO	PARÁMETRO	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
Pan de molde (blanco, integral y sus productos tostados)	Humedad	40% - Pan de molde
		6% - Pan tostado
	Acidez (expresada en ácido sulfúrico)	0.5% (Base seca)
	Cenizas	4.0% (Base seca)

Fuente: Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería R^o N^o 1020-2010 MINSA

Anexo 3. Análisis de regresión polinomial: Color vs. Harina de chía (%)

COLOR

	Sonia	Lidia	Carolina	Nelly	M	M	H	Maria	Y	Julio	Alex	Luciana	Piera	
3%	7	8	7	6	8	7	8	6	8	8	7	8	8	7,38
6%	6	6	7	6	7	8	9	7	8	9	6	8	6	7,15
9%	9	6	8	7	6	9	9	7	7	8	5	7	7	7,31
12%	4	6	9	7	6	9	8	5	7	8	5	7	8	6,85
15%	8	8	8	8	6	8	7	6	7	7	7	7	7	7,23

a) Ajuste modelo cuadrático

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	2	0,06171	0,03086	0,57	0,635
Chía (%)	1	0,03765	0,03765	0,7	0,491
Chía (%)^2	1	0,02571	0,02571	0,48	0,56
Error	2	0,10741	0,0537		
Total	4	0,16912			

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,231739	36,49%	0,00%	0,00%

Término	Coef	EE del Coef	Valor T	Valor p
Constante	7,664	0,497	15,42	0,004
Chía (%)	-0,106	0,126	-0,84	0,491
Chía (%)^2	0,00476	0,00688	0,69	0,56

Ecuación de regresión

$$\text{Color} = 7,664 - 0,106 \text{ Chía (\%)} + 0,00476 \text{ Chía (\%)}^2$$

b) Ajuste modelo cubico

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	3	0,081964	0,027321	0,31	0,828
Chía (%)	1	0,007798	0,007798	0,09	0,815
Chía (%)^2	1	0,01524	0,01524	0,17	0,748
Chía (%)^3	1	0,02025	0,02025	0,23	0,714
Error	1	0,087156	0,087156		
Total	4	0,16912			

S	R-cuad.	R-cuad.	R-cuad.
	(ajustado)	(pred)	
0,295221	48,47%	0,00%	0,00%

Término	Coef	EE del Coef	Valor T	Valor p
Constante	7,03	1,45	4,84	0,13
Chía (%)	0,189	0,633	0,3	0,815
Chía (%)^2	-0,033	0,0783	-0,42	0,748
Chía (%)^3	0,0014	0,00288	0,48	0,714

Anexo 4. Análisis de regresión polinomial: Olor vs. Harina de chía (%)

	Sonia	Lidia	Carolina	Nelly	M	M	H	Maria	Y	Julio	Alex	Luciana	Piera	
3%	5	7	6	6	7	8	7	6	5	7	6	7	8	6,54
6%	7	7	6	6	7	7	8	5	7	8	6	7	7	6,77
9%	8	8	7	7	7	7	9	7	7	7	5	8	6	7,15
12%	9	8	7	7	7	8	8	8	8	7	4	8	7	7,38
15%	6	6	6	8	7	8	7	6	8	7	7	7	7	6,92

a) Ajuste modelo cuadrático

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	2	0,3549	0,17745	4,97	0,167
Chía (%)	1	0,23523	0,23523	6,59	0,124
Chía (%)^2	1	0,16721	0,16721	4,68	0,163
Error	2	0,07138	0,03569		
Total	4	0,42628			

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,188922	83,25%	66,51%	0,00%

Término	Coef	EE del Coef	Valor T	Valor p
Constante	5,776	0,405	14,25	0,005
Chía (%)	0,264	0,103	2,57	0,124
Chía (%)^2	-0,01214	0,00561	-2,16	0,163

Ecuación de regresión

$$\text{Olor} = 5,776 + 0,264 \text{ Chía (\%)} - 0,01214 \text{ Chía (\%)}^2$$

b) Ajuste modelo cúbico

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	3	0,425457	0,141819	172,35	0,056
Chía (%)	1	0,017857	0,017857	21,7	0,135
Chía (%)^2	1	0,047599	0,047599	57,85	0,083
Chía (%)^3	1	0,07056	0,07056	85,75	0,068
Error	1	0,000823	0,000823		
Total	4	0,42628			

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0286855	99,81%	99,23%	70,91%

Término	Coef	EE del Coef	Valor T	Valor p
Constante	6,952	0,141	49,27	0,013
Chía (%)	-0,2864	0,0615	-4,66	0,135
Chía (%)^2	0,05786	0,00761	7,61	0,083
Chía (%)^3	-0,002593	0,00028	-9,26	0,068

Ecuación de regresión

$$\text{Olor} = 6,952 - 0,2864 \text{ Chía } (\%) + 0,05786 \text{ Chía } (\%)*\text{Chía } (\%) - 0,002593 \text{ Chía } (\%)*\text{Chía } (\%)*\text{Chía } (\%)$$

Anexo 5. Análisis de regresión polinomial: Textura vs. Harina de chía (%)

Textura

	Sonia	Lidia	Carolina	Nelly	M	M	H	Maria	Y	Julio	Alex	Luciana	Piera	
3%	7	9	7	7	8	8	9	8	8	9	8	7	8	7,92
6%	6	6	8	7	8	7	8	7	8	9	7	7	7	7,31
9%	6	8	7	7	8	6	7	6	8	7	6	8	6	6,92
12%	9	7	6	7	8	7	7	5	9	8	6	8	8	7,31
15%	8	5	7	8	8	6	8	6	9	7	6	7	8	7,15

a) Ajuste modelo cuadrático

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	2	0,4388	0,21938	3,98	0,201
Chía (%)	1	0,2859	0,28594	5,18	0,151
Chía (%)^2	1	0,2016	0,2016	3,65	0,196
Error	2	0,1103	0,05516		
Total	4	0,5491			

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,234862	79,91%	59,82%	0,00%

Término	Coef	EE del Coef	Valor T	Valor p
Constante	8,624	0,504	17,12	0,003
Chía (%)	-0,291	0,128	-2,28	0,151
Chía (%)^2	0,01333	0,00697	1,91	0,196

Ecuación de regresión

$$\text{Textura} = 8,624 - 0,291 \text{ Chía (\%)} + 0,01333 \text{ Chía (\%)}^2$$

b) Ajuste modelo cúbico

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	3	0,49805	0,16602	3,25	0,382
Chía (%)	1	0,13795	0,13795	2,7	0,348
Chía (%)^2	1	0,08541	0,08541	1,67	0,419
Chía (%)^3	1	0,05929	0,05929	1,16	0,476
Error	1	0,05103	0,05103		
Total	4	0,54908			

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,225898	90,71%	62,83%	0,00%

Término	Coef	EE del Coef	Valor T	Valor p
Constante	9,7	1,11	8,73	0,073
Chía (%)	-0,796	0,484	-1,64	0,348
Chía (%)^2	0,0775	0,0599	1,29	0,419
Chía (%)^3	-0,00238	0,0022	-1,08	0,476

Ecuación de regresión

$$\text{Textura} = 9,70 - 0,796 \text{ Chía } (\%) + 0,0775 \text{ Chía } (\%)*\text{Chía } (\%) - 0,00238 \text{ Chía } (\%)*\text{Chía } (\%)*\text{Chía } (\%)$$

Anexo 6. Análisis de regresión polinomial: Sabor vs. Harina de chía (%)

	Sonia	Lidia	Carolina	Nelly	M	M	H	Maria	Yo	Julio	Alex	Luciana	X	
3%	7	8	7	6	8	7	9	6	5	8	8	8	8	7,31
6%	7	6	7	6	7	7	8	7	5	7	8	7	7	6,92
9%	8	7	8	7	8	9	8	7	8	6	5	6	5	7,08
12%	9	6	7	8	8	8	8	8	9	5	5	7	7	7,31
15%	6	5	8	8	7	8	8	7	8	8	6	7	8	7,23

a) Ajuste modelo cuadrático

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	2	0,0393	0,01965	0,53	0,653
Chía (%)	1	0,02784	0,02784	0,75	0,477
Chía (%)*Chía (%)	1	0,03401	0,03401	0,92	0,439
Error	2	0,0741	0,03705		
Total	4	0,1134			

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
0,192487	34,65%	0,00%

Coeficientes				
Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p
Constante	7,446	0,413	18,04	0,003
Chía (%)	-0,091	0,105	-0,87	0,477
Chía (%)*Chía (%)	0,00548	0,00572	0,96	0,439

Ecuación de regresión

$$\text{Sabor} = 7,446 - 0,091 \text{ Chía (\%)} + 0,00548 \text{ Chía (\%)*Chía (\%)}$$

b) Ajuste modelo cúbico

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	3	0,113257	0,037752	264,27	0,045
Chía (%)	1	0,09329	0,09329	653,03	0,025
Chía (%)*Chía (%)	1	0,08462	0,08462	592,34	0,026
Chía (%)*Chía (%)*Chía (%)	1	0,07396	0,07396	517,72	0,028
Error	1	0,000143	0,000143		
Total	4	0,1134			

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
0,0119523	99,87%	99,50%

Coeficientes				
Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p
Constante	8,65	0,0588	147,12	0,004
Chía (%)	-0,6547	0,0256	-25,55	0,025
Chía (%)*Chía (%)	0,07714	0,00317	24,34	0,026
Chía (%)*Chía(*)*Chía (%)	-0,002654	0,000117	-22,75	0,028

Ecuación de regresión

$$\text{Sabor} = 8,6500 - 0,6547 \text{ Chía (\%)} + 0,07714 \text{ Chía (\%)*Chía (\%)} - 0,002654 \text{ Chía (\%)*Chía (\%)*Chía (\%)}$$

Anexo 7. Análisis de regresión polinomial: Apariencia vs Harina de chía (%)

	Sonia	Lidia	Carolina	Nelly	M	M	H	Maria	Yo	Julio	Alex	Luciana	X	
3%	7	8	8	6	7	7	9	4	5	8	8	8	8	7,15
6%	6	7	7	6	7	7	8	6	5	9	7	8	6	6,85
9%	8	5	7	7	7	7	8	7	8	7	7	7	7	7,08
12%	9	5	8	7	6	8	9	6	8	7	7	7	7	7,23
15%	8	4	7	8	5	7	7	6	8	7	7	7	8	6,85

a) Ajuste modelo cuadrático

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	2	0,008954	0,004477	0,08	0,926
Chía (%)	1	0,002447	0,002447	0,04	0,854
Chía (%)*Chía(%)	1	0,004114	0,004114	0,07	0,812
Error	2	0,112726	0,056363		
Total	4	0,12168			

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,237409	7,36%	0,00%	0,00%

Coeficientes				
Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p
Constante	6,978	0,509	13,7	0,005
Chía (%)	0,027	0,129	0,21	0,854
Chía (%)*Chía (%)	-0,0019	0,00705	-0,27	0,812

Ecuación de regresión

$$\text{Apariencia} = 6,978 + 0,027 \text{ Chía (\%)} - 0,00190 \text{ Chía (\%)*Chía (\%)}$$

b) Ajuste modelo cúbico

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	3	0,121314	0,040438	110,57	0,070
Chía (%)	1	0,097106	0,097106	265,52	0,039
Chía (%)*Chía (%)	1	0,106218	0,106218	290,44	0,037
Chía (%)*Chía (%)	1	0,11236	0,11236	307,23	0,036
Error	1	0,000366	0,000366		
Total	4	0,12168			

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
0,0191237	99,70%	98,80%

Coeficientes				
Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p
Constante	8,462	0,0941	89,95	0,007
Chía (%)	-0,6679	0,041	-16,29	0,039
Chía (%)*Chía (%)	0,08643	0,00507	17,04	0,037
Chía (%)*Chía (%)*Chía (%)	-0,003272	0,000187	-17,53	0,036

Ecuación de regresión

$$\text{Apariencia} = 8,4620 - 0,6679 \text{ Chía (\%)} + 0,08643 \text{ Chía (\%)*Chía (\%)} - 0,003272 \text{ Chía (\%)*Chía (\%)*Chía (\%)}$$

Anexo 8. Análisis de regresión: Textura (kg/cm2) vs. Harina de chía (%)

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	kg/cm2
3%	0,73	0,69	0,8	1,73	1,69	1,8	1,74
6%	0,79	0,82	0,86	1,79	1,82	1,86	1,82
9%	0,84	0,84	0,87	1,84	1,84	1,87	1,85
12%	1,04	0,96	0,98	2,04	1,96	1,98	1,99
15%	1,06	1,22	1,1	2,06	2,22	2,1	2,13

La ecuación de regresión es:

$$\text{Textura (kg/cm2)} = 1,732 + 0,00049 \text{ Harina de chía (\%)} + 0,001720 \text{ harina de chía (\%)}^2$$

S = 0,0274180 R-cuad. = 98,4% R-cuad.(ajustado) = 96,8%

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	2	0,092341	0,0461705	61,42	0,016
Error	2	0,0015035	0,0007517		
Total	4	0,0938444			

Análisis de varianza secuencial

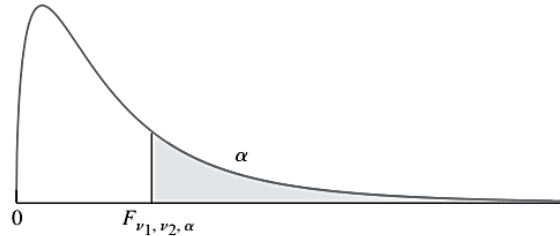
Fuente	GL	SC	F	P
Lineal	1	0,0889878	54,97	0,005
Cuadrático	1	0,0033532	4,46	0,169

Anexo 9. Matriz de consistencia del estudio

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Metodología	Población y Muestra
¿Cuál será el porcentaje óptimo de sustitución de harina de trigo por harina integral de chia (<i>Salvia hispanica</i> L.) en función a las características sensoriales, física y químicas del pan de molde?	Determinar del porcentaje óptimo de sustitución de harina de trigo por harina integral de chia (<i>Salvia hispanica</i> L.) en función a las características sensoriales, física y químicas del pan de molde.	La sustitución parcial de harina de trigo por harina integral de chia (<i>Salvia hispanica</i> L.) influirá en las características , física y químicas del pan de molde.	Tipo: Aplicativo Diseño: experimental y transversal Nivel: Explicativo	Población Con este tipo de consideraciones para el presente estudio. La población representa las
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variables	hipotéticas unidades de pan con determinada dosis de harina de Chía.
¿Cuál será la influencia del porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina integral de chia sobre la aceptabilidad sensorial del pan de molde?	Determinar la influencia del porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina integral de chia sobre la aceptabilidad sensorial del pan de molde.	La sustitución parcial de harina de trigo por harina integral de chia influirá sobre la aceptabilidad sensorial del pan de molde.	Variables independiente X: Porcentaje de harina de chia	Muestra Son los tratamientos representan a las muestras reales a diseñar. Los niveles propuestos para la presente investigación y los tratamientos se muestran en el cuadro 3 respectivamente.
¿Cuál será la influencia del porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina integral de chia sobre la composición proximal y valor calórico del pan molde?	Determinar la influencia del porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina integral de chia sobre la composición proximal y valor calórico del pan molde.	La sustitución parcial de harina de trigo por harina integral de chia influirá sobre la composición proximal y valor calórico del pan de molde.	Variables de dependientes: Yi:Aceptabilidad sensorial del color, apariencia olor, textura y sabor Yj:Composición proximal: proteínas, lípidos, carbohidratos, humedad, cenizas y fibra. Yk:Característica física: textura	
¿Cuál será la influencia del porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina de chia sobre la característica física del pan molde?	Determinar la influencia del porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina de chia sobre la característica física del pan de molde.	La sustitución parcial de harina de trigo por harina integral de chia influirá sobre la característica física del pan de molde.		
¿Cuál será el porcentaje óptimo de sustitución de harina de trigo por harina de chia en el pan de molde en función a las características sensoriales aplicando la función deseada?	Establecer el porcentaje óptimo de sustitución de harina de trigo por harina de chia para la elaboración del pan de molde aplicando la función deseada.	La función deseada, permitirá establecer el porcentaje óptimo de sustitución de harina de trigo por harina de chia en el pan de molde.		

Fuente: Elaboración propia (2016)

Anexo 10. Valores críticos F para distintos niveles de significancia



v_2	α	v_1								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.100	39.86	49.50	53.59	55.83	57.24	58.20	58.91	59.44	59.86
	0.050	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54
	0.010	4052.18	4999.50	5403.35	5624.58	5763.65	5858.99	5928.36	5981.07	6022.47
	0.001	405284	500012	540382	562501	576405	585938	592874	598144	603040
2	0.100	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38
	0.050	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38
	0.010	98.50	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.37	99.39
	0.001	998.50	999.00	999.17	999.25	999.30	999.33	999.36	999.37	999.39
3	0.100	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24
	0.050	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81
	0.010	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.35
	0.001	167.03	148.50	141.11	137.10	134.58	132.85	131.58	130.62	129.86
4	0.100	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.94
	0.050	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00
	0.010	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66
	0.001	74.14	61.25	56.18	53.44	51.71	50.53	49.66	49.00	48.47
5	0.100	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32
	0.050	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77
	0.010	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16
	0.001	47.18	37.12	33.20	31.09	29.75	28.83	28.16	27.65	27.24
6	0.100	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.96
	0.050	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10
	0.010	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98
	0.001	35.51	27.00	23.70	21.92	20.80	20.03	19.46	19.03	18.69
7	0.100	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72
	0.050	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68
	0.010	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72
	0.001	29.25	21.69	18.77	17.20	16.21	15.52	15.02	14.63	14.33
8	0.100	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56
	0.050	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39
	0.010	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91
	0.001	25.41	18.49	15.83	14.39	13.48	12.86	12.40	12.05	11.77
9	0.100	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.44
	0.050	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18
	0.010	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35
	0.001	22.86	16.39	13.90	12.56	11.71	11.13	10.70	10.37	10.11

Fuente: Navidi (2006)