

# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

## FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



---

---

### “EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE LA HARINA DE TRIGO (Triticum Aestivum) POR HARINA DE HABA (Vicia Faba) Y HARINA DE LINAZA (Linum usitatissimum) EN LA ELABORACIÓN DE PAN DE MOLDE”

---

---

Tesis para Optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

#### TESISTAS:

Bach. ALVARADO CORDOVA, Elizabeth Imelda

Bach. CERNA ROSALES, Elmer John

#### ASESOR:

Mg. Ing. MORENO ROJO, César

NUEVO CHIMBOTE - PERU

2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE**  
**INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**



**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

*“EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO (*Triticum Aestivum*) POR HARINA DE HABA (*Vicia Faba*) Y HARINA DE LINAZA (*Linum usitatissimum*) EN LA ELABORACION DE PAN DE MOLDE”*

**TESISTAS**

Bach. Elizabeth Imelda Alvarado Cordova.  
Bach. Elmer John Cerna Rosales.

Revisado y aprobado el día 22 de Junio de 2017 por siguiente Jurado Evaluador,  
Designado mediante Resolución Decanal 403-2017-UNS-FI

.....  
M.Sc. Saul Eusebio Lara  
Presidente

.....  
Ms. Cesar Moreno Rojo  
Secretario

.....  
Ms. Williams Castillo Martinez  
Integrante

# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE  
INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



## HOJA DE CONFORMIDAD DE ASESOR

El presente trabajo de tesis titulado "EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO (*Triticum Aestivum*) POR HARINA DE HABA (*Vicia Faba*) Y HARINA DE LINAZA (*Linum usitatissimum*) EN LA ELABORACION DE PAN DE MOLDE" Ha contado con el asesoramiento de quien deja constancia de su aprobación Por tal motivo firmo el presente trabajo en calidad de Asesor. Designado por RESOLUCION DECANAL N°959-2016-UNS-FI

.....  
Ms. CESAR MORENO ROJO  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

***A mis padres, María y Maguin***, porque creyeron en mí, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera; y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza.

***A mi hermano César***, por haber estado pendiente de mí, y por seguir aun apoyándome actualmente en mi vida.

***A mis hermanos Luz María, Liliana, Fernando y Hernán***; por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

***A Gerson Rodríguez***, por brindarme su amor, su paciencia, por haber apostado por mí., por muchas razones y sobretodo porque su sonrisa da primavera a mi vida.

***Elizabeth Alvarado Córdova***

## **DEDICATORIA**

Le Agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizaje, experiencias y sobre todo felicidad.

**A mis padres Felicita Rosales y Alejo Cerna** por estar conmigo en los momentos difíciles, por apoyarme y alentarme a alcanzar mis sueños. Gracias por creer en mí, darme un ejemplo de vida tan grande como la de ustedes y permitiéndome llegar a culminar una etapa más de mi vida.

**A mi amada esposa Teresa** por su apoyo y ánimo que me brinda día a día para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales

**A mis Hijos Ariana y Diego** que son la razón de mi vida el tesoro más grande que Dios me regalo y el motivo de mi existir.

**A mis hermanos y hermanas: Robert, Maritza, Nilton, Licelith y Magaly** que son mi fortaleza y el pilar de apoyo, ellos me han elevado espiritualmente y anímicamente para culminar con mis objetivos.

**A mis suegros Odilia Alva y Alfredo Mendoza** por el cariño y apoyo incondicional que siempre me han manifestado.

**Al Ing. Saúl Eusebio Lara** por brindándonos su apoyo y orientándonos para así poder concluir satisfactoriamente este trabajo de investigación.

A mis amigos de la Universidad Manolo, Oswaldo, Mariluz, Elizabeth, Jorge, Americo, Alexis, Wilder, Evelyn y Alam con ellos compartí años inolvidables que me dejaron mucha alegría. Nunca olviden que les estimo y que siempre contarán conmigo.

**Elmer John Cerna Rosales**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecimiento especial al Ms. Cesar Moreno Rojo por direccionarnos a realizar esta investigación, brindándonos su apoyo y orientándonos para así poder concluir satisfactoriamente este trabajo de investigación.

Al Dra Luz Paucar, por el apoyo brindado en la realización de la parte experimental de este trabajo de investigación.

Al Ing. Pedro Ayala, por facilitarnos el ingreso a la Planta Piloto Agroindustrial; por sus sugerencias y apoyo al momento de la realización de pan de molde.

A los docentes de E.A.P. Agroindustria, por los conocimientos y enseñanzas brindadas, durante el tiempo que duró nuestros estudios universitarios.

**ALVARADO CORDOVA ELIZABETH  
CERNA ROSALES ELMER JOHN**

## INDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCION</b> .....	1
<b>II. REVISION BIBLIOGRÁFICA</b> .....	4
2.1. Aspectos Generales sobre el haba.....	4
2.1.1. Definición. ....	4
2.1.2 Variedades.....	6
2.1.3. Composición fisicoquímica del haba. ....	8
2.1.4. Harina de haba. ....	8
2.1.5. Propiedades y uso.....	9
2.2. Aspectos Generales sobre la linaza. ....	10
2.2.1. Definición. ....	10
2.2.2. Características. ....	10
2.2.3. Usos actuales de la linaza. ....	12
2.2.4. Composición fisicoquímica de la linaza. ....	12
2.3. Uso de metodología de superficie de respuesta. ....	15
2.3.1. Diseño Compuesto Central Rotacional.....	16
2.3.2. Etapas para la optimización de un proceso. ....	17
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	19
3.1. Lugar de Ejecución. ....	19
3.2. Materia Prima e Insumos.....	19
3.2.1. Materias Primas. ....	19
3.2.2. Insumos.....	19
3.2.3. Equipos e instrumentos, reactivos y otros materiales. ....	20
3.3. Métodos.....	22
3.3.1. Caracterización de las materias primas.....	22
3.4. Producción de Pan de molde.....	24
3.4.1. Formulación.....	24
3.4.2. Diseño experimental. ....	24
3.4.3. Procedimiento para elaboración de pan de molde.....	26
3.5. Evaluación de la calidad de los panes. ....	30
3.5.1. Volumen específico. ....	30
3.5.2. Color de la corteza y de la miga.....	30
3.5.3. Textura instrumental. ....	31
3.5.4. Análisis sensorial. ....	31
3.5.5. Análisis estadístico.....	31

3.6. Evaluación de la mejor formulación de pan de molde. ....	31
3.6.1. Composición porcentual .....	31
3.6.2. Fibra.....	32
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.</b> .....	<b>33</b>
4.1. Caracterización de las harinas de trigo, haba y linaza. ....	33
4.1.1. Composición porcentual. ....	33
4.1.2. Fibra.....	34
4.1.3. Colorimetría. ....	35
4.2. Cómputo químico. ....	37
4.3. Volumen específico. ....	39
4.4. Color de la corteza de los panes de molde. ....	42
4.4.1. Luminosidad de la corteza de los panes de molde.....	42
4.4.2. Cromacidad de la corteza de los panes de molde. ....	44
4.4.3. Ángulo de tonalidad de la corteza de los panes de molde. ....	46
4.5. Color de la miga de los panes de molde.....	49
4.5.1. Luminosidad de la miga de los panes de molde. ....	49
4.5.2. Cromacidad de la miga de los panes de molde. ....	51
4.5.3. Ángulo de tonalidad de la miga de los panes de molde.....	53
4.6. Evaluación sensorial.....	57
4.6.1. Color del pan de molde.....	58
4.6.2. Aroma del pan de molde. ....	63
4.6.3. Textura del pan de molde.....	67
4.6.4. Sabor del pan de molde. ....	68
4.7. Textura instrumental.....	77
4.7.1. Altura. ....	77
4.7.2. Dureza .....	82
4.7.3. Elasticidad.....	84
4.7.4. Masticabilidad.....	86
4.8. Determinación de influencias significativas de las variables independientes en las respuestas estudiadas. ....	87
4.9. Determinación de la mejor formulación.....	89
4.9.1. Evaluación de las mejores formulaciones. ....	89
<b>V. CONCLUSIONES.</b> .....	<b>93</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.</b> .....	<b>95</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.</b> .....	<b>96</b>
<b>VIII. ANEXOS</b> .....	<b>99</b>



## INDICE DE TABLAS

TABLA 1 GENERALIDADES.....	4
TABLA 2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL HABA.....	8
TABLA 3 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LINAZA, 100G DE PRODUCTO.....	13
TABLA 4 FORMULACIÓN ESTÁNDAR PARA LA PRODUCCIÓN DE PAN DE MOLDE.....	24
TABLA 5 NIVELES DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL (DCCR) 2 <sup>2</sup> .....	25
TABLA 6 VALORES CODIFICADOS Y VALORES REALES DEL DISEÑO CENTRAL COMPUESTO ROTACIONAL 2 <sup>2</sup> .....	26
TABLA 7 COMPOSICIÓN PORCENTUAL (%) DE LAS HARINAS DE TRIGO, HABA Y LINAZA.....	33
TABLA 8 CONTENIDO DE FIBRA (%).....	35
TABLA 9. VALORES MEDIOS DE LOS PARÁMETROS DE LUMINOSIDAD, A*, B* C* Y H DE LAS MATERIAS PRIMAS.....	35
TABLA 10: CÓMPUTO QUÍMICO DE LOS ENSAYOS DEL PLANEAMIENTO EXPERIMENTAL.....	37
TABLA 11: VOLUMEN ESPECÍFICO DEL PAN DE MOLDE.....	39
TABLA 12 COEFICIENTES DE REGRESIÓN PARA RESPUESTA VOLUMEN ESPECÍFICO DE LOS PANES DE MOLDE.....	40
TABLA 13 COLOR DE LA CORTEZA DE LOS PANES DE MOLDE DE ACUERDO CON EL PLANEAMIENTO EXPERIMENTAL.....	42
TABLA 14: COEFICIENTES DE REGRESIÓN PARA RESPUESTA DE LUMINOSIDAD DE LA CORTEZA DE LOS PANES DE MOLDE.....	43
TABLA 15 COEFICIENTES DE REGRESIÓN PARA RESPUESTA DE CROMACIDAD DE LA CORTEZA DE LOS PANES DE MOLDE.....	45
TABLA 16 COEFICIENTES DE REGRESIÓN PARA RESPUESTA DE ÁNGULO DE TONALIDAD DE LA CORTEZA DE LOS PANES DE MOLDE.....	47
TABLA 17: COLOR DE LA MIGA DE LOS PANES DE MOLDE DE ACUERDO CON EL PLANEAMIENTO EXPERIMENTAL.....	49
TABLA 18: COEFICIENTES DE REGRESIÓN PARA RESPUESTA DE LUMINOSIDAD DE LA MIGA DE LOS PANES DE MOLDE.....	50
TABLA 19: COEFICIENTES DE REGRESIÓN PARA RESPUESTA DE CROMACIDAD DE LA MIGA DE LOS PANES DE MOLDE.....	52
TABLA 20: COEFICIENTES DE REGRESIÓN PARA RESPUESTA ÁNGULO DE TONALIDAD DE LA MIGA DE LOS PANES DE MOLDE.....	53
TABLA 21: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA RESPUESTA ÁNGULO DE TONALIDAD DE LA MIGA DEL PAN DE MOLDE.....	55
TABLA 22: RESPUESTAS OBTENIDAS DEL ANÁLISIS SENSORIAL DE LOS PANES DE MOLDE.....	58
TABLA 23: COEFICIENTES DE REGRESIÓN PARA RESPUESTA COLOR DE LOS PANES DE MOLDE.....	59
TABLA 24: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA RESPUESTA COLOR DEL PAN DE MOLDE.....	61
TABLA 25: COEFICIENTES DE REGRESIÓN PARA RESPUESTA AROMA DE LOS PANES DE MOLDE.....	63
TABLA 26: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA RESPUESTA AROMA DEL PAN DE MOLDE.....	64
TABLA 27: COEFICIENTES DE REGRESIÓN PARA RESPUESTA TEXTURA DE LOS PANES DE MOLDE.....	67
TABLA 28 COEFICIENTES DE REGRESIÓN PARA RESPUESTA SABOR DE LOS PANES DE MOLDE.....	69
TABLA 29: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA RESPUESTA SABOR DEL PAN DE MOLDE.....	71
TABLA 30 COEFICIENTES DE REGRESIÓN PARA RESPUESTA INTENCIÓN DE COMPRA DE LOS PANES DE MOLDE.....	73
TABLA 31: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA RESPUESTA INTENCIÓN DE COMPRA DEL PAN DE MOLDE.....	74

TABLA 32: RESPUESTAS OBTENIDAS DE LA TEXTURA INSTRUMENTAL DE LOS PANES DE MOLDE.....	77
TABLA 33: COEFICIENTES DE REGRESIÓN PARA RESPUESTA ALTURA DE LOS PANES DE MOLDE. ....	78
TABLA 34: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA RESPUESTA ALTURA DEL PAN DE MOLDE .....	79
TABLA 35 COEFICIENTES DE REGRESIÓN PARA RESPUESTA DUREZA DE LOS PANES DE MOLDE. ....	82
TABLA 36 COEFICIENTES DE REGRESIÓN PARA RESPUESTA ELASTICIDAD DE LOS PANES DE MOLDE.....	84
TABLA 37: COEFICIENTES DE REGRESIÓN PARA RESPUESTA MASTICABILIDAD DE LOS PANES DE MOLDE.....	86
TABLA 38 INFLUENCIAS ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVAS DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES SOBRE LAS RESPUESTAS.....	88
TABLA 39: COMPOSICIÓN PORCENTUAL (%) DE LAS MEJORES FORMULACIONES.....	89
TABLA 40 CONTENIDO DE FIBRA (%).....	90

## INDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 haba (vicia faba l.).....	5
Ilustración 2. variedades de haba. ....	6
Ilustración 3 <b>lino</b> .....	11
Ilustración 4 esquema de un sistema en estudio. (vernaza, 2007).....	15
Ilustración 5 diagrama de flujo del proceso de elaboración.....	29
Ilustración 6: diagrama de pareto de efectos significativos para la respuesta volumen específico. ....	41
Ilustración 7: diagrama de pareto de efectos significativos para la respuesta luminosidad de la corteza.....	44
Ilustración 8: diagrama de pareto de efectos significativos para la respuesta cromacidad de la corteza .....	46
Ilustración 9: diagrama de pareto de efectos significativos para la respuesta ángulo de tonalidad de la corteza.....	48
Ilustración 10: diagrama de pareto de efectos significativos para la respuesta luminosidad de la miga. ....	51
Ilustración 11: diagrama de pareto de efectos significativos para la respuesta cromacidad de la miga.....	52
Ilustración 12: diagrama de pareto de efectos significativos para la respuesta ángulo de tonalidad de la miga. ....	54
Ilustración 13 superficies de respuesta para el ángulo de tonalidad de la miga de los panes de molde en función de: contenido de harina de haba (%) y harina de linaza (%). ....	57
Ilustración 14: diagrama de pareto de efectos significativos para la respuesta color. ..	60
Ilustración 15 superficies de respuesta para el color de los panes de molde en función de: contenido de harina de haba (%) y harina de linaza (%). ....	62
Ilustración 16 gráfico de contorno para el color de los panes de molde en función de: contenido de harina de haba (%) y harina de linaza (%). ....	62
Ilustración 17: diagrama de pareto de efectos significativos para la respuesta aroma. ....	64
Ilustración 18 superficies de respuesta para el aroma de los panes de molde en función de: contenido de harina de haba (%) y harina de linaza (mg/kg). ....	66
Ilustración 19 gráfico de contorno para el aroma de los panes de molde en función de: contenido de harina de haba (%) y harina de linaza.....	66
Ilustración 20 diagrama de pareto de efectos significativos para la respuesta textura. ....	68
Ilustración 21: diagrama de pareto de efectos significativos para la respuesta sabor sensorial .....	70
Ilustración 22 superficies de respuesta para el sabor de los panes de molde en función de: contenido de harina de haba (%) y harina de linaza (mg/kg). ....	72
Ilustración 23 gráfico de contorno para el sabor de los panes de molde en función de: contenido de harina de haba (%) y harina de linaza (%). ....	72
ilustración 24: diagrama de pareto de efectos significativos para la respuesta intención de compra .....	74
Ilustración 25 superficies de respuesta para la intención de compra de los panes de molde en función de: contenido de harina de haba (%) y harina de linaza (mg/kg). ....	76
Ilustración 26 gráfico de contorno para la intención de compra de los panes de molde en función de: contenido de harina de haba (%) y harina de linaza (%). ....	76
Ilustración 27: diagrama de pareto de efectos significativos para la respuesta altura. ..	79
Ilustración 28: superficies de respuesta para la altura de los panes de molde en función de: contenido de harina de haba (%) y harina de linaza (mg/kg).....	81

## **RESUMEN**

En este trabajo de investigación, se elaboró un pan de molde funcional, con adición de harina de haba y de linaza con el objetivo de estudiar la influencia de este en el producto terminado. Las formulaciones fueron realizadas utilizándose un delineamiento factorial completo 2<sup>2</sup>, considerando como variables independientes los niveles de Harina de haba y linaza. Los efectos de estas variables fueron evaluados en función de las características físico-químicas (volumen específico, color de la corteza y miga del pan), propiedades sensoriales realizadas con 30 panelistas no entrenados y análisis de perfil de textura. Los resultados fueron analizados por la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR). En el caso de la harina de linaza tuvo influencia estadísticamente significativa en las variables dependientes de ángulo de tonalidad de la miga, parámetro de altura del perfil de textura, los atributos sensoriales color, aroma y sabor; así como en la intención de compra del pan de molde. La harina de haba tuvo influencia significativa en el ángulo de tonalidad de la miga, parámetro de altura y en el atributo sensorial de color.

La evaluación sensorial realizada, nos indica que el producto goza de aceptabilidad del público en especial las formulaciones 3 (1.2% de Harina de haba y 6.9% de harina de linaza) y 4(6.8% de Harina de haba y 6.8% de harina de linaza).

El cómputo químico de aminoácidos esenciales para las formulaciones del Diseño Compuesto Central Rotacional (DCCR 2<sup>2</sup>) fue elevado para el total de aminoácidos, a excepción de algunas formulaciones que en el aminoácido Lisina no superaron el 70% mínimo recomendado por la FAO/OMS.

La composición porcentual de las mejores formulaciones del diseño factorial 2<sup>2</sup> presento valores de 23.12% de humedad, 8.84% de grasa, 2.65% de cenizas, 12.58% de proteína y 13.29% de fibra para la formulación 3 y 21.85% de humedad, 10.24% de grasa, 3.00% de cenizas, 13.03% de proteína y 14.80% de fibra para la formulación 4.

*Palabras claves: Pan de molde, Harina de haba, harina de linaza.*

## **ABSTRACT**

In this research, a functional mold bread was elaborated, with the addition of bean flour and linseed, in order to study the influence of this in the finished product. The formulations were made using a complete factorial delineation  $2^2$ , considering as independent variables the levels of Bean Flour and Flax. The effects of these variables were evaluated according to the physical-chemical characteristics (specific volume, crust color and bread crumb), sensorial properties performed with 30 untrained panelists and texture profile analysis. The results were analyzed by the Response Surface Methodology (MSR). In the case of linseed meal had a statistically significant influence on the variables dependent on the angle of shade of the crumb, height parameter of the texture profile, sensory attributes color, aroma and flavor; As well as in the intention to purchase the bread. Bean flour had a significant influence on the angle of shade of the crumb, height parameter and on the color sensory attribute.

The sensory evaluation carried out indicates that the product is generally acceptable to formulations 3 (1.2% of Bean Flour and 6.9% of Linseed Flour) and 4 (6.8% of Bean Flour and 6.8% linseed Flour).

The chemical computation of essential amino acids for the formulations of the Central Rotational Composite Design (DCCR  $2^2$ ) was increased for the total amino acids, except for some formulations that did not exceed the minimum recommended 70% by the FAO / WHO in the amino acid Lysine.

The percentage composition of the best formulations of the factorial design  $2^2$  presented values of 23.12% of humidity, 8.84% of fat, 2.65% of ashes, 12.58% of protein and 13.29% of fiber for formulation 3 and 21.85% of humidity, 10.24% Of fat, 3.00% of ash, 13.03% of protein and 14.80% of fiber for formulation 4.

Key words: Mold bread, Bean flour, flaxseed meal

## I. INTRODUCCION

Los productos de panificación están entre los alimentos que constituyen la base de la pirámide alimentaria. Los cereales de un modo general, contribuyen con la mitad de la ingesta de energía y proteína para el ser humano. La harina de trigo es un elemento fundamental en la industria de panificación, por poseer propiedades únicas de formación de una red de gluten fuerte y cohesionada, capaz de retener los gases producidos durante la fermentación, garantizando las características propias del pan. (Borges, 2010). A pesar de que el trigo posee buenas propiedades tecnológicas para la producción de pan, sus proteínas son consideradas de baja calidad nutricional. Por tanto al utilizar mezclas de harinas en productos de panificación tiene por finalidad sustituir la harina de trigo para ofrecer a los consumidores productos diversificados y de mejor calidad nutricional.

La linaza es una semilla que se le atribuyen actualmente múltiples beneficios a la salud, su alto contenido de fibra y ácidos grasos insaturados ayuda a prevenir enfermedades cardiovasculares y la arteriosclerosis, ya que disminuye los niveles de colesterol LDL y triglicéridos en sangre, la fibra soluble ayuda a la reducción de la incidencia de diabetes y en el tratamiento de la obesidad, su contenido de tocoferoles y su efecto antioxidante contribuye a disminuir la presión sanguínea y la formación de nitrosaminas responsables de la aparición de cáncer de estómago. Ayuda a prevenir la aparición de cáncer de mama y próstata; y sus propiedades mucolíticas ayudan a eliminar las secreciones bronquiales remanentes de resfriados y otras enfermedades respiratorias. (Ostojich, 2010).

El haba es una legumbre que se puede consumir tanto fresca como seca. Su valor nutricional es similar, pero mucho más concentrado en el caso de las habas secas. En las habas se encuentra una presencia muy importante de fibra dietética, vitaminas del grupo B y la presencia de minerales como el potasio, fósforo, calcio o hierro. La riqueza energética de las habas, principalmente las secas, es una característica a destacar y se debe a su especial riqueza en hidratos de carbono. Las legumbres se caracterizan por aportar proteínas e hidratos de carbono, ambos en cantidades significativas, pero, además, su riqueza en vitaminas, minerales y fibra las convierte en un alimento muy completo. Reduce el mal de Parkinson, el Alzheimer y el colesterol, es laxante y diurética, su alto contenido en ácido fólico la hace recomendable en el embarazo y en etapas de crecimiento. (Herrera, 2011).

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de haba y harina de linaza en las propiedades fisicoquímicas, nutritivas y organolépticas del pan de molde; mediante la metodología de superficies de respuestas aplicando un Diseño Compuesto Central Rotacional 2<sup>2</sup>.

Los objetivos específicos propuestos para esta investigación fueron los siguientes:

- Determinar la composición proximal, fisicoquímica de la harina de haba y harina de linaza.
- Determinar el cómputo químico de aminoácidos para cada ensayo del diseño compuesto central rotacional 2<sup>2</sup>.

- Determinar las propiedades fisicoquímicas (volumen específico, textura instrumental y colorimetría), propiedades organolépticas e intención de compra de los panes de molde, obtenidos del diseño compuesto central rotacional DCCR 2<sup>2</sup>.
- Realizar la composición proximal del pan de molde con los mejores atributos sensoriales y características fisicoquímicas.
- Establecer una región óptima con los niveles de harina de haba y harina de linaza mediante el análisis de las superficies de respuestas obtenidas para cada variable dependiente.



## II. REVISION BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Aspectos Generales sobre el haba.

#### 2.1.1. Definición.

El haba con nombre científico *Vicia faba* L., es una planta trepadora herbácea, anual. Cultivada ampliamente en todo el globo por sus semillas, empleadas especialmente en gastronomía. Da su nombre a la familia de las fabáceas, de la cual es la especie tipo (Rocha, 2011), en la tabla 1 se detalla su taxonomía y morfología:

**Tabla 1 Generalidades**

<b>Nombre Científico</b>	Haba
<b>Familia</b>	<i>Vicia faba</i> L. Leguminosae, subfamilia <i>Papilionoidea</i>
<b>Tallos</b>	Coloración verde, fuertes, angulosos y huecos, ramificados, de hasta 1,5 m de altura.
<b>Hojas</b>	Alternas, compuestas, paripinnadas, con folíolos anchos ovales-redondeados, de color verde y desprovistas de zarcillos.
<b>Flores</b>	Axilares, agrupadas en racimos cortos de 2 a 8 flores, poseyendo una mancha grande de color negro o violeta en las alas.
<b>Fruto</b>	Legumbre de longitud variable, pudiendo alcanzar hasta más de 35 cm. El número de granos oscila entre 2 y 9. El color de la semilla es verde amarillento.

**Fuente:** (Rocha, 2011)

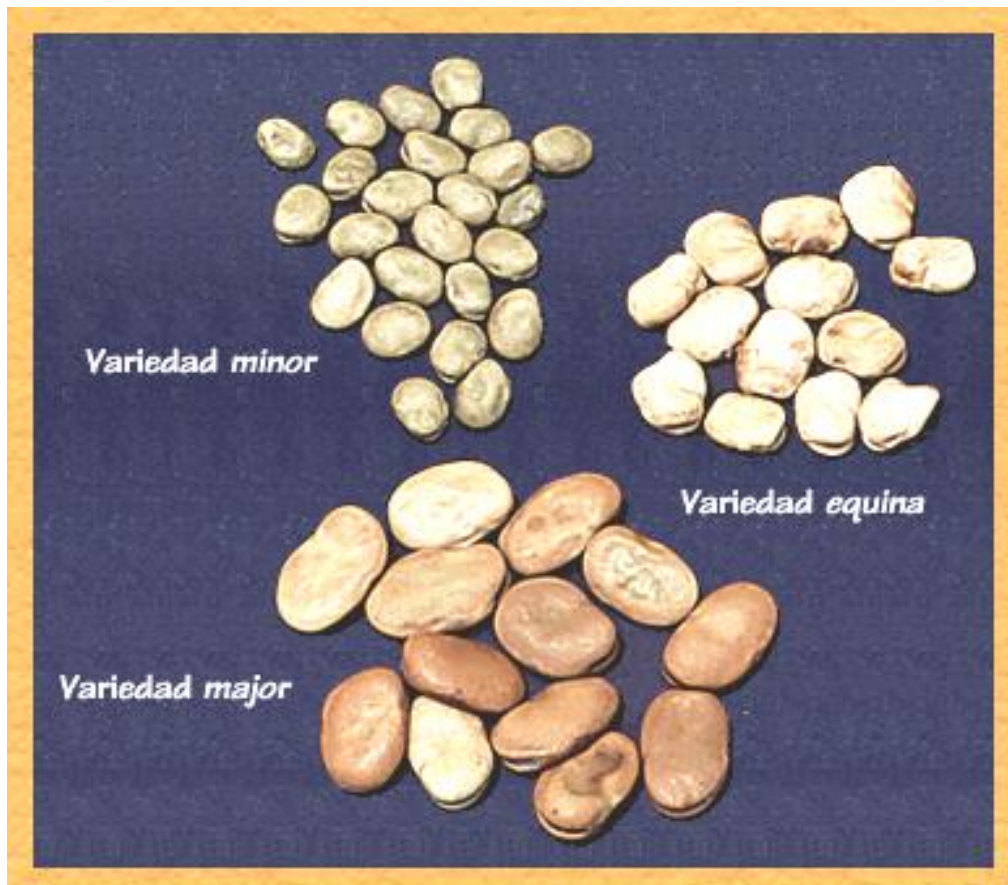


*Ilustración 1 Haba (Vicia Faba L.)*

(Rocha, 2011)

### 2.1.2 Variedades.

Las tres variedades del haba se distinguen sobre todo por el tamaño de sus semillas, todas se cultivan indistintamente.



**Ilustración 2. Variedades de haba.**

(Arévalo, 2007)

Los numerosos tipos diferentes de haba cultivados, hacen que la sistemática de la especie sea muy confusa; en general se reconoce válida la subdivisión de haba en tres variedades botánicas, en atención al tamaño de la semilla y las vainas:

***Vicia faba var. minor (Harz) Beck:*** esta variedad botánica se caracteriza por presentar semillas pequeñas, de 1 a 1,2 cm de longitud. Este tipo predomina como cultivo en el norte de Europa, especialmente en Gran Bretaña, en el Valle del Nilo, India y Norteamérica, pero su utilización principal es forrajera o como abono verde. (Arévalo, 2007)

***Vicia faba var. Equina Pers.:*** las semillas de este grupo son de tamaño intermedio, de 1,2 a 1,4 cm de longitud. Este tipo, como sus nombres latino e inglés ("horse bean") lo indican, se utiliza preferentemente en la alimentación de ganado y no se recomienda para consumo humano. (Arévalo, 2007)

***Vicia faba var. major (Harz) Beck:*** este grupo presenta los granos más grandes de la especie (1,5 a 3 cm de largo). Esta variedad botánica es la más usada como haba verde en el mundo, especialmente en Asia, América Latina y Europa. En esta variedad se distinguen los cultivares "asiáticos" de vaina corta, gruesa y con pocos granos muy grandes como Jumbo y Nintoku Giant, los cultivares "europeos" de vaina larga, gruesa, de varios granos como los españoles Aguadulce y Muchamiel, y de otros países como Portuguesa (Portugal), D'Aquitaine (Francia), Windsor (Inglaterra) y Witkiem(Holanda). (Arévalo, 2007)

### 2.1.3. Composición fisicoquímica del haba.

Las habas son ricas en carbohidratos y proteínas. A medida que maduran endurecen y ganan en almidón, a continuación se muestra la composición química del haba:

**Tabla 2 Composición química del Haba.**

<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA</b>			
	<b>UNIDAD</b>	<b>Haba verde</b>	<b>Haba seca</b>
Agua	%	65.7	14
Proteínas	%	9.9	23.1
Grasa	%	0.3	1.8
Carbohidratos	%	18.3	49.8
Fibra	%	4.5	8.4
Cenizas	%	1.3	2.9
<b>OTROS COMPONENTES</b>			
Calcio	mg	50	90
Fósforo	mg	190	420
Hierro	mg	20	4.9
Tiamina	mg	0.29	0.61
Riboflavina	mg	0.15	0.17
Niacina	mg	1.6	2.5
Ácido ascórbico	mg	20	2
Calorías	mg	130	2.97

**Fuente:** (Arévalo, 2007)

En la tabla podemos observar que el haba es rica en Calcio, Hierro y Fósforo, elementos principales en la alimentación de las personas.

### 2.1.4. Harina de haba.

El haba por ser una leguminosa no muy consumida, ni conocida se ha pasado por alto sus propiedades y beneficios como los que aportan la harina de haba que es altamente energética, además contiene sales minerales como el calcio, cobre, hierro, magnesio, manganeso, fósforo, potasio, selenio, zinc, ácido pantoténico y vitaminas del complejo B como la B3; proporcionando un aporte nutricional de importancia para el organismo. Ayuda a la producción de

hemoglobina y al transporte de hierro por su contenido en cobre, aporta con fósforo e interviene en la transmisión del código genético, ayuda a eliminar las grasas por su alto contenido de fibra. (Rocha, 2011)

La harina haba contiene mayor cantidad de carbohidratos y proteínas, por lo que se destaca como una fuente importante de sacarosa y aminoácidos. Como todas las leguminosas, es una importante fuente de fibra soluble e insoluble. (Montes, 2014).

La harina de haba no es rica en gluten y posee menor capacidad de retener CO<sub>2</sub>, por ello es importante que para crear una textura esponjosa en panificación, es habitual que se mezcle con harina de otros cereales como trigo y así obtener una mezcla destinadas a panes específicos. (Rocha, 2011)

Las habas, como la mayoría de las leguminosas, son deficientes en metionina y ricas en lisina, al contrario de los cereales. Estas carencias se pueden superar realizando mezclas apropiadas con productos de legumbres, a fin de aumentar la calidad proteica de los productos panificados. (Montes, 2014).

#### **2.1.5. Propiedades y uso.**

- Colesterol: absorbe la grasa depositada en las venas.
- Diurético: infusiones con sus flores.
- Alzheimer, gracias a la lecitina y a la colina.
- Depurativas: antirreumática, infusión con sus flores.
- Forúnculos, panadizos: de uso tópico, con el agua de hervir sus hojas.
- Afrodisíaca.
- Favorece el tránsito intestinal.

(Rocha, 2011)

- Ayuda a calmar los dolores causados por las hinchazones.
- Disuelve los tumores que se presentan en los órganos genitales.
- Es excelente contra las quemaduras de todo género. Para estos casos, se frota suavemente las partes afectadas por unos 10 minutos.
- Es una gran fuente de hierro.

(Montes, 2014).

## **2.2. Aspectos Generales sobre la linaza.**

### **2.2.1. Definición.**

La linaza (*Linum usitatissimum* L) es la semilla de la planta de lino, una especie anual de entre 0,3 y 1 metro de altura, de la familia de las Lináceas, que se cultiva para producir fibra y aceite de lino, el cual es un aceite secante que se utiliza para la fabricación de pinturas, linóleo y jabones suaves.

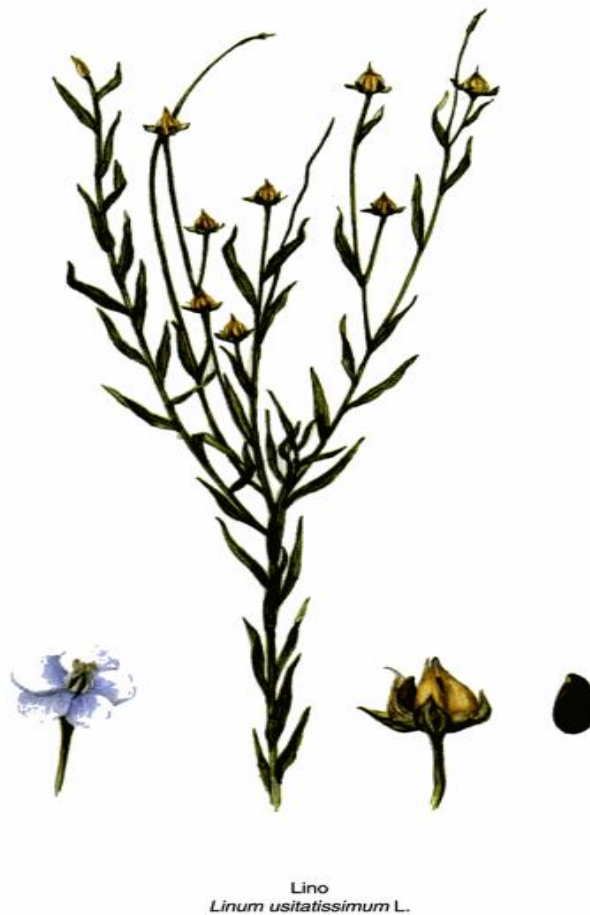
La linaza ha sido incorporada como un ingrediente en varias formulaciones de alimentos y actualmente ha crecido la demanda en la industria de alimentos.

(Ampuero, 2011)

### **2.2.2. Características.**

La semilla de linaza se caracteriza por ser de forma plana y ovalada, con un extremo aguzado y una longitud de 4 a 6mm. El revestimiento de la semilla posee una apariencia suave y brillante, y el color puede variar entre marrón oscuro y amarillo claro.

Esta semilla está formada por una cubierta, un embrión que consta de dos cotiledones grandes y aplanados que constituyen la mayor proporción del embrión, un hipocótilo corto y una radícula. La cubierta de la semilla de lino se genera a partir del óvulo y se compone de cinco capas diferentes, siendo la más importante la capa epidérmica, conocida como mucílago, y la testa que se compone de células pigmentadas que determinan el color de la semilla y que contienen la mayoría de la fibra soluble y dos interiores ricas en fibra y lignanos. (Ampuero, 2011)



**Ilustración 3: Lino**

(Cid, 2010)



### **2.2.3. Usos actuales de la linaza.**

La semilla de linaza se destina principalmente para producir el aceite de linaza, que se utiliza mayormente para la producción de linóleos, en la formulación de finas pinturas oleosas y en algunas preparaciones de aceites comestibles. Se utiliza también en nutrición animal, dando mejores propiedades nutricionales en subproductos animales, como por ejemplo la leche de vaca, en donde el ácido linolénico pasa directamente a la leche, enriqueciéndola con este ácido graso de gran valor. (Cid, 2010).

La linaza es, sin duda, el alimento nutraceutico del siglo XXI, dado por su potencial ilimitado en la prevención y/o reducción en el riesgo de varias enfermedades graves incluyendo la diabetes, lupus, nefritis, arteriosclerosis y canceres dependientes de hormonas. . (Conde, 2015).

En la nutrición humana, el uso de la semilla de lino, se está consolidando en la cocina, en alimentos tales como mezclas de cereales para el desayuno, en harinas multigrano para preparaciones de pan, repostería en forma de galletas, waffles, snacks y otras preparaciones. También simplemente se consume la semilla junto con otros alimentos para mejorar la digestión. (Cid, 2010).

### **2.2.4. Composición fisicoquímica de la linaza.**

La linaza es rica en grasa, proteína y fibra dietética, la semilla de lino posee entre un 30 y 48% de aceite. (Conde, 2015)

Por otra parte, en promedio la linaza canadiense contiene 40 - 41% de grasa, 20% de proteína, 28 - 30% de fibra dietética total, 6 - 7,7% de humedad y 3,4- 4

% de cenizas, el cual es un residuo rico en minerales que queda después de quemar las muestras. Cabe destacar que el contenido de proteína se reduce a medida que se incrementa el contenido de aceite. (Conde, 2015)

La composición química de la linaza se recoge en la tabla 3. No obstante, hay que señalar que esta composición depende de factores como la variedad, la zona de producción, la época en que se cultiva, etc. (Conde, 2015)

**Tabla 3. Composición química de la linaza, 100g de producto.**

<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA</b>		
	<b>UNIDAD</b>	<b>Linaza</b>
Energía	Energía (kcal/kJ)	492-69/2.059
Grasa	g	34.0-47.8
AGS	g	3.2
AGM	g	6.9
AGP	g	22.4
Proteínas	g	19.5-23.7
Carbohidratos	g	34.3
Fibra	g	25.8-27.9
Magnesio	mg	362
Calcio	mg	199

**Fuente: Conde, 2015**

El contenido de proteínas de la mayoría de los cultivares de linaza fluctúa entre 22,5 y 31,6 g/100 g. Las condiciones de procesamiento (descascarado o desgrasado) afectan el contenido de proteínas del producto derivado de la linaza. La cáscara tiene menores contenidos de proteína, por lo que, la harina sin cáscara y desgrasada tiene un alto contenido proteico. Como en muchas otras semillas, el contenido de globulinas es mayoritario, llegando al 77% de la proteína presente, en tanto que el contenido de albúminas representa al 27%

de la proteína total. La proteína de linaza es relativamente rica en arginina, ácido aspártico y ácido glutámico; los aminoácidos limitantes son lisina, metionina y cisteína. (Conde, 2015)

El aceite, que constituye el componente principal de la linaza (35 a 43 g/100g base materia seca) ha sido por años el objetivo principal del procesamiento de esta semilla. (Conde, 2015)

Conde, (2015) señala que la linaza es una buena fuente de grasa vegetal omega-3, fibra dietética y otros nutrientes. Su composición nutricional la distingue de otras oleaginosas importantes como la canola y el girasol.

El contenido de fibra dietética en la linaza está constituido por fibra soluble y fibra insoluble, se encuentran en una proporción entre 20:80 y 40:60, la primera constituida por mucílago y gomas a niveles de 7 a 10 %. (Conde, 2015)

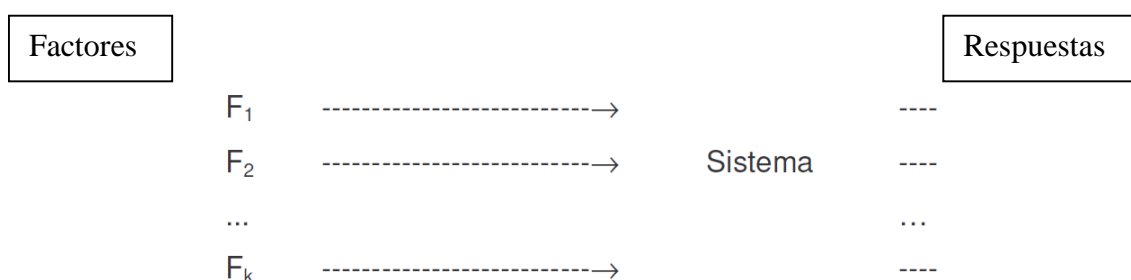
Del mismo modo se demostró, que por su contenido de lignina y  $\alpha$ -linolenico se logran prevenir ciertos tipos de cáncer, particularmente los hormonassensibles, como los de pecho, endometrio, colon y próstata, además de tener propiedades antitumorogénicas, efectos positivos en el sistema inmunológico, cardiovascular y endocrino, lo cual sugiere que la linaza puede ser útil en la dirección clínica de pacientes con enfermedades inmunológicas como la artritis reumatoidea, soriasis y lupus sistemático, además reduce los niveles de colesterol en la sangre y el riesgo de enfermedades cardiovasculares. (Conde, 2015)

La linaza contiene muy pequeñas cantidades de azúcares solubles (1 a 2 g/100g). La mayoría de los hidratos de carbono presentes en esta especie, pertenecen al grupo de la fibra dietética. Se destaca entre otros granos por ser una excelente fuente de fibra dietética soluble e insoluble, la que en total puede llegar hasta 28% del peso seco de la semilla. (Conde, 2015)

### 2.3. Uso de metodología de superficie de respuesta.

Uno de los problemas más comunes que un investigador puede enfrentar en una determinación de influencia de una o más variables (factores o variables independientes) sobre una u otra variable de interés (respuesta o variable dependiente).

Esquemáticamente, puede ser representado como en la figura 3, donde el número de factores,  $F_1, F_2, \dots, F_k$ , que actúan sobre el sistema en estudio, produce las respuestas  $R_1, R_2, \dots, R_j$ . El sistema es considerado como una función que actúa sobre las variables de entrada (factores) y produce como salida de respuestas observadas. El objetivo de aquellos que realizan experimentos es descubrir esta función, o al menos obtener una aproximación satisfactoria para ella.



**Ilustración 4. Esquema de un sistema en estudio. (Vernaza, 2007).**

Los planeamientos experimentales están basados en principios estadísticos que posibilitan obtener la mayor cantidad posible de información sobre el sistema en estudio a través de la realización de un número mínimo de experimentos.

La metodología de Superficie de Respuesta (RSM) es una técnica de optimización basado en el uso de planeamientos experimentales factoriales. (Vernaza, 2007).

### **2.3.1. Diseño Compuesto Central Rotacional.**

La elección del planeamiento adecuado dependerá del número de variables independientes involucradas en el estudio, la disponibilidad de la materia prima, la viabilidad del número de pruebas que se pueden alcanzar y el costo en el proceso de estudio. No obstante hay un número mínimo de ensayos que deben realizarse de acuerdo a los factores a estudiar, para que la discusión, los resultados y la interpretación no se vean comprometidos. En esta óptica, los planeamientos factoriales completos y fraccionados deben seguir estrategias secuenciales para lograr el objetivo deseado. **(Rodríguez, 2005)**

El número de planeamientos experimentales depende principalmente del número de variables independientes que serán estudiadas inicialmente.

En caso de 2 o 3 variables independientes se recomienda realizar un diseño compuesto central rotacional (DCCR). **(Rodríguez, 2005)**

El procesamiento de los datos obtenidos se realiza en el programa STATISTICA Statsoft. **(Rodríguez, 2005)**

Un diseño compuesto central rotacional o factorial completo está conformado por formulaciones con condiciones factoriales, axiales y con condición de punto central (repeticiones). **(Rodríguez, 2005)**

La utilización de un DCCR tiene las siguientes ventajas:

- Permite determinar los efectos positivos y negativos de las variables independientes en las variables respuestas.
- Menos formulaciones a diferencia de otros métodos tradicionales (Ejemplo: Un factor a la vez, combinación de factores).
- Optimización de procesos y productos.
- Menos costo y menos tiempo. **(Rodríguez, 2005)**

### **2.3.2. Etapas para la optimización de un proceso.**

a. Definir claramente cuáles son los objetivos a ser alcanzados con los experimentos.

-Realizar reuniones para analizar profundamente el proceso en estudio.

-Verificar las restricciones del proceso.

-Definir las variables independientes del estudio y respuestas de interés a ser analizadas.

b. Elaborar un procedimiento experimental considerando las variables independientes definidas.

Cuando el número de variables independientes es igual 2 o 3, un factorial completo debe ser aplicado.

c. Realizar los experimentos para obtener las respuestas.

d. Calcular los efectos de las variables, los errores y analizar estadísticamente.

e. Elaborar los modelos predictivos de las respuestas en función de las variables independientes.

- f. Realizar el ANOVA para verificar la calidad de ajuste del modelo. Calcular las respuestas a través del modelo ajustado y los desvíos entre la respuesta experimental y la estimada por el modelo.
- g. Generar superficies de respuestas y curvas de contorno para análisis y definición de rangos óptimos operacionales de cada variable del proceso.
- h. Validar experimentalmente los resultados realizando ensayos en condiciones optimizadas. **(Rodríguez, 2005)**

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS.**

#### **3.1. Lugar de Ejecución.**

El presente trabajo de investigación se realizó en los siguientes ambientes:

- Laboratorio de Investigación y desarrollo de productos agroindustriales de la Escuela de Agroindustria – Universidad Nacional del Santa.
- Laboratorio de Análisis y Composición de Productos Agroindustriales de la Escuela de Agroindustria-Universidad Nacional del Santa.
- Instalaciones del Área de panificación de la Planta Piloto Agroindustrial-Universidad Nacional del Santa.
- Corporación de laboratorios de ensayos clínicos, biológicos e industriales (COLECBI S.A.C.).

#### **3.2. Materia Prima e Insumos.**

##### **3.2.1. Materias Primas.**

Para la producción de pan de molde, fueron utilizadas las siguientes materias primas:

- Harina de trigo.
- Harina de haba
- Harina de linaza.

##### **3.2.2. Insumos.**

Para la producción de pan de molde, se utilizó los siguientes insumos:



- Azúcar Rubia.
- Manteca.
- Huevos.
- Leche en polvo.
- Levadura seca.
- Sal.

### **3.2.3. Equipos e instrumentos, reactivos y otros materiales.**

Fueron necesarios para la realización de este trabajo de investigación, los siguientes equipos e instrumentos, materiales y reactivos:

#### **3.2.3.1. Equipos e Instrumentos.**

- Alveógrafo de CHOPIN.
- Amasadora o sobadora marca NOVA, modelo K23, capacidad 40Kg.
- Balanza analítica marca ADAM, modelo PW-254.
- Cámara de fermentación marca NOVA, modelo MAX 1000.
- Colorímetro marca KONICA MINOLTA, modelo CR-400.
- Digestor de proteínas.
- Estufa marca Blue-M, modelo SW-17TC-1.
- Horno rotatorio por convención marca NOVA, modelo MAX 1000.
- Mufla marca Thermolyne.
- Rebanadora o cortadora de pan marca NOVA, modelo ESTANDAR.
- Set para la extracción de grasa Soxhlet.

#### **3.2.3.2. Reactivos.**

- Ácido sulfúrico concentrado y estandarizado a 0.1N.
- Fenolftaleína.
- Rojo de metilo.

- Solución de hidróxido de sodio (0.1N y 0.01N).
- Sulfato de cobre anhidro (CuSO<sub>4</sub>).
- Sulfato de potasio anhidro (K<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>).

### **3.2.3.3. Otros materiales.**

- Bolsas de polipropileno litografiadas.
- Cuchillos
- Jarras plásticas.
- Materiales de vidrio y porcelana: Probetas, placas petri, vasos de precipitación, tubos de ensayo, matraces Erlenmeyer, mortero y pilón.
- Material para prueba sensorial: cabinas de degustación, formatos, lapiceros, vasos y platos descartables.
- Mesa de acero inoxidable:  
Largo x ancho x altura =2.5 m x 1.0m x 1.5m.
- Moldes de pan:  
Largo x ancho x altura =29.4 cm x 10.5 cm x 9.9 cm.
- Pinzas de metal.

### **3.3. Métodos.**

#### **3.3.1. Caracterización de las materias primas.**

##### **3.3.1.1. Caracterización de la harina de trigo.**

La harina de trigo fue caracterizada por las siguientes propiedades.

###### **3.3.1.1.1. Composición porcentual.**

Las determinaciones de la humedad, proteína y cenizas de la harina fueron realizadas por los métodos N°44-15A de la AACC (1995), N°920.87 de la AOAC (1980) y 923.03 de la AOAC (1980). El contenido de grasa fue determinado según el método 920.39C de la AOAC (1997). Los carbohidratos fueron determinados por diferencia. Las pruebas fueron realizadas por triplicado.

###### **3.3.1.1.2. Colorimetría.**

Para determinar el color de la harina de trigo se utilizó el colorímetro (marca. KONICA MINOLTA) siguiendo el sistema CIE-lab, determinándose los valores de L\*luminosidad (negro 0/ Blanco 100), a\*(verde-/ rojo+) y b\*(azul-/ amarillo +). La cromacidad (C\*) y el ángulo de tonalidad (h\*), fue calculado según Minolta (1993).

##### **3.3.1.2. Caracterización de la harina de haba**

La harina de soya fue caracterizada por las siguientes propiedades.

###### **3.3.1.2.1. Composición porcentual.**

Las determinaciones de la humedad, proteína y cenizas de la harina fueron realizadas por los métodos N°44-15A de la AACC (1995), N°920.87 de la AOAC (1980) y 923.03 de la AOAC (1980). El contenido de grasa fue

determinado según el método 920.39C de la AOAC (1997). Los carbohidratos fueron determinados por diferencia. Las pruebas fueron realizadas por triplicado.

#### **3.3.1.2.2. Colorimetría.**

Para determinar el color de la harina de trigo se utilizó el colorímetro (marca. KONICA MINOLTA) siguiendo el sistema CIE-lab, determinándose los valores de L\*luminosidad (negro 0/ Blanco 100), a\*(verde-/ rojo+) y b\*(azul-/ amarillo +). La cromacidad (C\*) y el ángulo de tonalidad (h\*), fue calculado según Minolta (1993).

#### **3.3.1.2.3. Fibra.**

La determinación de fibra fue realizada según el método NMX-F-090 (1978).

#### **3.3.1.3. Caracterización de la harina de linaza.**

La harina de alcachofa fue caracterizada por las siguientes propiedades.

##### **3.3.1.3.1. Composición porcentual.**

Las determinaciones de la humedad, proteína y cenizas de la chía fueron realizadas por los métodos N°44-15A de la AACC (1995), N°920.87 de la AOAC (1980) y 923.03 de la AOAC (1980). El contenido de grasa fue determinado según el método 920.39C de la AOAC (1997). Los carbohidratos fueron determinados por diferencia. Las pruebas fueron realizadas por triplicado.

##### **3.3.1.3.2. Colorimetría.**

Para determinar el color de la harina de trigo fue utilizado el colorímetro (marca. KONICA MINOLTA) siguiendo el sistema CIE-lab, determinándose los valores de L\*luminosidad (negro 0/ Blanco 100), a\*(verde-/ rojo+) y b\*(azul-/ amarillo +). La cromacidad (C\*) y el ángulo de tonalidad (h\*), fue calculado según Minolta (1993).

### 3.3.1.3.3. Fibra.

La determinación de fibra fue realizada según el método NMX-F-090 (1978).

## 3.4. Producción de Pan de molde.

### 3.4.1. Formulación.

La formulación para la elaboración del pan de molde que se utilizo está representada en la tabla 4.

Tabla 4 Formulación estándar para la producción de pan de molde.

INGREDIENTES	CANTIDAD (%)
Harina de trigo*	100
Agua	50
Azúcar rubia	8
Yemas de huevo	6
Manteca	5
Leche en polvo	4
Levadura seca instantánea	2
Sal	2

### 3.4.2. Diseño experimental.

El diseño experimental utilizado para la siguiente investigación fue el Diseño Compuesto Central Rotacional o diseño factorial 2<sup>2</sup>, donde las variables independientes son los niveles de harina de alcachofa y harina de soya (Tabla 3).

El diseño experimental que se muestra en la tabla 6 incluye un total de 11 ensayos, 4 ensayos en condiciones axiales, 4 ensayos en condiciones factoriales y 3 repeticiones del punto central.

Mediante el diseño estadístico, el procesamiento y análisis de los datos (programa STATISTICA Statsoft v 13.2) obtenidos se evaluó los efectos o influencias de las variables independientes sobre las variables dependientes (color instrumental, volumen específico, textura instrumental, color, aroma, textura, sabor).

A través de las superficies de respuestas obtenidas para cada variable dependiente se seleccionó una región óptima (rango de harina de haba y rango de harina de linaza) donde se obtendrá un pan con las mejores propiedades físico-químicas y organolépticas.

**Tabla 5. Niveles de las variables independientes del diseño experimental (DCCR) 2<sup>2</sup>.**

Variables Independientes	Niveles				
	- $\alpha$	-1	0	+1	+ $\alpha$
X1 : Harina de Haba (%)	0	1.2	4	6.8	8
X2 : Harina de Linaza (%)	0	1.2	4	6.8	8

$\alpha=1.4142$

**Tabla 6. Valores codificados y valores reales del Diseño Central Compuesto Rotacional 2<sup>2</sup>.**

Ensayo	Valores codificados		Valores reales	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>
1	-1	-1	1.2	1.2
2	+1	-1	6.8	1.2
3	-1	+1	1.2	6.8
4	+1	+1	6.8	6.8
5	- $\alpha$	0	0	4
6	$\alpha$	0	8	4
7	0	- $\alpha$	4	0
8	0	$\alpha$	4	8
9	0	0	4	4
10	0	0	4	4
11	0	0	4	4

X<sub>1</sub>: Harina de Haba, X<sub>2</sub>: Harina de Linaza

### 3.4.3. Procedimiento para elaboración de pan de molde.

El procedimiento para la elaboración de pan de molde esta descrito por las siguientes etapas:

#### A. Recepción.

Se recepcionó la materia prima (harina de trigo) y los insumos a usarse en la elaboración del pan de molde, pasando por los

controles respectivos, verificando su fecha de producción y vencimiento.

**B. Pesado.**

En esta etapa se pesaron las materias primas e insumos según las formulaciones de cada ensayo. Operación que se realizó en una balanza. Esta operación permitió determinar la cantidad de materia prima que ingresa; además pudimos determinar el rendimiento final y cuanto se perdió en cada proceso.

**C. Amasado y Sobado.**

Para cada formulación los ingredientes fueron mezclados en una amasadora automática marca NOVA, modelo K23, capacidad de 40Kg; el tiempo de mezcla en velocidad lenta fue de 5 min y luego se procedió a monitorear el tiempo hasta que se produjo el desenvolvimiento del gluten (formación del punto liga o gluten) el cual indica que la masa esta lista.

**D. Boleado y moldeado.**

Previo al boleado la masa fue dividida en porciones de 650 gr. para tener una mayor superficie de contacto con la temperatura ambiente; luego se realizó el boleado de forma manual, apretando suavemente la porción de masa y dando un ligero movimiento de rotación hacia dentro, hasta que se obtuvo una forma esférica y una superficie lisa; después se dejó la masa reposando por un período de 15min, se cortaron de forma elíptica y las porciones fueron puestas en el molde previamente untados de manteca.



**E. Fermentación.**

La masa luego fue mantenida en la cámara de fermentación (marca NOVA, modelo MAX 1000) en condiciones de 31°C y 69% de HR; el tiempo en cada ensayo dependió del comportamiento y desarrollo de la masa con respecto al molde; para lo cual hubo un monitoreo continuo. Se retiró la masa cuando alcanzó los  $\frac{3}{4}$  del molde.

**F. Horneado.**

Las masas fueron colocadas en el horno (marca NOVA, modelo MAX 1000) a 140°C, por 45min.

**G. Enfriado.**

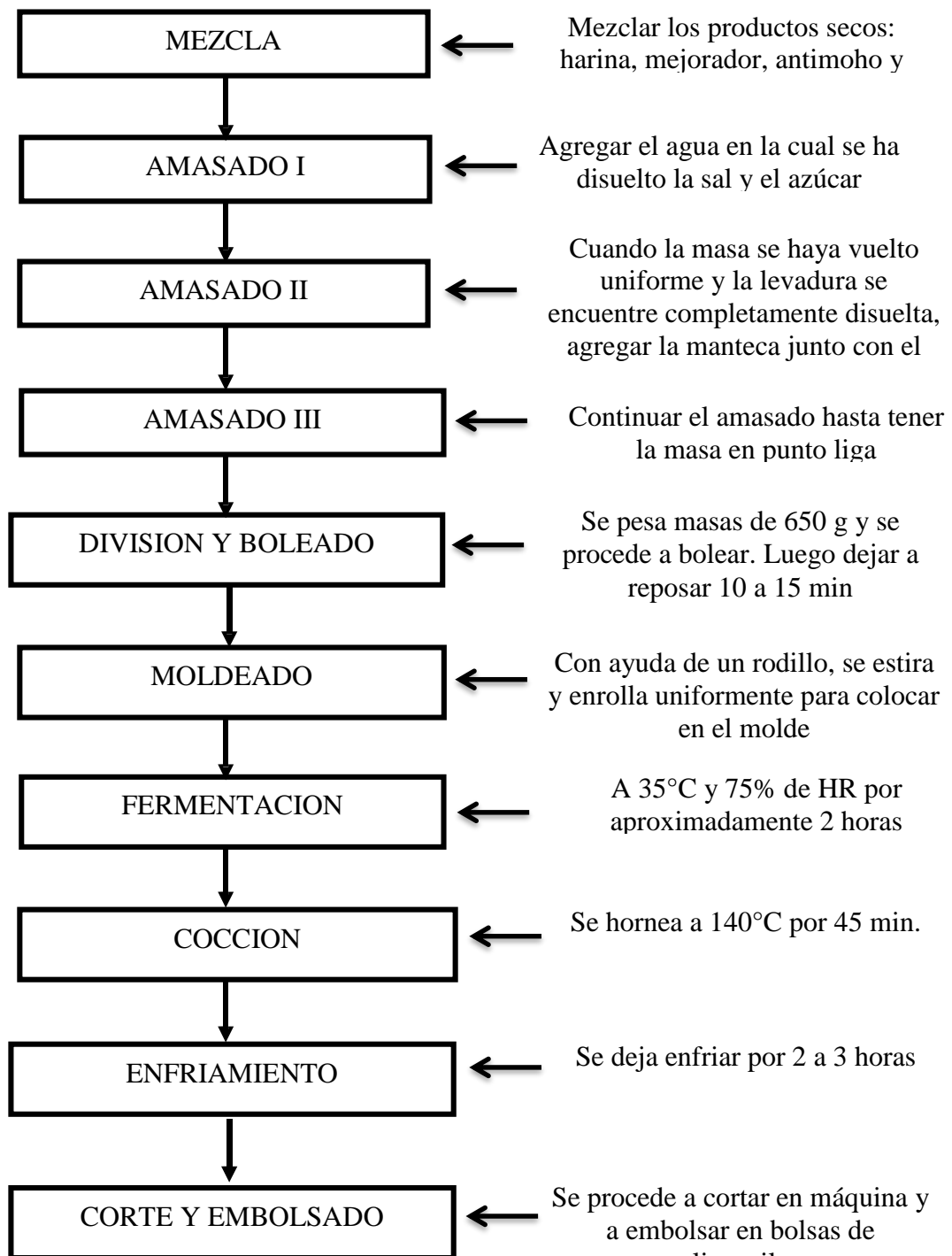
Los panes fueron sacados de sus moldes y colocados en fuentes secas y frías en una zona fresca, libre de contaminación.

**H. Rebanado y embolsado.**

Los panes de molde fueron rebanados en la cortadora o rebanadora (marca NOVA, modelo ESTÁNDAR) y luego embolsados en bolsas de polipropileno litografiadas.

**I. Almacenamiento.**

El almacenamiento se realizó en un ambiente limpio, fresco; a temperatura ambiente.



**Ilustración 5. Diagrama de Flujo del proceso de elaboración de pan de molde**

### 3.5. Evaluación de la calidad de los panes.

Los panes producidos fueron caracterizados a través de los siguientes análisis:

#### 3.5.1. Volumen específico.

El volumen del producto se determinó por el método de desplazamiento de semillas de baja densidad (alpiste), una hora después del horneado. El recipiente utilizado fue de metal.

$$\text{Volumen específico} = \frac{\text{Volumen del pan}(ml)}{\text{Masa}(g)}$$

#### 3.5.2. Color de la corteza y de la miga.

Para la determinación del color de la corteza y la miga de los panes fue utilizado el colorímetro (Marca. KONICA MINOLTA) siguiendo el sistema CIE-lab, determinándose los valores de L\* luminosidad (Negro 0/Blanco 100), a\* (verde-/rojo+) y b\* (azul-/amarillo+). La cromacidad (C\*) y el ángulo de tonalidad (h\*), fue calculado según minolta (1993).

El color de la miga fue realizado en el centro de la rebanada de pan, por triplicado y el color de la corteza en la parte superior del pan, en el punto medio.

La cromacidad fue determinado utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Cromacidad (C*)} = ((a^*)^2 + (b^*)^2)^{1/2}$$

El ángulo de tonalidad h fue determinado por:

$$h = \tan^{-1} (b^*/a^*)$$

### **3.5.3. Textura instrumental.**

Para determinar la resistencia a la extensión se utilizó el extensógrafo Brabender.

### **3.5.4. Análisis sensorial.**

Fue realizado el análisis sensorial de todas formulaciones de pan de molde incluyendo el pan patrón.

Los panes fueron evaluados por 30 panelistas no entrenados de ambos sexos y diferentes grupos de edad. Las características evaluadas fueron: color, aroma, textura, sabor e intención de compra.

Las muestras fueron codificadas con números de tres cifras. Por otro lado las fichas de evaluación sensorial fueron realizadas teniendo en cuenta una escala hedónica de 5 puntos (1=me disgusta mucho a 9=me gusta mucho). Los panelistas fueron cuestionados en cuanto a la intención de compra, en caso de que el producto estuviera en venta, en una escala de 5 puntos.

### **3.5.5. Análisis estadístico.**

El programa estadística STATISTICA–STATSOFT en su versión 13.2 fue utilizado para determinar los efectos de las variables independientes en la variables respuestas, para calcular los coeficientes de regresión, el análisis de varianza (ANOVA) y construir las superficies de respuesta con nivel de significancia de 5% o 10% según sea el caso.

## **3.6. Evaluación de la mejor formulación de pan de molde.**

La elección de la mejor formulación del Diseño Compuesto Central Rotacional (DCCR)  $2^2$  aplicado, se realizó teniendo en cuenta principalmente que en el análisis sensorial la formulación goce de la mayor aceptación e intención de compra, un volumen específico y un perfil de textura adecuado. A la formulación seleccionada como la mejor, conjunto con el patrón se le determinó los siguientes análisis:

### **3.6.1. Composición porcentual.**

Las determinaciones de la humedad, proteína y cenizas de la mejor formulación y el patrón fueron realizadas por los métodos N°44-15A de la AACC (1995), N°920.87 de la AOAC (1980) y 923.03 de la AOAC (1980). El contenido de grasa fue determinado según el método 920.39C de la AOAC (1997). Los carbohidratos fueron determinados por diferencia. Las pruebas fueron realizadas por triplicado.

### **3.6.2. Fibra.**

La determinación de fibra fue realizada según el método NMX-F-090(1978).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Caracterización de las harinas de trigo, haba y linaza.

#### 4.1.1. Composición porcentual.

En la tabla 7 se presentan los datos de composición porcentual de las harinas de trigo, haba y linaza.

**Tabla 7. Composición porcentual (%) de las harinas de trigo, haba y linaza.**

<b>Componentes</b> <b>%</b>	<b>Harina de</b> <b>trigo</b>	<b>Harina de</b> <b>haba</b>	<b>Harina de</b> <b>linaza</b>
Humedad	13.0	6.93	5.92
Grasa	1.68	3.63	32.32
Cenizas	0.56	2.87	2.90
Proteína	12.01	24.71	22.96
Carbohidratos	70.50	61.86	35.90

##### 4.1.1.1. Humedad.

La humedad de la muestra harina de trigo obtuvo el valor del 13%, siendo mayor al 6.93% y 5.92% obtenido para las harinas de haba y linaza.

Ortiz (2009), reporto valores de humedad de 7.38 a 9,55%; en su estudio realizado a diferentes variedades de haba.

Para la harina de linaza se obtuvo el valor de 5.92% ligeramente menor a lo reportado por Conde (2015).

##### 4.1.1.2. Grasa.

La harina de haba presenta un contenido de grasa de 3.63; estando dentro del rango de 2 a 4% de contenido lipídico del haba según Ortiz (2009).

La harina de linaza presenta el valor de 32.32%, siendo menor a lo reportado por Conde (2015); quien obtuvo el valor de 37.28% y Camelo (2007); quien obtuvo el valor de 40.21%.

#### **4.1.1.3. Proteínas.**

Según indican Ortiz (2009) la proteína en Vicia faba representa alrededor de 24-32%. Este valor depende del tipo o variedad, el nivel de maduración así como las condiciones climatológicas. El valor obtenido en la presente investigación para la proteína fue 24.71%, estando dentro del rango en mención. De otro lado Conde (2015), reporta el valor de 22.89% para la harina de linaza; similar al valor de 22.96% encontrado en este estudio.

#### **4.1.1.4. Carbohidratos.**

El contenido de este nutriente en el haba oscila alrededor del 60%, reportado también por Ortiz (2009).

#### **4.1.1.5. Cenizas.**

Se determinó el porcentaje de cenizas en la harina de trigo, harina de haba y harina de linaza; obteniéndose valores de 0.56, 2.87 y 2.90, respectivamente.

#### **4.1.2. Fibra.**

Se determinó el contenido de fibra obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 8. Contenido de fibra (%)**

<b>Materia Prima</b>	<b>Fibra (%)</b>
Harina de haba	1.95
Harina de linaza	37.18

Se realizó el análisis del contenido de fibra en harina de haba y harina de linaza cuyos resultados fueron 1.95% y 37.18%, respectivamente. Ortiz (2009) reporto contenidos de fibra similares en diferentes cultivares de haba; presentando valores de 1.42% a 2.02%.

#### 4.1.3. Colorimetría.

*Tabla 9. Valores medios de los parámetros de Luminosidad, a\*, b\* c\* y h de las materias primas*

<b>Materia Prima</b>	<b>Luminosidad (L*)</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>Cromacidad (C*)</b>	<b>Angulo de tonalidad (h°)</b>
Harina de Trigo	99.2485	1.1569	14.4071	14.4534	85.4088
Harina de haba	91.617	-1.217	18.993	19.032	86.3346
Harina de linaza	64.987	4.260	19.707	20.162	77.8019

La harina de trigo presentó una coloración más clara (99.2485) con respecto a la harina de haba (91.617) y harina de linaza (64.987).



Con respecto a los valores de  $b^*$  de las harinas, todas tienen una tendencia al color amarillo. En cuanto al valor de  $a^*$  se tiene una ligera tendencia al color rojo en la harina de trigo y harina de soya. Y para el caso de la harina de haba una tendencia al color verde.

En el estudio realizado por Ortiz (2009) reporta en general que los cotiledones del haba muestran un color amarillo que varía de acuerdo al cultivar, el color rojizo es poco apreciable y la luminosidad del haba oscila entre 88 y 90.

Los resultados obtenidos por Ostojich (2010) indican que para el color instrumental de la linaza se muestran diferencias significativas para los dos variedades de semillas, el parámetro L es mayor en la semilla nacional, debido a que su color es más claro que el de la variedad importada. Para los parámetros a y b, se obtuvieron coordenadas positivas, lo que indica la presencia de tonalidades rojas y amarillas, respectivamente, con mayor intensidad en la semilla nacional.

4.2. Cómputo químico.

**Tabla 10: Cómputo Químico de los ensayos del planeamiento experimental.**

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	
<b>HARINA DE TRIGO (Triticum Aestivum)</b>	97.6	92.0	92.0	86.4	96.0	88.0	96.0	88.0	92.0	92.0	92.0	
<b>HARINA DE HABA (Vicia Faba)</b>	1.2	6.8	1.2	6.8	0	8	4	4	4	4	4	
<b>FORMULACIONES (%) HARINA DE LINAZA (Linum usitatissimum)</b>	1.2	1.2	6.8	6	4	4	0	8	4	4	4	<b>Patrón de aminoácidos (mg/g proteína)*</b>
Isoleucina	118	120	119	121	118	121	119	120	120	120	120	<b>30</b>
Leucina	120	121	121	119	118	120	121	117	119	119	119	<b>59</b>
Lisina	71	80	80	81	70	82	75	77	76	76	76	<b>45</b>
Metionina+Cistina	189	179	179	161	181	168	188	162	174	174	174	<b>22</b>
Fenilalanina + tirosina	209	209	209	205	207	207	210	204	207	207	207	<b>38</b>
Treonina	136	139	139	139	136	140	137	138	138	138	138	<b>23</b>
Triptófano	200	196	196	198	201	196	197	200	199	199	199	<b>6</b>
Valina	120	120	120	120	120	120	121	120	120	120	120	<b>39</b>
<b>SCORE QUIMICO (%) Histidina</b>	166	168	163	165	164	166	168	164	166	166	166	<b>15</b>

El cómputo químico o score químico determinado para el total de 11 formulaciones del diseño experimental, mostrado en la tabla 10; identifica a la lisina como aminoácido limitante, sin embargo sobrepasa el límite mínimo de 70% recomendado por la FAO/OMS.

Ortiz (2009) indica que las proteínas de haba, como otras legumbres, es deficiente en aminoácidos como metionina y cistina, pero es una buena fuente de lisina. Esta deficiencia de aminoácidos azufrados pudo ser complementada en la investigación por los contenidos presentes en el trigo y la linaza al realizar las formulaciones.

Así mismo Ostojich (2010), señala que los aminoácidos limitantes de la proteína de linaza son la lisina y metionina, aunque en este sentido existen muchas divergencias, ya que en algunos autores incluyen también como limitantes a la isoleucina, la tirosina y la treonina, excluyendo a la metionina.

Para el estudio realizado, sin embargo al realizar el cómputo químico únicamente para la linaza, se tuvo como aminoácidos limitantes a la lisina y leucina. En el caso del limitante leucina, dejó de serlo al realizar las formulaciones de acuerdo al diseño experimental aplicado.

Por tanto, se puede aseverar que se obtuvo un score químico elevado para todas las formulaciones del diseño experimental.

### 4.3. Volumen específico.

Tabla 11. Volumen específico del pan de molde.

Ensayos	Harina de haba	Harina de linaza	Volumen Específico (ml/g)
1	-1.00	-1.00	5.011
2	1.00	-1.00	4.516
3	-1.00	1.00	4.480
4	1.00	1.00	4.144
5	-1.41	0	5.046
6	1.41	0	4.851
7	0	-1.41	4.923
8	0	1.41	4.852
9	0	0	4.656
10	0	0	4.304
11	0	0	4.298
<b>Patrón</b>	-	-	4.148

La **tabla 11** muestra el delineamiento experimental expresado como valores codificados y como valores reales; además de los resultados obtenidos de la variable en estudio.

Como se puede observar en la **tabla 11**, los resultados obtenidos para los diferentes ensayos realizados presentaron valores de volumen específico entre 4.304 (Formulación 10) y 5.011 (Formulación 1); valores mínimos y máximo respectivamente.

A través de los resultados del planeamiento experimental fue posible determinar los efectos de los factores sobre la respuesta volumen específico de

los panes de molde, presentados en la tabla 12. Analizando las probabilidades de significancia se observó que ningún término fue significativo en un nivel de significancia del 5% (figura 6). Teniendo un valor de coeficiente de determinación de 50.225%; lo que indica la falta de ajuste del diseño experimental.

Camargo (2008) indico que tampoco encontró diferencia estadística para la respuesta volumen específico de las formulaciones con sustituciones parciales de harina de linaza (0, 3, 6, 9%) obteniendo valores de 5.78, 4.85, 6.21 y 4.86 ml/g, respectivamente.

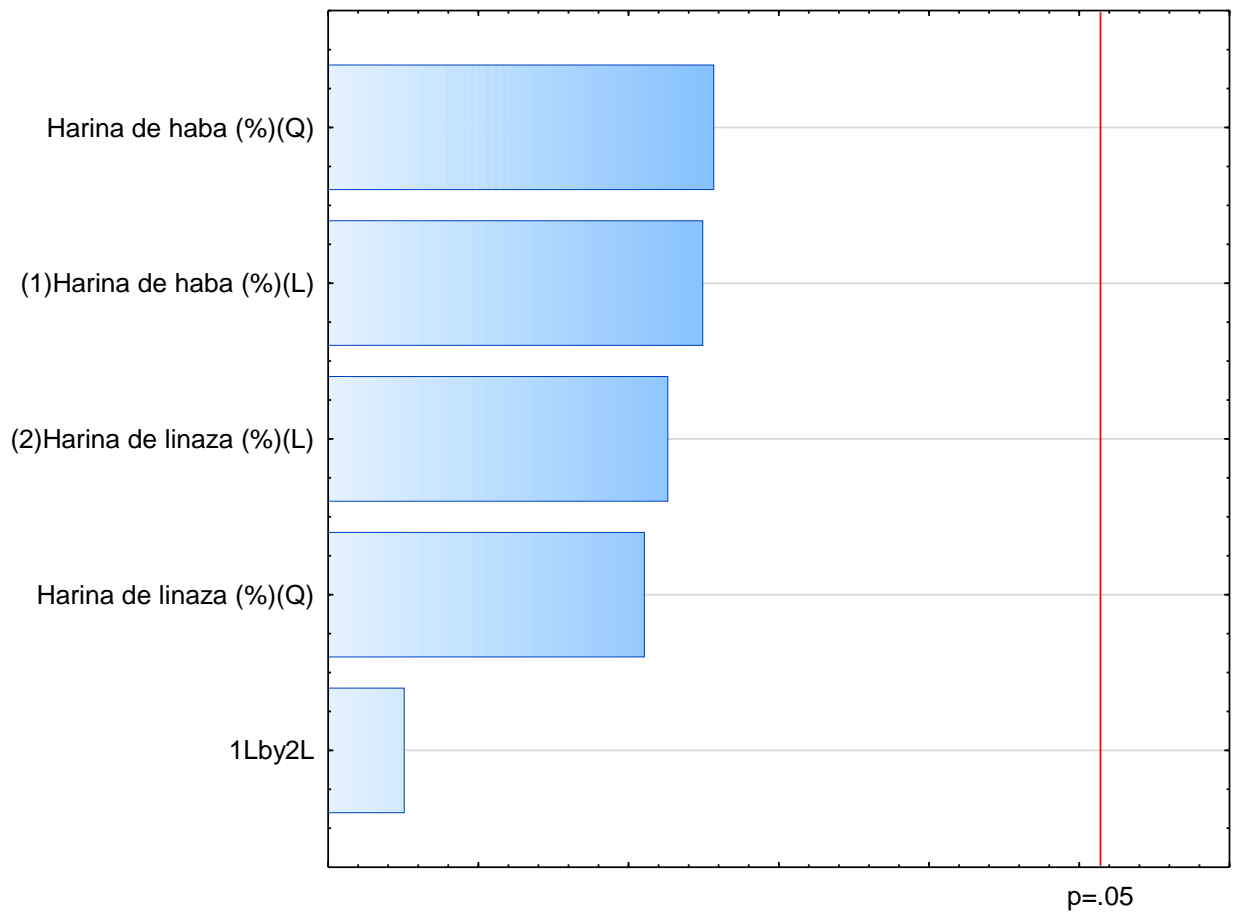
Por tanto, no se puede establecer una ecuación de modelo ajustado y una superficie de respuesta.

Como no fue posible establecer un modelo matemático de tendencia para el volumen de los panes de molde, en función de las variables en estudio, la selección de cualquier nivel de harina de haba y harina de linaza, dentro de los rangos estudiados, no conducirá a una diferencia en el producto final.

**Tabla 12. Coeficientes de regresión para respuesta volumen específico de los panes de molde.**

	<b>Coeficientes de regresión</b>	<b>Error estándar</b>	<b>t</b>	<b>p-valor*</b>
<b>Media</b>	4.419	0.18	24.39	<0.0001
<b>x<sub>1</sub> (L)</b>	-0.28	0.22	-1.25	0.2676
<b>x<sub>1</sub> (Q)</b>	0.34	0.26	1.28	0.2555
<b>x<sub>2</sub> (L)</b>	-0.25	0.22	-1.13	0.3095
<b>x<sub>2</sub> (Q)</b>	0.28	0.26	1.05	0.3406
<b>x<sub>1</sub> X x<sub>2</sub></b>	0.08	0.31	0.25	0.8101

x<sub>1</sub>=Harina de haba, x<sub>2</sub>=Harina de linaza, L=término lineal, Q=término cuadrático.\* Valores estadísticamente significativos al 5% de significancia (p<0.05).



**Ilustración 6: Diagrama de pareto de efectos significativos para la respuesta volumen específico.**

#### 4.4. Color de la corteza de los panes de molde.

**Tabla 13. Color de la corteza de los panes de molde de acuerdo con el planeamiento experimental**

Ensayos	Harina de haba	Harina de linaza	Luminosidad (L*)	Cromacidad (C*)	Ángulo de Tonalidad (h°)
1	-1.00	-1.00	45.963	12.361	68.236
2	1.00	-1.00	44.547	10.906	65.957
3	-1.00	1.00	46.883	11.969	73.796
4	1.00	1.00	46.270	11.742	69.476
5	-1.41	0	48.753	12.705	77.284
6	1.41	0	50.887	35.825	66.050
7	0	-1.41	52.427	37.406	67.965
8	0	1.41	51.317	33.643	66.602
9	0	0	52.990	35.947	68.519
10	0	0	54.180	36.194	69.689
11	0	0	52.033	34.858	69.050
<b>Patrón</b>	-	-	50.393	35.194	67.508

##### 4.4.1. Luminosidad de la corteza de los panes de molde.

La **tabla 13** indica que la luminosidad de la corteza se encuentra en un rango de 44.547 (Formulación 2) y 54.180 (Formulación 10); valores mínimos y máximo respectivamente.

Al analizar las probabilidades de significancia de la tabla 14 se observó que ningún término fue significativo en un nivel de significancia del 5% (figura 7).

El valor de coeficiente de determinación de 48.270%; lo que indica la falta de ajuste del diseño experimental.

Por tanto, no se puede establecer una ecuación de modelo ajustado y una superficie de respuesta.

Como no fue posible establecer un modelo matemático de tendencia para la luminosidad de la corteza de los panes de molde, en función de las variables en estudio, la selección de cualquier nivel de harina de haba y harina de linaza, dentro de los rangos estudiados, no conducirá a una diferencia en el producto final.

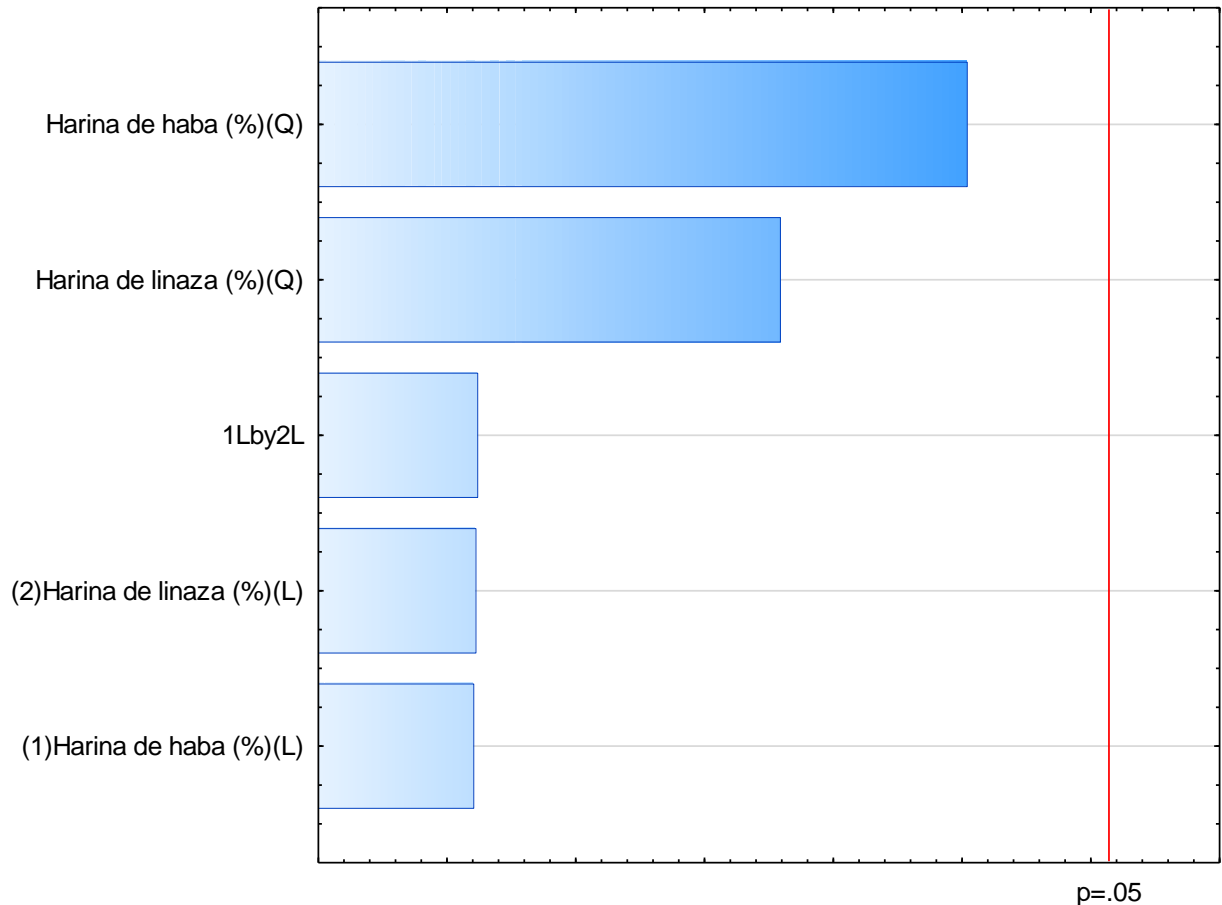
**Tabla 14. Coeficientes de regresión para respuesta de luminosidad de la corteza de los panes de molde.**

	<b>Coeficientes de regresión</b>	<b>Error estándar</b>	<b>t</b>	<b>p-valor*</b>
<b>Media</b>	53.07	1.94	27.38	<0.0001
<b>x<sub>1</sub> (L)</b>	0.25	2.37	0.10	0.9211
<b>x<sub>1</sub> (Q)</b>	-5.71	2.82	-2.02	0.0991
<b>x<sub>2</sub> (L)</b>	0.27	2.37	0.11	0.9144
<b>x<sub>2</sub> (Q)</b>	-3.66	2.82	-1.29	0.2516
<b>x<sub>1</sub> x x<sub>2</sub></b>	0.40	3.36	0.12	0.9094

x<sub>1</sub>=Harina de haba, x<sub>2</sub>=Harina de linaza, L=término lineal, Q=término cuadrático.

\* Valores estadísticamente significativos al 5% de significancia (p<0.05).





**Ilustración 7: Diagrama de Pareto de efectos significativos para la respuesta luminosidad de la corteza**

#### 4.4.2. Cromacidad de la corteza de los panes de molde.

La **tabla 13** indica que la luminosidad de la corteza se encuentra en un rango de 10.906 (Formulación 2) y 37.406 (Formulación 7); valor mínimo y máximo respectivamente.

Al analizar las probabilidades de significancia de la tabla 15 se observó que ningún término fue significativo en un nivel de significancia del 5% (figura 7).

El valor de coeficiente de determinación de 47.392% %; lo que indica la falta de ajuste del diseño experimental.

Por tanto, no se puede establecer una ecuación de modelo ajustado y una superficie de respuesta.

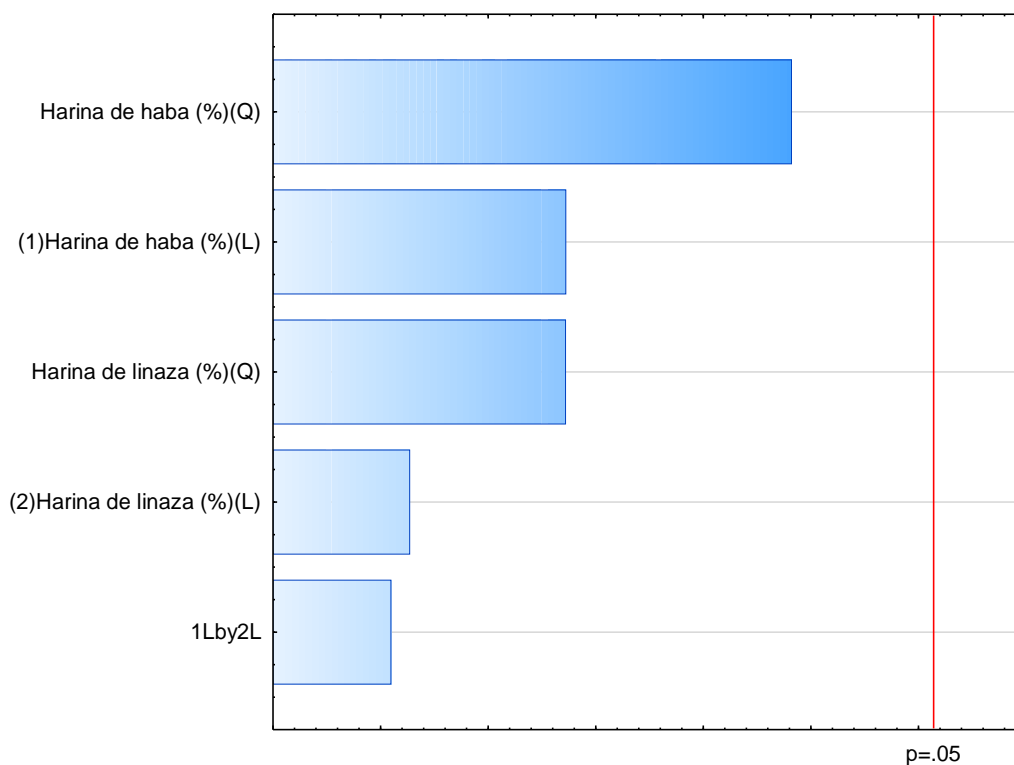
Como no fue posible establecer un modelo matemático de tendencia para la cromacidad de la corteza de los panes de molde, en función de las variables en estudio, la selección de cualquier nivel de harina de haba y harina de linaza, dentro de los rangos estudiados, no conducirá a una diferencia en el producto final.

**Tabla 15. Coeficientes de regresión para respuesta de cromacidad de la corteza de los panes de molde**

	<b>Coeficientes de regresión</b>	<b>Error estándar</b>	<b>t</b>	<b>p-valor*</b>
<b>Media</b>	35.67	7.36	4.85	<0.0001
<b>x<sub>1</sub> (L)</b>	7.75	9.01	0.86	0.4288
<b>x<sub>1</sub> (Q)</b>	-20.48	10.72	-1.91	0.1145
<b>x<sub>2</sub> (L)</b>	-1.22	9.01	-0.14	0.8976
<b>x<sub>2</sub> (Q)</b>	-9.22	10.72	-0.86	0.4293
<b>x<sub>1</sub> x x<sub>2</sub></b>	0.61	12.74	0.05	0.9634

x<sub>1</sub>=Harina de haba, x<sub>2</sub>=Harina de linaza, L=término lineal, Q=término cuadrático.

\* Valores estadísticamente significativos al 5% de significancia (p<0.05).



**Ilustración 8: Diagrama de Pareto de efectos significativos para la respuesta cromacidad de la corteza**

#### 4.4.3. Ángulo de tonalidad de la corteza de los panes de molde.

El ángulo de tonalidad para la corteza de las formulaciones de pan, presento un rango de 65.957 a 73.796°.

Los puntos centrales y/o repeticiones presento valores muy próximos lo que indica la buena repetitividad del proceso.

Los efectos determinados para la variable respuesta en estudio se muestran en la tabla 16. De la tabla se pudo encontrar al término lineal de harina de haba como el único término significativo (Figura 9), al utilizar la probabilidad de significancia al 5%. Siendo el término cuadrático de harina de haba, el término lineal y cuadrático de la linaza y la interacción de las harinas no significativos ( $p > 0.05$ ).

**Tabla 16. Coeficientes de regresión para respuesta de ángulo de tonalidad de la corteza de los panes de molde.**

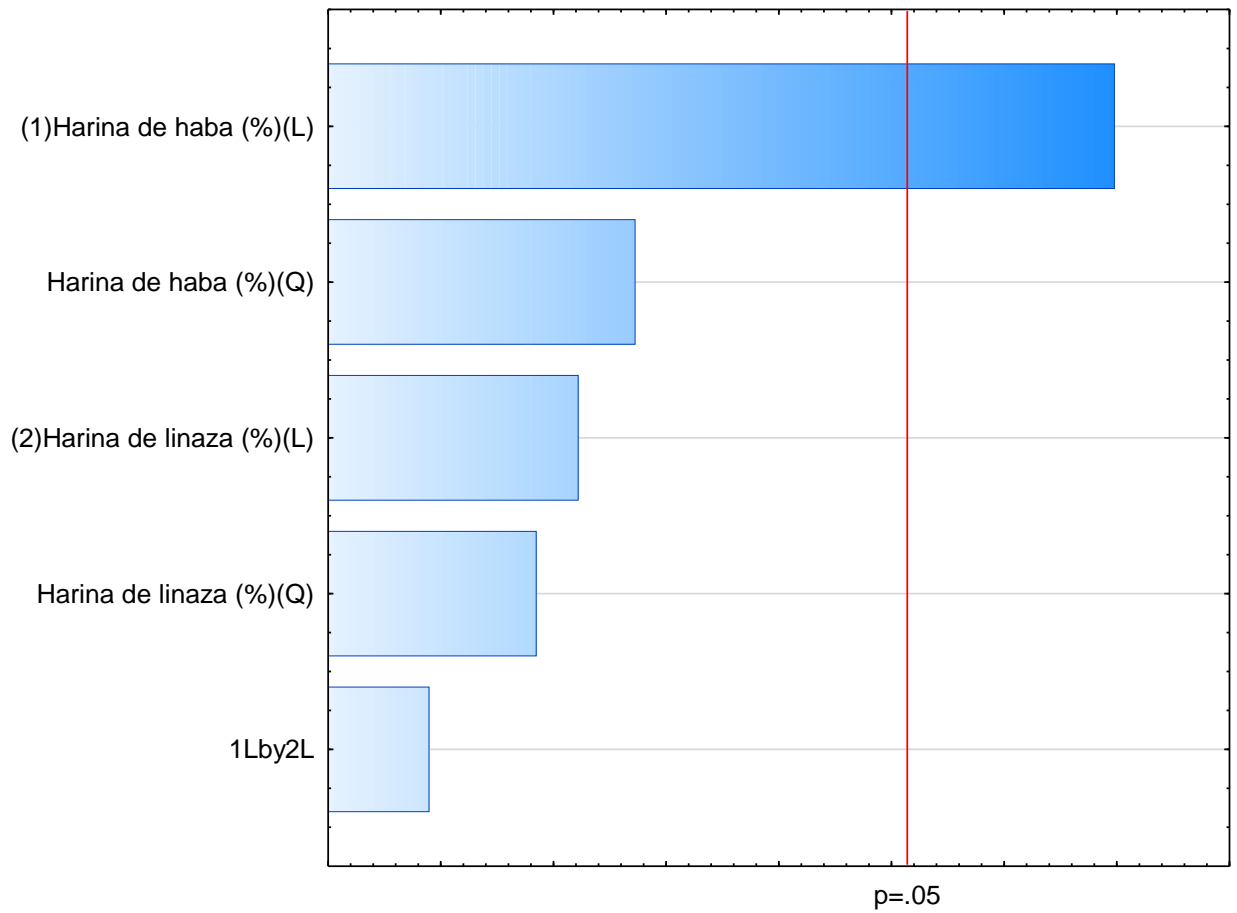
	<b>Coeficientes de regresión</b>	<b>Error estándar</b>	<b>t</b>	<b>p-valor*</b>
<b>Media</b>	69.00	1.32	52.46	<0.0001
<b>x<sub>1</sub> (L)</b>	-5.62	1.61	3.49	0.0175
<b>x<sub>1</sub> (Q)</b>	2.61	1.92	1.36	0.2312
<b>x<sub>2</sub> (L)</b>	1.79	1.61	1.11	0.3176
<b>x<sub>2</sub> (Q)</b>	-1.77	1.92	-0.92	0.3981
<b>x<sub>1</sub> x x<sub>2</sub></b>	-1.02	2.28	-0.45	0.6729

x<sub>1</sub>=Harina de haba, x<sub>2</sub>=Harina de linaza, L=término lineal, Q=término cuadrático.

\* Valores estadísticamente significativos al 5% de significancia (p<0.05).

El diseño experimental para la respuesta ángulo de tonalidad de la miga presento 77.665% de coeficiente de determinación. Si bien es cierto el valor indica un buen ajuste del modelo. Este se ve disminuido al solo incluir dentro del estudio a aquel término que fue significativo. Por tanto el nuevo valor de r<sup>2</sup> fue de 54.397%. Lo que indica la falta de ajuste del modelo.

Por lo expuesto no se puede establecer una ecuación predictiva para la respuesta ángulo de tonalidad, indicando que cualquier selección de nivel de harina de haba y linaza dentro de los rangos estudiados, no conduce a una diferencia significativa en el pan de molde.



**Ilustración 9: Diagrama de pareto de efectos significativos para la respuesta ángulo de tonalidad de la corteza.**

#### 4.5. Color de la miga de los panes de molde.

**Tabla 17. Color de la miga de los panes de molde** de acuerdo con el planeamiento experimental

Ensayos	Harina de haba	Harina de linaza	Luminosidad (L*)	Cromacidad (C*)	Ángulo de Tonalidad (h°)
1	-1.00	-1.00	58.090	8.115	79.516
2	1.00	-1.00	55.977	8.385	83.426
3	-1.00	1.00	51.170	7.616	85.909
4	1.00	1.00	50.513	8.127	87.132
5	-1.41	0	56.080	7.828	82.808
6	1.41	0	75.430	16.097	89.585
7	0	-1.41	75.810	13.357	85.018
8	0	1.41	66.487	14.440	88.823
9	0	0	64.3	13.201	88.075
10	0	0	64.95	13.342	89.041
11	0	0	63.76	13.394	89.372
<b>Patrón</b>	-	-	78.503	14.974	84.840

##### 4.5.1. Luminosidad de la miga de los panes de molde.

La luminosidad de la miga del pan de molde presento valores en el rango de 64.3 a 75.810.

Al evaluar cada probabilidad de significancia de los términos lineales, cuadráticos y la interacción de las variables en estudios; se concluye que ningún término fue significativo. Es decir la harina de haba y harina de linaza no

tiene influencia estadística significativa en la variable respuesta luminosidad de la miga. El valor de  $r^2$  (28.019) fue demasiado bajo.

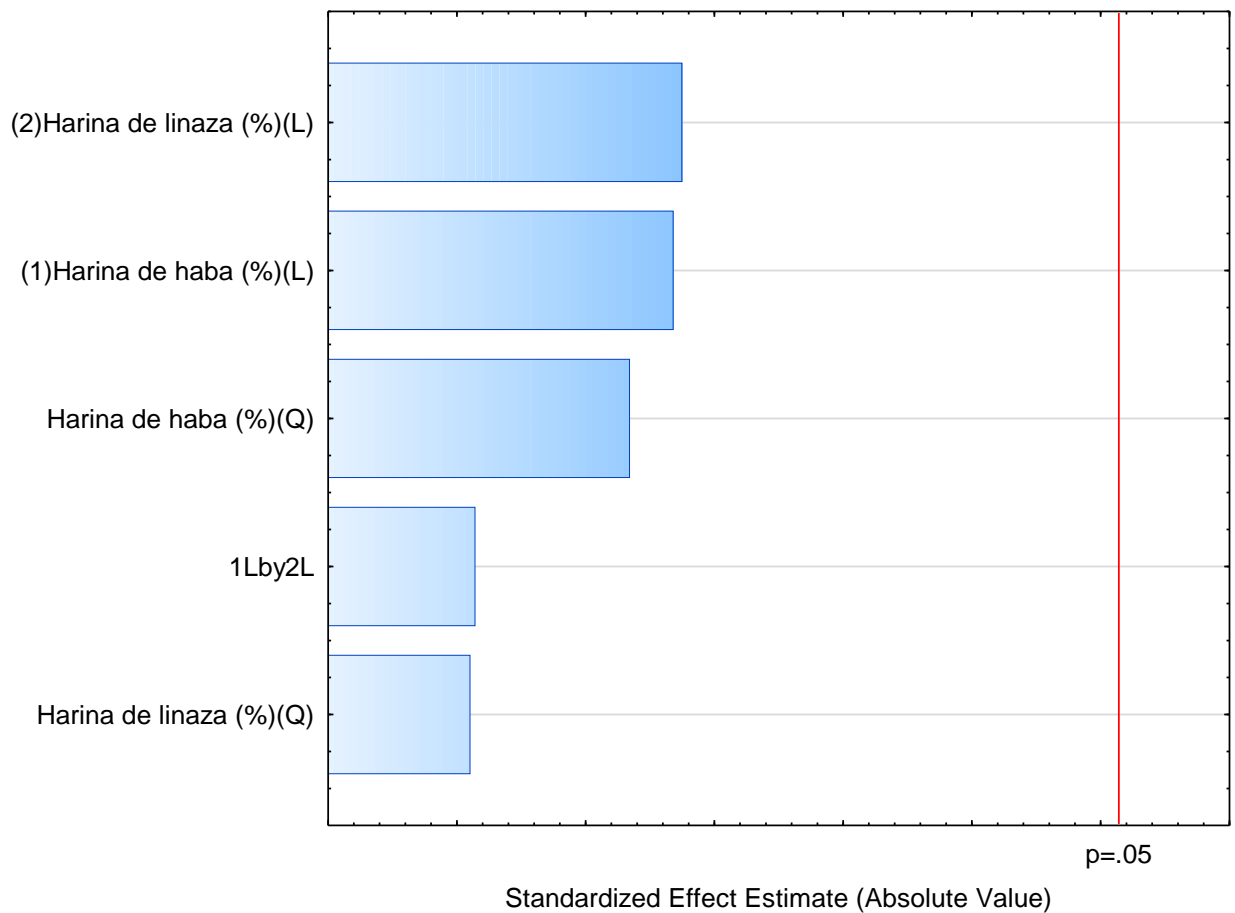
**Tabla 18: Coeficientes de regresión para respuesta de luminosidad de la miga de los panes de molde.**

	<b>Coeficientes de regresión</b>	<b>Error estándar</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor*</b>
<b>Media</b>	64.34	5.98	10.77	<0.0001
<b>x<sub>1</sub> (L)</b>	6.15	7.32	0.84	0.4391
<b>x<sub>1</sub> (Q)</b>	-5.84	8.71	-0.67	0.5324
<b>x<sub>2</sub> (L)</b>	-6.39	7.32	-0.87	0.4224
<b>x<sub>2</sub> (Q)</b>	-0.45	8.71	-0.05	0.9612
<b>x<sub>1</sub> x x<sub>2</sub></b>	0.73	10.35	0.07	0.9467

x<sub>1</sub>=Harina de haba, x<sub>2</sub>=Harina de linaza, L=término lineal, Q=término cuadrático.

\* Valores estadísticamente significativos al 5% de significancia ( $p < 0.05$ ).

Por tanto no fue posible establecer una ecuación predictiva de la variable respuesta en estudio. Concluyendo en que la adiciones de concentraciones de harina de haba y harina de linaza en los porcentajes estudiados no tiene incidencia en la respuesta luminosidad de la miga.



**Ilustración 10: Diagrama de pareto de efectos significativos para la respuesta luminosidad de la miga.**

#### 4.5.2. Cromacidad de la miga de los panes de molde.

Los valores de cromacidad de la miga presentados en la tabla 17, varían en el rango de 7.616 a 14.440. De la tabla se puede observar que los puntos centrales tienen valores próximos entre sí, indicando la buena ejecución del proceso.

La tabla 19 presenta los valores de probabilidad para cada término en estudio. De la misma se asevera que no hay ninguno término que tenga influencia



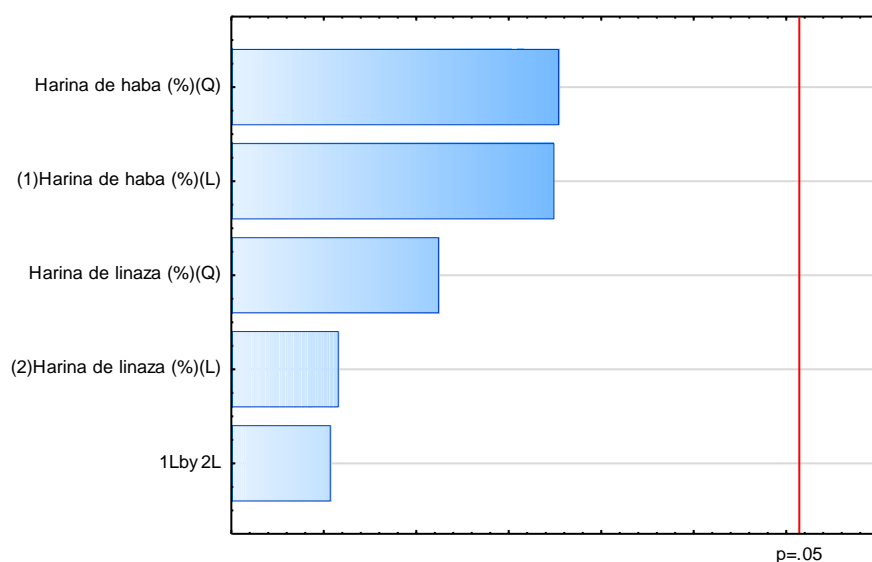
significativa en la cromacidad de la miga de los panes de molde. El coeficiente de determinación obtuvo el valor de 39.194%.

**Tabla 19: Coeficientes de regresión para respuesta de cromacidad de la miga de los panes de molde.**

	<b>Coeficientes de regresión</b>	<b>Error estándar</b>	<b>t(9)</b>	<b>p-valor*</b>
<b>Media</b>	13.31	2.05	6.49	0.0013
<b>x<sub>1</sub> (L)</b>	3.12	2.51	1.24	0.2691
<b>x<sub>1</sub> (Q)</b>	-3.78	2.99	-1.27	0.2609
<b>x<sub>2</sub> (L)</b>	0.19	2.51	0.08	0.9415
<b>x<sub>2</sub> (Q)</b>	-1.85	2.99	-0.62	0.5631
<b>x<sub>1</sub> x x<sub>2</sub></b>	0.12	3.55	0.03	0.9742

x<sub>1</sub>=Harina de haba, x<sub>2</sub>=Harina de linaza, L=término lineal, Q=término cuadrático.

\* Valores estadísticamente significativos al 5% de significancia (p<0.05).



**Ilustración 11: Diagrama de Pareto de efectos significativos para la respuesta cromacidad de la miga.**

Por tanto no fue posible establecer una ecuación predictiva de la variable respuesta en estudio. Concluyendo en que la adiciones de concentraciones de harina de haba y harina de linaza en los porcentajes estudiados no tiene incidencia en la respuesta cromacidad de la miga.

#### 4.5.3. Ángulo de tonalidad de la miga de los panes de molde.

El ángulo de tonalidad de la miga de los panes de molde (tabla 17) presento valores en un rango de 79.516 y 89.585.

A través de los resultados fue posible determinar los coeficientes de regresión de los términos lineales y cuadráticos, e interacción de las variables independientes (**tabla 20**) y los efectos significativos para la variable en estudio (**figura 12**).

Los términos lineales y cuadráticos de la harina de haba y harina de linaza presentaron influencia estadística significativa en el ángulo de tonalidad de la miga de los panes de molde cuando se trabajó con un nivel de significancia del 10%.

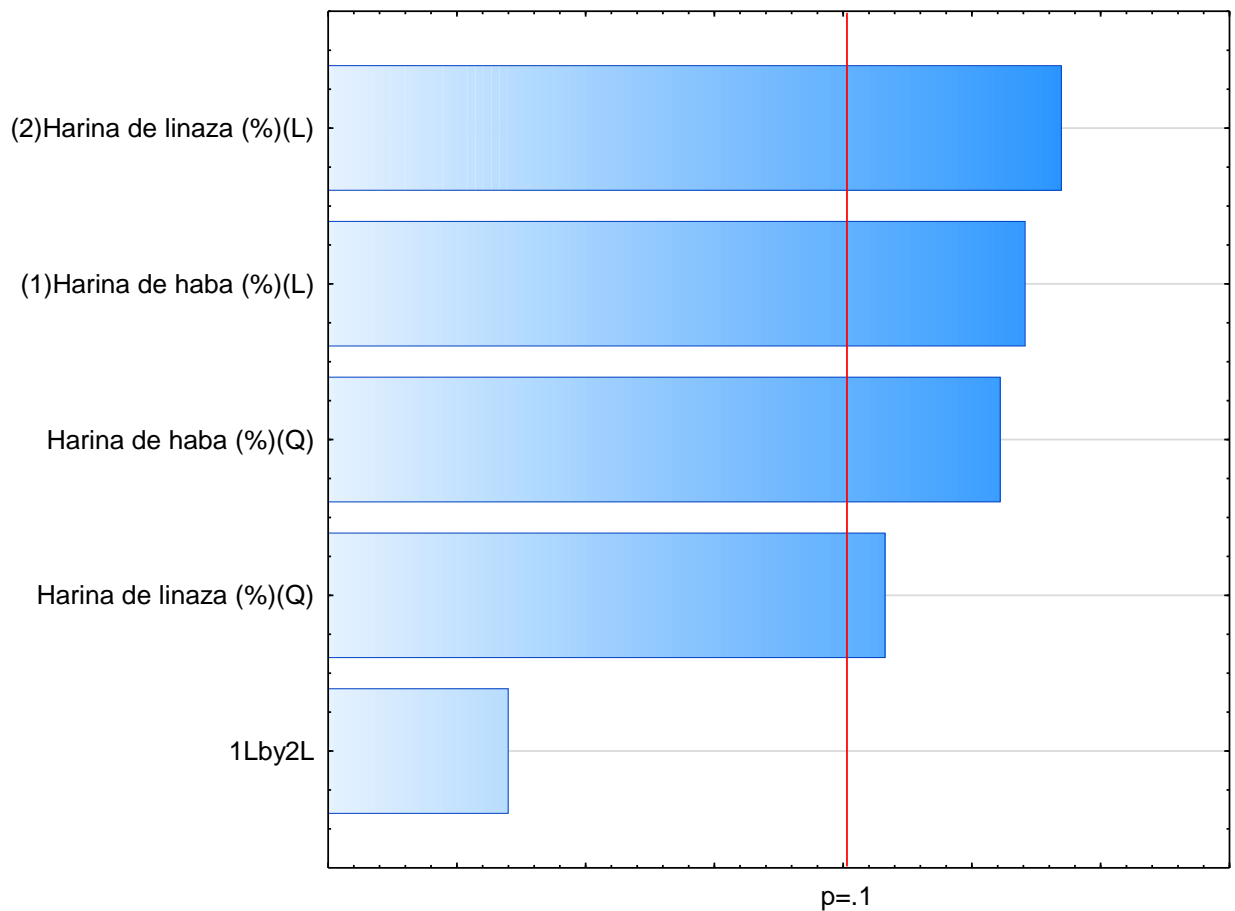
**Tabla 20: Coeficientes de regresión para respuesta ángulo de tonalidad de la miga de los panes de molde**

	<b>Coeficientes de regresión</b>	<b>Error estándar</b>	<b>t</b>	<b>p-valor*</b>
<b>Media</b>	89.14	1.11	80.31	<0.0001
<b>x<sub>1</sub> (L)</b>	3.68	1.36	2.71	0.0424
<b>x<sub>1</sub> (Q)</b>	-4.22	1.62	-2.61	0.0477
<b>x<sub>2</sub> (L)</b>	3.87	1.36	2.85	0.0359
<b>x<sub>2</sub> (Q)</b>	-3.49	1.62	-2.16	0.0829
<b>x<sub>1</sub> x x<sub>2</sub></b>	-1.34	1.92	-0.69	0.5158

x<sub>1</sub>=Harina de haba, x<sub>2</sub>=Harina de linaza, L=término lineal, Q=término cuadrático.

\* Valores estadísticamente significativos al 10% de significancia (p<0.10).

El valor del coeficiente de determinación fue de 83.256%, indicando el buen ajuste del modelo y por tanto la adherencia de los puntos o ensayos a la recta. Así al excluir la interacción de las variables de harina de haba y harina de linaza por no ser significativo. El nuevo coeficiente de determinación es 81.620%; mostrando aun la óptima explicación de la variación total, inherente a las 11 formulaciones estudiadas.



**Ilustración 12: Diagrama de pareto de efectos significativos para la respuesta ángulo de tonalidad de la miga.**

En la tabla 21, podemos observar que el F calculado es mayor al tabulado; y por tanto se puede establecer una ecuación de modelo predictivo (Ecuación 1) para la respuesta ángulo de tonalidad de la miga del pan de molde. A su vez obtener la superficie de respuesta para la variable respuesta en mención.

**Tabla 21: Análisis de varianza para la respuesta Ángulo de tonalidad de la miga del pan de molde**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculado	F tabulado (4, 6;0.10)
Regresión	90.07	4	22.52		
Residuos	20.28	6	3.38	6.66	3.18
<b>Total</b>	<b>110.35</b>	<b>10</b>	<b>11.04</b>		

$$\text{Ángulo de tonalidad de la miga} = 89.14 + 3.68x_1 - 4.22x_1^2 + 3.87x_2 - 3.49x_2^2 \quad (1)$$

Donde:

$x_1$ =Harina de haba

$x_2$ =Harina de linaza

La figura 13 muestra la superficie de respuesta obtenida para el ángulo de tonalidad de la miga del pan de molde. Dado que la superficie de respuesta representa la maximización, se puede calcular los valores de harina de haba y harina de linaza que debe de utilizarse en la elaboración de pan de molde para obtener el valor más alto de este parámetro. Por lo cual se deriva la ecuación (1).

En función de  $x_1$ :

$$\frac{dy}{dx_1} = 3.68 - 8.44x_1 = 0$$

$$x_1 = 0.44$$

En función de  $x_2$ :

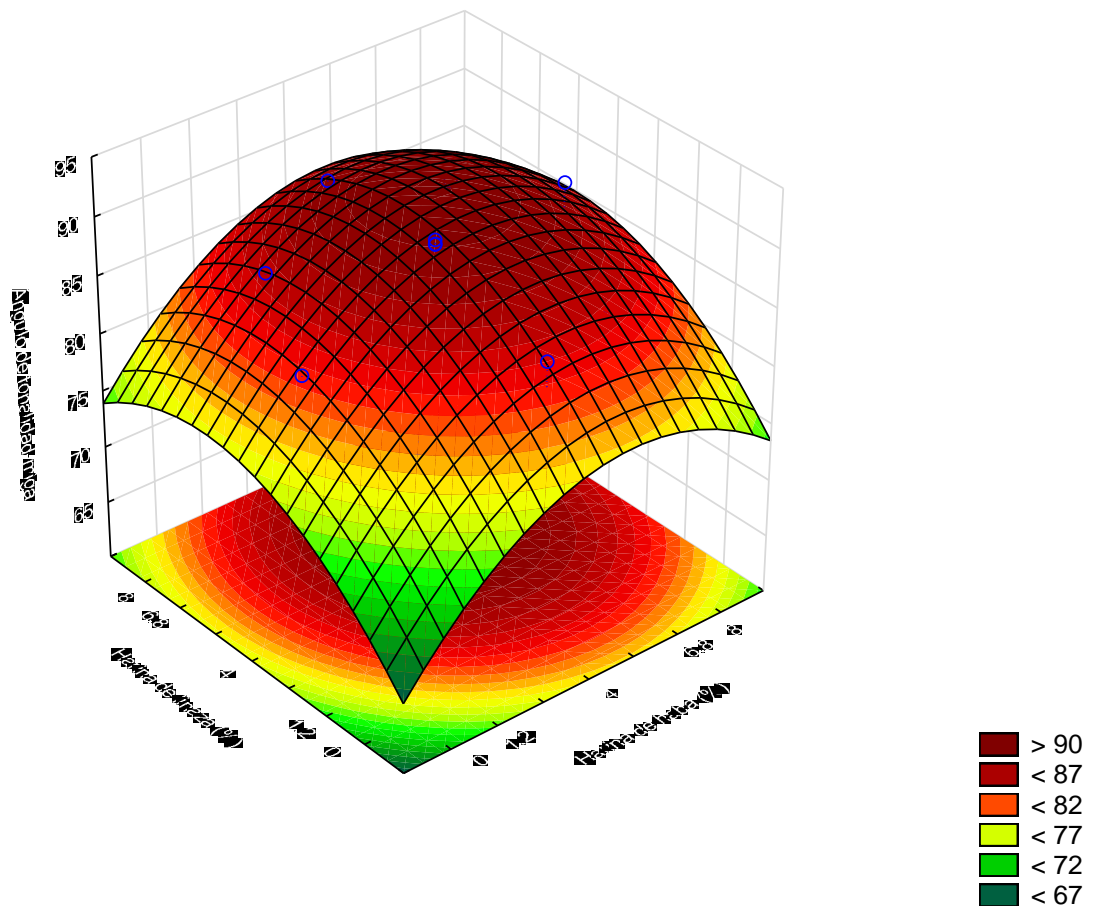
$$\frac{dy}{dx_2} = 3.87 - 6.98x_2 = 0$$

$$x_2 = 0.55$$

Dado que los valores de  $x_1$  y  $x_2$  son valores codificados se obtuvieron los valores reales de la tabla de Niveles de las variables independientes del diseño experimental (DCCR) 2<sup>2</sup>.

Por tanto para el valor codificado de  $x_1 = 0.44$ , se obtiene como valor real  $a=5.2\%$  de harina de haba. Y para el caso del valor codificado  $x_2=0.55$ ; se obtiene  $5.5\%$  de harina de linaza.

Las concentraciones para obtener el máximo valor de ángulo de tonalidad en los panes de molde será cuando se adicione  $5.2\%$  de harina de haba y  $5.5\%$  de harina de linaza.



**Ilustración 13 Superficies de respuesta para el ángulo de tonalidad de la miga de los panes de molde en función de: Contenido de harina de haba (%) y harina de linaza (%).**

#### **4.6. Evaluación sensorial.**

La tabla 22, muestra los resultados para las variables respuestas del análisis sensorial:

**Tabla 22: Respuestas obtenidas del análisis sensorial de los panes de molde**

Ensayos	Harina de haba	Harina de linaza	Color	Aroma	Textura	Sabor	Intención de compra
1	-1.00	-1.00	2.10	2.31	2.88	2.5	3.13
2	1.00	-1.00	2.28	2.56	2.78	2.52	3.25
3	-1.00	1.00	2.46	2.69	2.69	2.69	3.41
4	1.00	1.00	3.19	2.75	2.63	2.91	3.56
5	-1.41	0	2.25	2.44	2.25	2.44	3.25
6	1.41	0	2.53	2.47	2.34	2.47	3.22
7	0	-1.41	1.88	2.22	2.53	2.51	3.15
8	0	1.41	2.47	2.72	2.19	2.76	3.47
9	0	0	2.44	2.53	2.28	2.44	3.31
10	0	0	2.44	2.55	2.31	2.43	3.33
11	0	0	2.47	2.5	2.22	2.43	3.31
<b>Patrón</b>	-	-	1.91	2.06	1.94	1.94	2.84

#### 4.6.1. Color del pan de molde.

La tabla 22 muestra las puntuaciones promedios de color obtenidas en el análisis sensorial de las formulaciones de los panes de molde. Las puntuaciones se encuentran en el rango de 2.10 y 3.19. Dentro los cuales las formulaciones 4 (6.8% de harina de haba y 6.8% de harina de linaza) y 6 (8% de harina de haba y 4% de harina de linaza) son las que gozan de mayor aceptabilidad.

Al analizar los valores de probabilidad de significancia para los términos lineales y cuadráticos se determinó que únicamente los términos lineales de harina de haba y harina de linaza fueron estadísticamente significativos. Presentando valores de  $p < 0.05$ . Siendo el término de harina de linaza

altamente significativo, presentando la harina de linaza mayor incidencia en la apreciación de los panelistas para la respuesta color de los panes de molde.

**Tabla 23: Coeficientes de regresión para respuesta color de los panes de molde.**

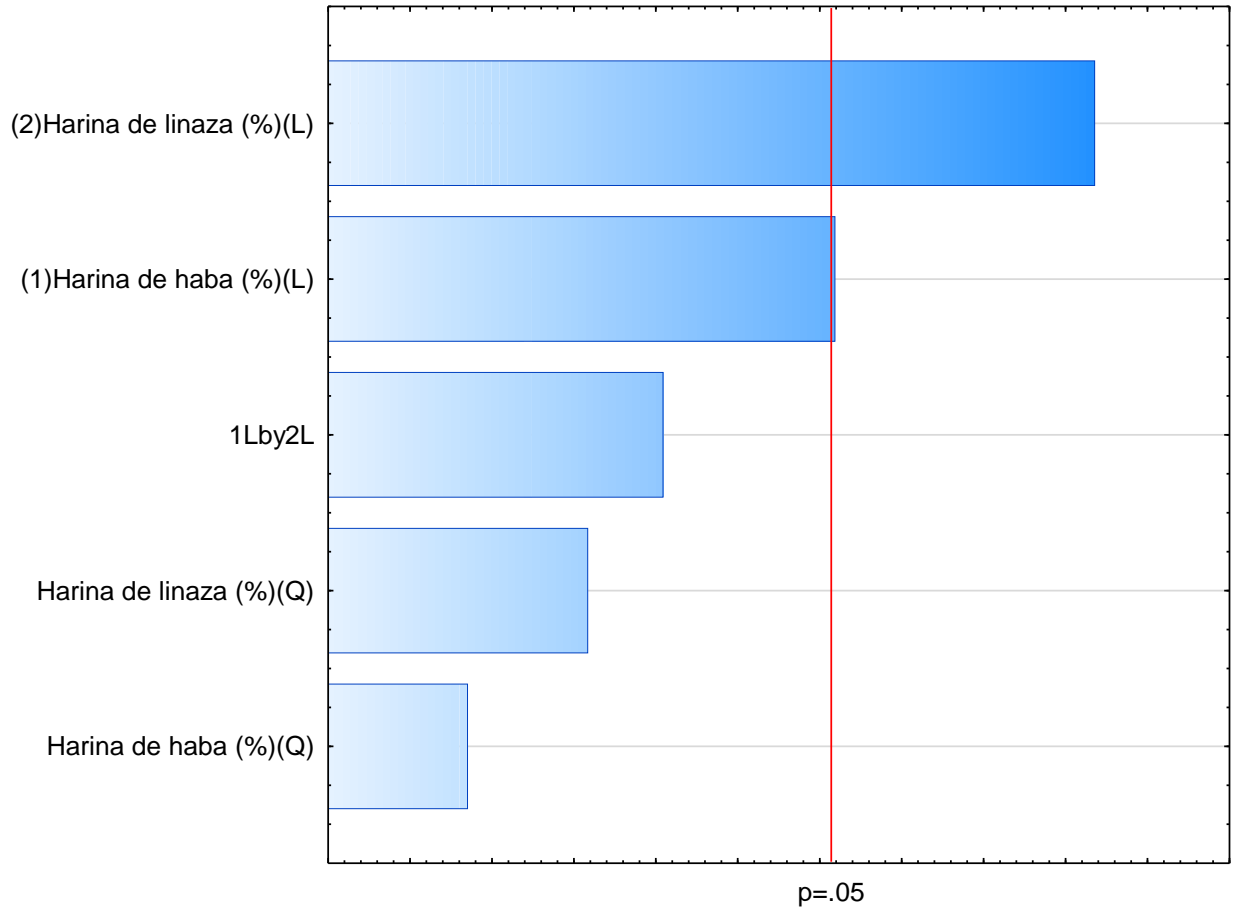
	<b>Coeficientes de regresión</b>	<b>Error estándar</b>	<b>t(8)</b>	<b>p-valor*</b>
<b>Media</b>	2.45	0.10	23.83	<0.0001
<b>x<sub>1</sub> (L)</b>	0.33	0.13	2.59	0.0487
<b>x<sub>1</sub> (Q)</b>	0.05	0.15	0.35	0.7404
<b>x<sub>2</sub> (L)</b>	0.53	0.13	4.18	0.0087
<b>x<sub>2</sub> (Q)</b>	-0.16	0.15	-1.08	0.3278
<b>x<sub>1</sub> X x<sub>2</sub></b>	0.28	0.18	1.54	0.1832

x<sub>1</sub>=Harina de haba, x<sub>2</sub>=Harina de linaza, L=término lineal, Q=término cuadrático.

\* Valores estadísticamente significativos al 5% de significancia (p<0.05).

El valor de coeficiente de determinación ( $r^2$ ) presento el valor 84.95% inicialmente, antes de la exclusión de aquellos términos que no fueron significativos. El valor de  $r^2$  para el modelo con los términos significantes estadísticamente fue de 72.761%.





**Ilustración 14: Diagrama de pareto de efectos significativos para la respuesta color.**

El analisis de varianza presento el valor de Fcalculado mayor al tabulado.

Por tanto al obtener un valor de  $r^2$  que indica un buen ajuste del modelo y al determinarse el rechazo de la hipotesis nula para el modelo, se pudo establecer una ecuación de modelo ajustado con los terminos significativos

**Tabla 24. Análisis de varianza para la respuesta color del pan de molde**

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F calculado</b>	<b>F tabulado (2, 8;0.05)</b>
<b>Regresión</b>	0.76	2	0.38		
<b>Residuos</b>	0.29	8	0.03625	10.48	4.46
<b>Total</b>	1.05	10	0.105		

La ecuación establecida se estructura con los coeficientes de regresión de los términos que fueron significativos. A continuación se muestra la ecuación:

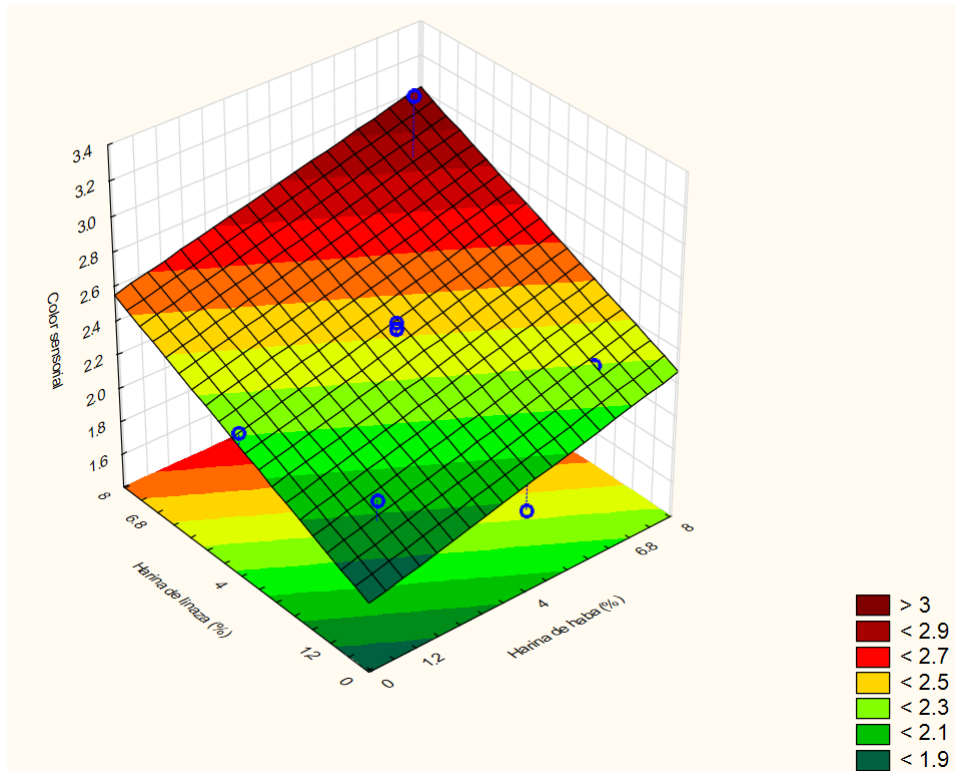
$$\text{Color} = y = 2.45 + 0.33x_1 + 0.53x_2 \dots (2)$$

Donde:

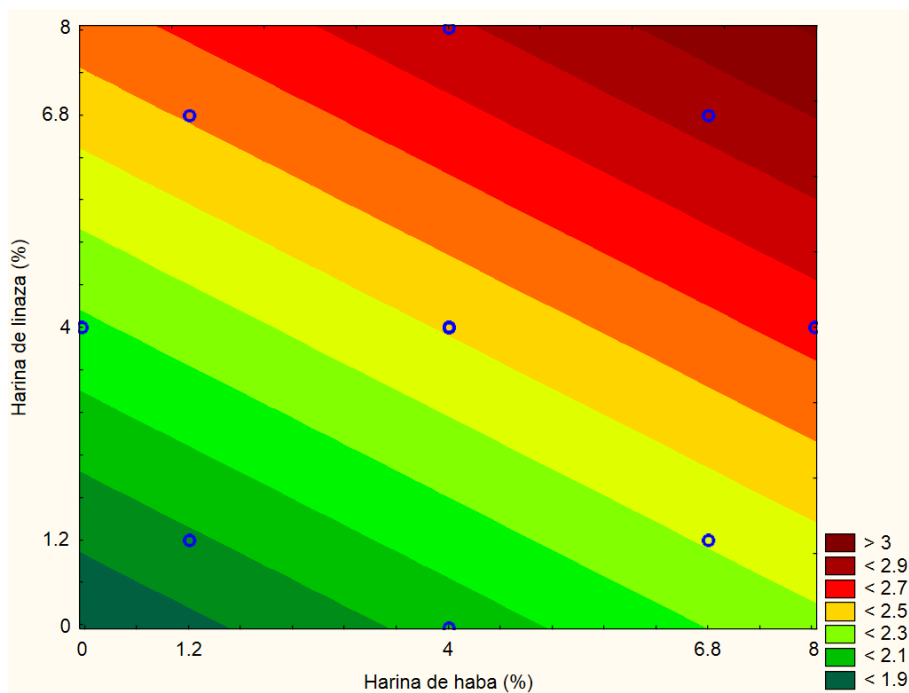
$x_1$ =Harina de haba

$x_2$ =Harina de linaza

La superficie de respuesta y el gráfico de contorno mostrado en las figuras 15 y 16, indican que al adicionar concentraciones de 6.8 a 8% de harina de haba y harina de linaza se obtendrán puntuaciones mayores a 3 en una escala hedónica de 5 puntos para la variable dependiente color del pan de molde. Por tanto al haber mayor adición de concentraciones de harina de haba y linaza se obtendrá mejores puntuaciones para el atributo sensorial en estudio. Costa (2014), reporto también el efecto positivo de aumentar la sustitución de harina de trigo por harina de linaza a niveles, en su caso de 10 y 15%; obteniéndose promedios de 7.25 y 8.75 en un escala de 9 puntos.



**Ilustración 15. Superficies de respuesta para el color de los panes de molde en función de: Contenido de harina de haba (%) y harina de linaza (%).**



**Ilustración 16 Gráfico de contorno para el color de los panes de molde en función de: Contenido de harina de haba (%) y harina de linaza (%).**

#### 4.6.2. Aroma del pan de molde.

La tabla 22 muestran un rango que van de 2.22 a 2.75 para la variable dependiente aroma, siendo mayor a la puntuación obtenida para el pan patrón. De aquí se observa que las formulaciones 4 (6.8% de harina de haba y 6.8% de harina de linaza) y 8 (4% de harina de haba y 8% de harina de linaza) son las que gozan mayor aceptabilidad.

Al analizar en tabla 27, los valores de probabilidad de significancia para los términos de la variable respuesta aroma, se observa que el término lineal de harina de linaza fue el único estadísticamente significativo (figura 17), expresado con el valor 0.0037. Este valor fue obtenido al trabajar en un nivel de significancia del 5%.

**Tabla 25: Coeficientes de regresión para respuesta aroma de los panes de molde.**

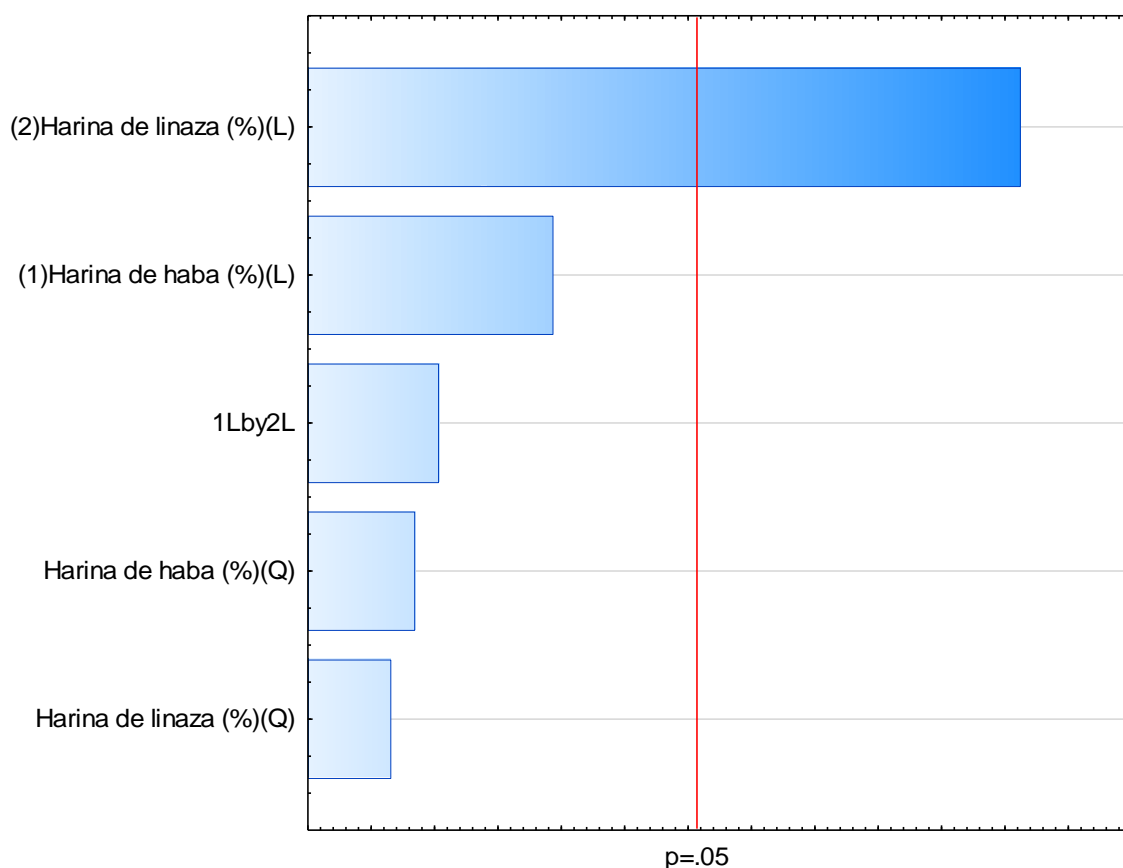
	<b>Coeficientes de regresión</b>	<b>Error estándar</b>	<b>t(5)</b>	<b>p-valor*</b>
<b>Media</b>	2.53	0.05	49.54	<0.0001
<b>x<sub>1</sub> (L)</b>	0.09	0.06	1.41	0.2175
<b>x<sub>1</sub> (Q)</b>	-0.01	0.07	-0.19	0.8564
<b>x<sub>2</sub> (L)</b>	0.32	0.06	5.11	0.0037
<b>x<sub>2</sub> (Q)</b>	0.01	0.07	0.01	0.9915
<b>x<sub>1</sub> x x<sub>2</sub></b>	-0.09	0.09	-1.08	0.3313

x<sub>1</sub>=Harina de haba, x<sub>2</sub>=Harina de linaza, L=término lineal, Q=término cuadrático.

\* Valores estadísticamente significativos al 5% de significancia (p<0.05).

El valor del coeficiente de determinación fue de 85.429%. Este valor se determinó para el modelo completo. Sin embargo al excluir todos los términos que no fueron significativos ( $p > 0.05$ ) el valor de  $r^2$  disminuye a 76.140%.

Este valor indica el buen ajuste del modelo.



**Ilustración 17: Diagrama de Pareto de efectos significativos para la respuesta aroma.**

La tabla 26 muestra el análisis de varianza para la respuesta aroma del pan de molde. De los resultados se concluye que el F calculado es mayor al F tabulado

**Tabla 26. Análisis de varianza para la respuesta aroma del pan de molde**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de	Cuadrados medios	F calculado	F tabulado
---------------------	-------------------	-----------	------------------	-------------	------------

	libertad			(1, 9;0.05)	
<b>Regresión</b>	0.20	1	0.20		
<b>Residuos</b>	0.06	9	0.007	28.57	5.12
<b>Total</b>	0.26	10	0.026		

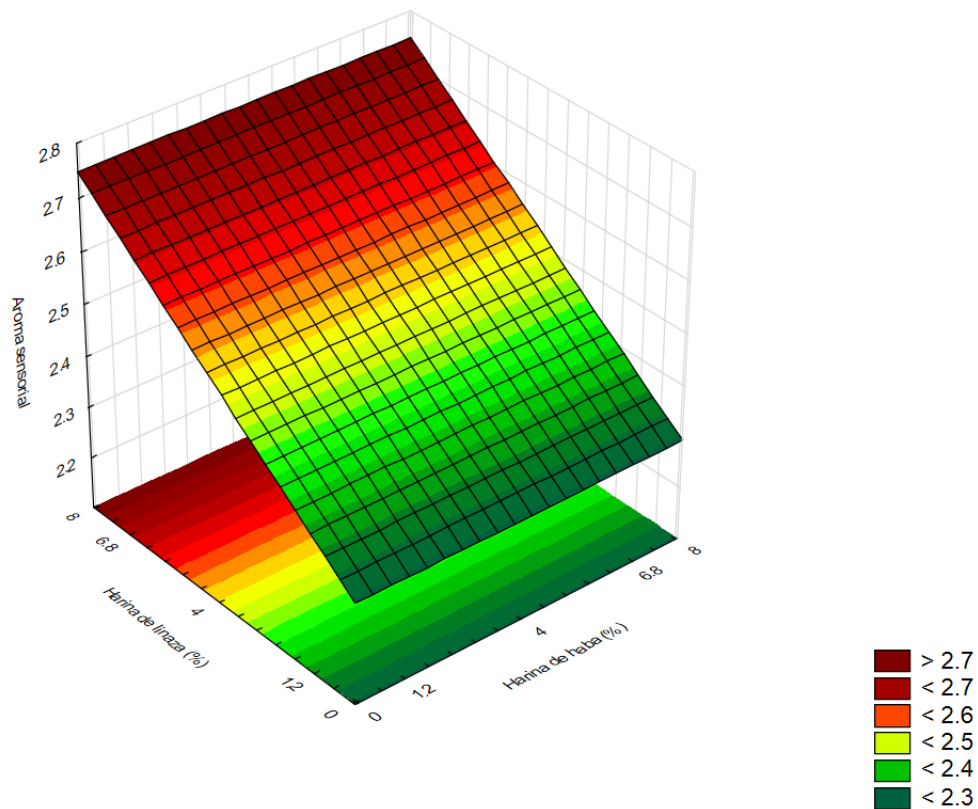
Luego de verificar que se obtiene un coeficiente de determinación correcto y un valor de  $F_{calculado}$  mayor al  $F_{tabulado}$ , se establece la ecuación que se presenta a continuación:

$$\text{Aroma} = y = 2.53 + 0.32x_2 \dots (3)$$

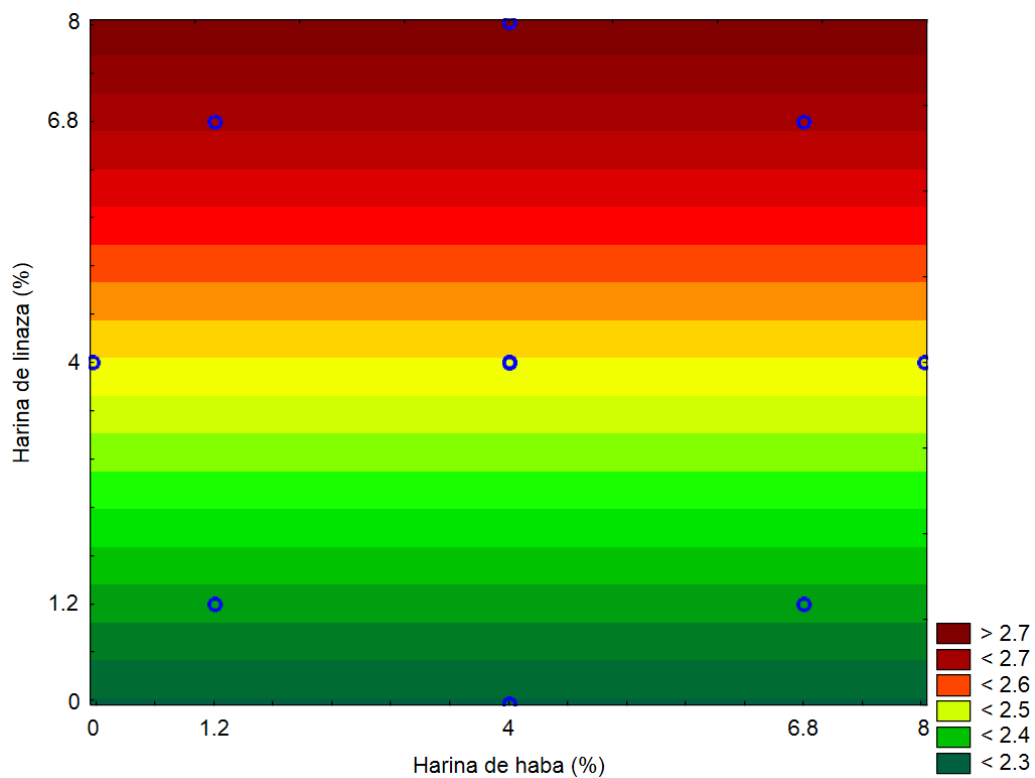
Donde:

$x_2$ =Harina de linaza

La superficie de respuesta y el gráfico de contorno mostrado en las figuras 18 y 19, indican que la harina de haba no tiene influencia en el aroma del pan de molde, además que al adicionar concentraciones de 6.8 a 8% de harina de linaza se obtendrán puntuaciones mayores a 2.7 para la variable dependiente aroma del pan de molde. Es decir al aumentar las concentraciones de harina de linaza aumenta también la aceptación también para el atributo en estudio. Costa (2014), reporto también el efecto positivo de sustituir la harina de trigo por harina de linaza a niveles, en su caso de 10 y 15%; obteniéndose promedios de 7.5 y 8.5 en un escala de 9 puntos, remarcado el buen nivel de aceptación al aumentar la concentración de harina de linaza.



**Ilustración 18. Superficies de respuesta para el aroma de los panes de molde en función de: Contenido de harina de haba (%) y Harina de linaza (mg/Kg).**



**Ilustración 19. Gráfico de contorno para el aroma de los panes de molde en función de: Contenido de harina de haba (%) y harina de linaza**

#### 4.6.3. Textura del pan de molde.

La tabla 22, muestra la apreciación de los panelistas para la variable respuesta textura. Aquí se puede observar que los valores varían de 2.19 a 2.88.

La tabla 27 presenta los valores de probabilidad para cada término lineal y cuadrático, así como la interacción de la variable harina de haba y harina de linaza. Estos valores indican que ningún término fue significativo, además el valor de  $r^2=39.991$  fue muy bajo, indicando la falta de ajuste del modelo.

**Tabla 27: Coeficientes de regresión para respuesta textura de los panes de molde.**

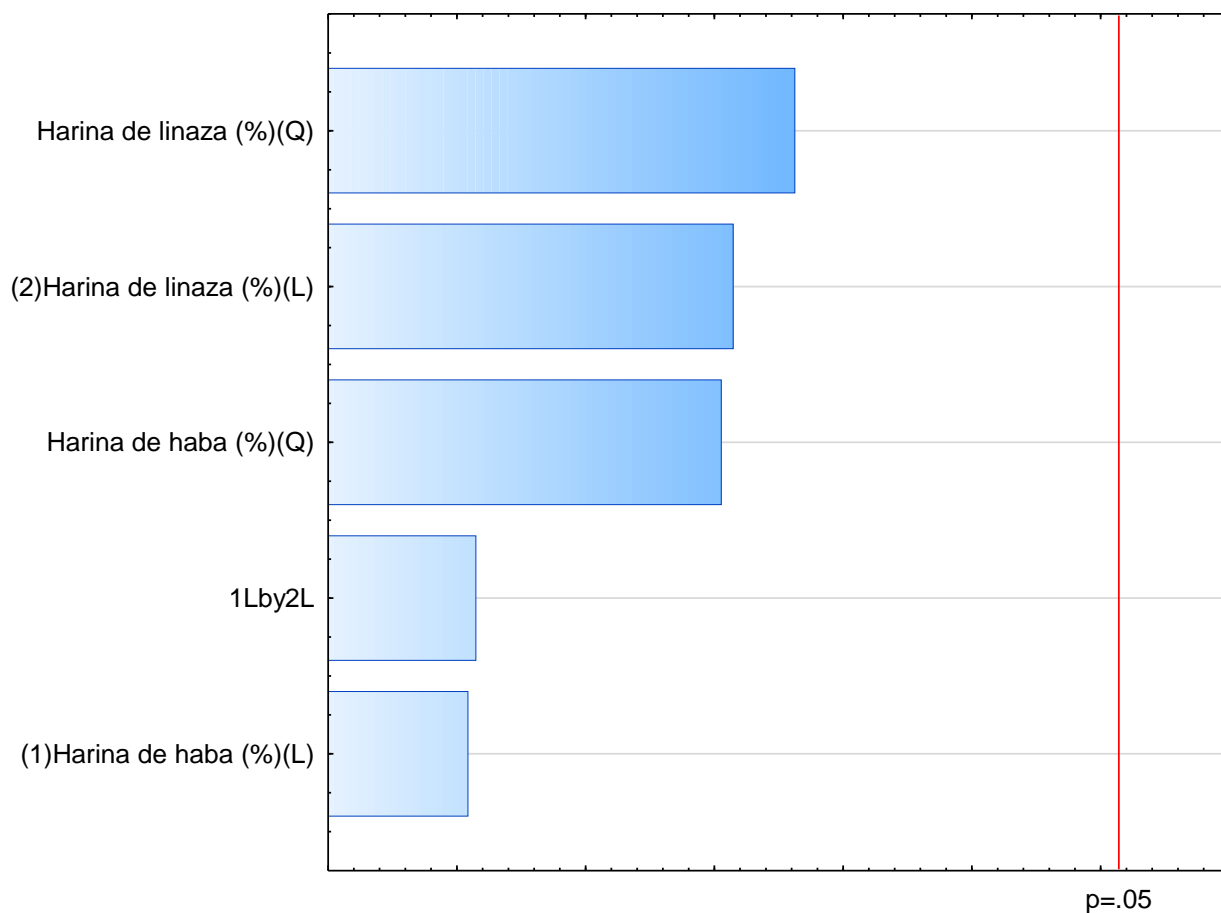
	<b>Coeficientes de regresión</b>	<b>Error estándar</b>	<b>t(5)</b>	<b>p-valor*</b>
<b>Media</b>	2.27	0.16	14.54	<0.0001
<b>x<sub>1</sub> (L)</b>	-0.01	0.19	-0.04	0.9675
<b>x<sub>1</sub> (Q)</b>	0.23	0.23	1.03	0.3515
<b>x<sub>2</sub> (L)</b>	-0.21	0.19	-1.07	0.3322
<b>x<sub>2</sub> (Q)</b>	0.29	0.23	1.31	0.2463
<b>x<sub>1</sub> X x<sub>2</sub></b>	0.02	0.27	0.07	0.9439

x<sub>1</sub>=Harina de haba, x<sub>2</sub>=Harina de linaza, L=término lineal, Q=término cuadrático.

\* Valores estadísticamente significativos al 5% de significancia (p<0.05).

Por tanto no fue posible establecer una ecuación predictiva de la variable respuesta en estudio. Concluyendo en que la adiciones de concentraciones de harina de haba y harina de linaza en los porcentajes estudiados no tiene incidencia en la respuesta textura.





**Ilustración 20. Diagrama de Pareto de efectos significativos para la respuesta de textura**

#### 4.6.4. Sabor del pan de molde.

La tabla 22 muestra las puntuaciones para el parámetro sensorial de sabor. El rango de sabor varía de 2.43 a 2.91. Las formulaciones que presentaron mayor aceptabilidad fueron la formulación 3 (1.2% de harina de haba y 6.8% de harina de linaza), 4(6.8% de harina de haba y 6.8% de harina de linaza) y 8(4% de harina de haba y 8% de harina de linaza).

Al determinar la tabla 28, se pudo verificar que los términos lineal y cuadrático de la harina de linaza fueron significativos en el estudio de la respuesta sabor de los panes de molde al trabajar con un nivel de significancia del 5%.

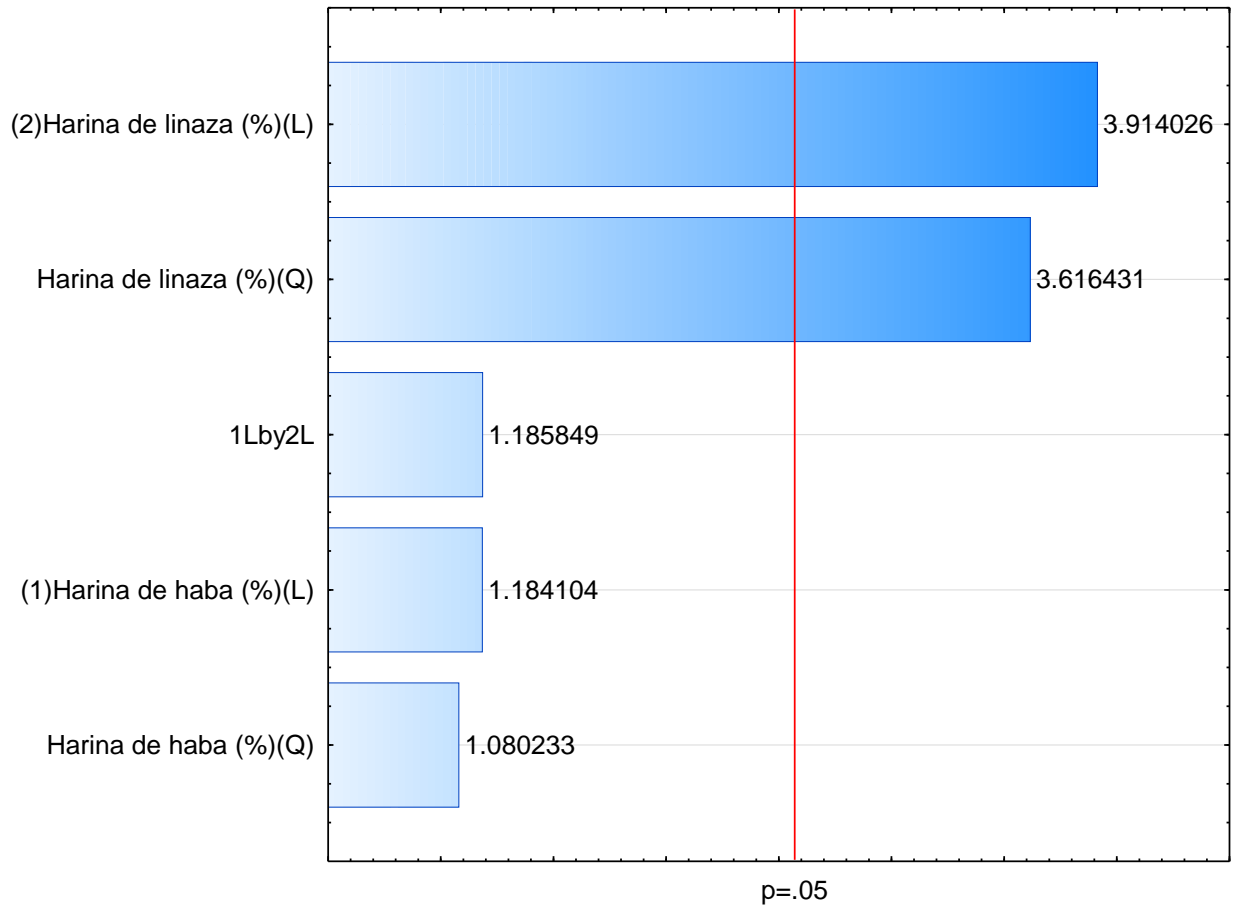
**Tabla 28. Coeficientes de regresión para respuesta sabor de los panes de molde.**

	<b>Coeficientes de regresión</b>	<b>Error estándar</b>	<b>t(5)</b>	<b>p-valor*</b>
<b>Media</b>	2.43	0.049	49.98	<0.0001
<b>x<sub>1</sub> (L)</b>	0.07	0.06	1.18	0.2896
<b>x<sub>1</sub> (Q)</b>	0.08	0.07	1.08	0.3294
<b>x<sub>2</sub> (L)</b>	0.23	0.06	3.91	0.0112
<b>x<sub>2</sub> (Q)</b>	0.26	0.07	3.62	0.0153
<b>x<sub>1</sub> x x<sub>2</sub></b>	0.10	0.08	1.19	0.2889

x<sub>1</sub>=Harina de haba, x<sub>2</sub>=Harina de linaza, L=término lineal, Q=término cuadrático.

\* Valores estadísticamente significativos al 5% de significancia (p<0.05).

El coeficiente de determinación para el modelo completo fue de 86.190%. Al excluir los términos que no fueron significativos el nuevo r<sup>2</sup> presento un valor de 75.21%, lo que indica un buen ajuste del modelo.



**Ilustración 21: Diagrama de pareto de efectos significativos para la respuesta sabor sensorial**

La tabla 29 muestra el análisis de varianza para la respuesta sabor del pan de molde, aquí se pudo verificar que el valor del  $F_{\text{calculado}}$  es mayor al  $F_{\text{tabulado}}$ .

**Tabla 29: Análisis de varianza para la respuesta sabor del pan de molde**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculado	F tabulado (2, 8;0.05)
<b>Regresión</b>	0.19	2	0.095		
<b>Residuos</b>	0.06	8	0.0075	12.67	4.46
<b>Total</b>	0.25	10	0.025		

Se estableció la ecuación de modelo ajustado presentado a continuación:

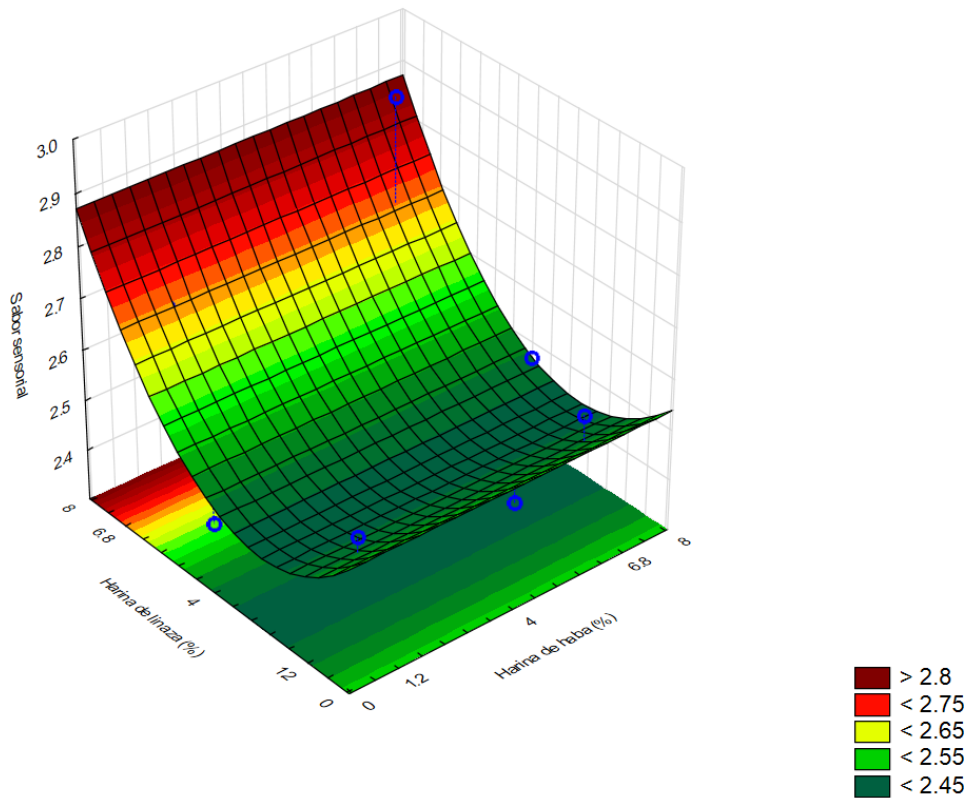
$$\text{Sabor} = y = 2.43 + 0.23x_2 + 0.26x_2^2 \dots(4)$$

Donde:

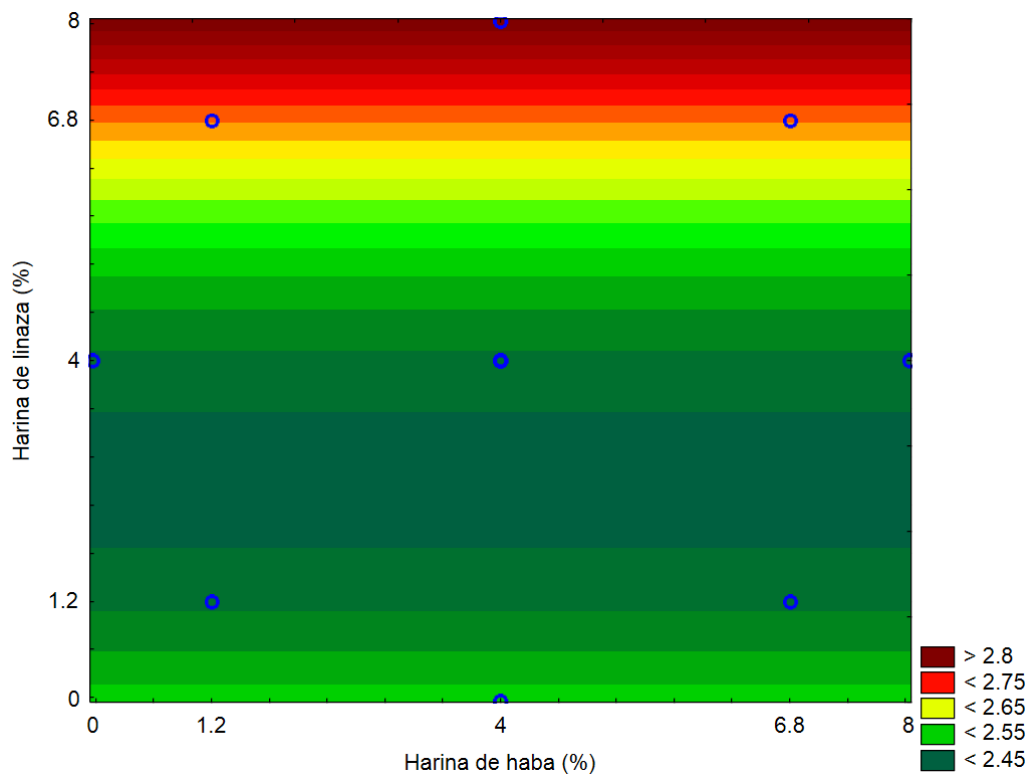
$x_2$ =Harina de linaza

Al establecer la superficie de respuesta y la gráfica de contorno para la variable respuesta sabor sensorial. Se observa que en la figura 22 y 23 al adicionar concentraciones de harina de linaza de 6.8 a 8% se obtendrán valores mayores a 2.8 para la variable respuesta en estudio. De los gráficos también se puede concluir que la harina de haba no tiene influencia estadísticamente significativa en la variable respuesta de sabor, esta característica también fue reportada por Rocha (2011) en su investigación; quien señala que el pan con porcentaje de sustitución hasta el 25% de harina haba no posee diferencias en su sabor con respecto al pan de trigo; siendo imperceptible a los órganos sensoriales.

Costa (2014), reporto también el efecto positivo de sustituir la harina de trigo por harina de linaza a niveles, en su caso de 10 y 15%; obteniendo en promedio 8.75 en un escala de 9 puntos.



**Ilustración 22. Superficies de respuesta para el sabor de los panes de molde en función de: Contenido de harina de haba (%) y Harina de linaza (mg/Kg).**



**Ilustración 23. Gráfico de contorno para el sabor de los panes de molde en función de Contenido de harina de haba (%) y harina de linaza (%).**

#### 4.6.5. Intención de compra.

La intención de compra presento rangos entre 3.13 y 3.56, tal y como se muestra en la tabla 22.

Las formulaciones 3 (1.2% de harina de haba y 6.8% de harina de linaza), 4 (6.8% de harina de haba y 6.8% de harina de linaza) y 8(4% de harina de haba y 8% de harina de linaza) fueron las que tienen la mayor intención de compra por parte de los panelistas. Presentando valores mayores al obtenido para el pan patrón.

La tabla 30 muestra los coeficientes de regresión, los valores de probabilidad de significancia y los valores de t-student para cada término del modelo completo para la variable intención de compra. De la misma se concluye que el término lineal de harina de linaza es el único estadísticamente significativo (figura 24).

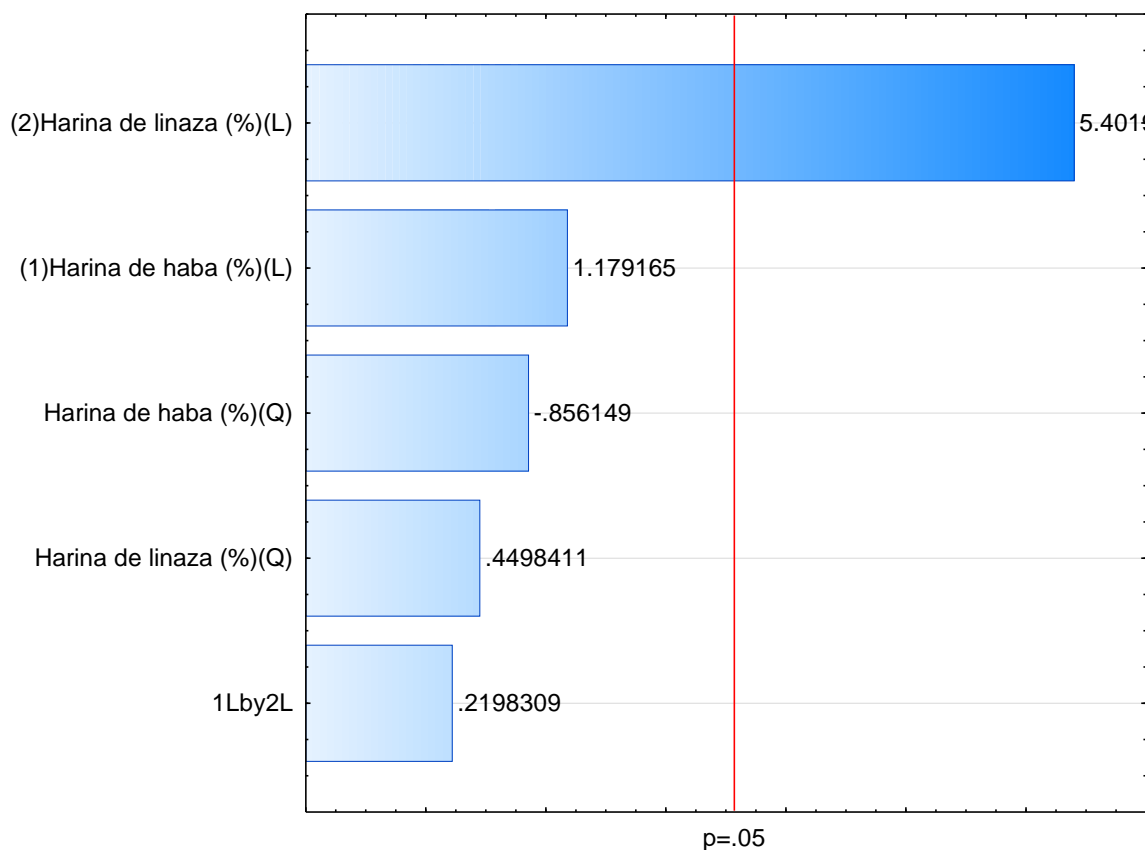
**Tabla 30 Coeficientes de regresión para respuesta intención de compra de los panes de molde.**

	<b>Coeficientes de regresión</b>	<b>Error estándar</b>	<b>t(5)</b>	<b>p-valor*</b>
<b>Media</b>	3.32	0.04	84.19	<0.0001
<b>x<sub>1</sub> (L)</b>	0.06	0.05	1.18	0.2914
<b>x<sub>1</sub> (Q)</b>	-0.05	0.06	-0.86	0.4310
<b>x<sub>2</sub> (L)</b>	0.26	0.05	5.40	0.0029
<b>x<sub>2</sub> (Q)</b>	0.03	0.06	0.45	0.6717
<b>x<sub>1</sub> x x<sub>2</sub></b>	0.02	0.07	0.22	0.8347

x<sub>1</sub>=Harina de haba, x<sub>2</sub>=Harina de linaza, L=término lineal, Q=término cuadrático.

\* Valores estadísticamente significativos al 5% de significancia (p<0.05).

El coeficiente de determinación para el modelo completo fue de 86.447%. Al excluir los términos que no fueron significativos el nuevo  $r^2$  presento un valor de 79.099%, lo que indica un buen ajuste del modelo.



**Ilustración 24: Diagrama de Pareto de efectos significativos para la respuesta intención de compra**

**Tabla 31: Análisis de varianza para la respuesta intención de compra del pan de molde**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculado	F tabulado (1, 9;0.05)
Regresión	0.13	1	0.13		

<b>Residuos</b>	0.04	9	0.004	32.5	5.12
<b>Total</b>	0.17	10	0.017		

---

La tabla 31 muestra el análisis de varianza (ANOVA) para la respuesta Intención de compra. Ahí se puede observar que el valor de F calculado es mayor al F tabulado; rechazándose la hipótesis nula (concluyéndose sobre la existencia de regresión lineal). Por lo tanto teniendo en cuenta que el F calculado es mayor al tabulado y que el valor de  $r^2$  es adecuado; podemos concluir y construir un modelo ajustado codificado (ecuación 5).

$$\text{Intención de compra} = y = 3.32 + 0.26x_2 \dots (5)$$

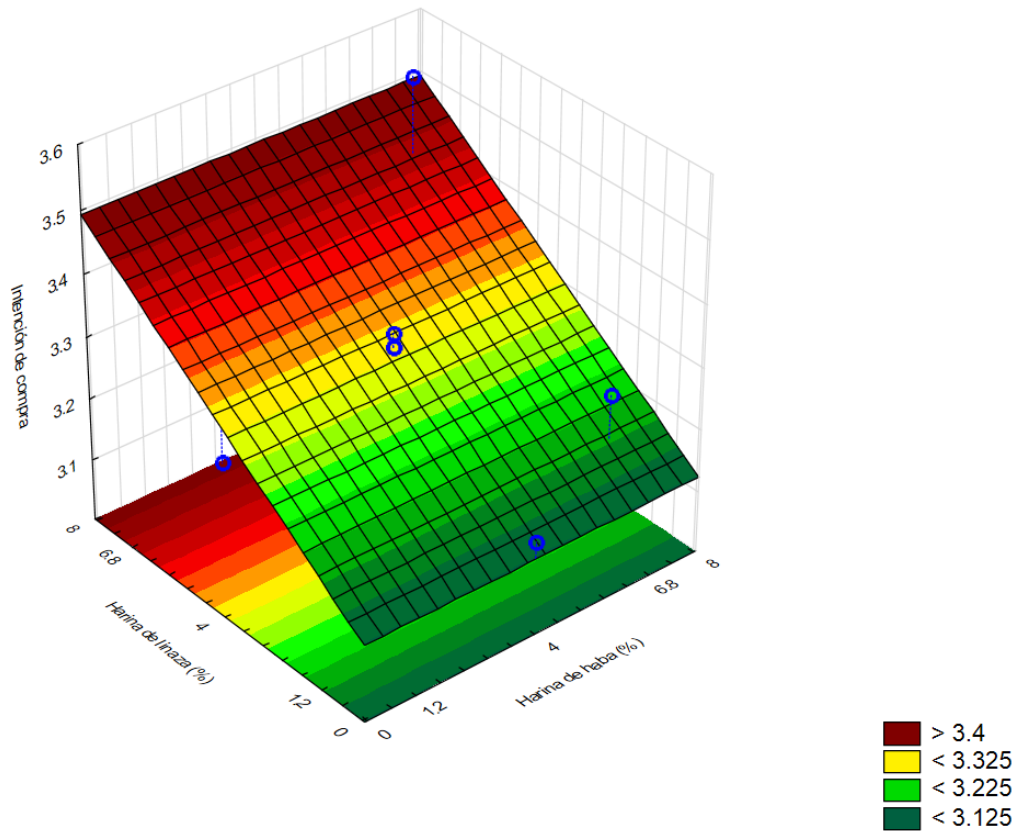
Donde:

$x_2$  = Harina de linaza

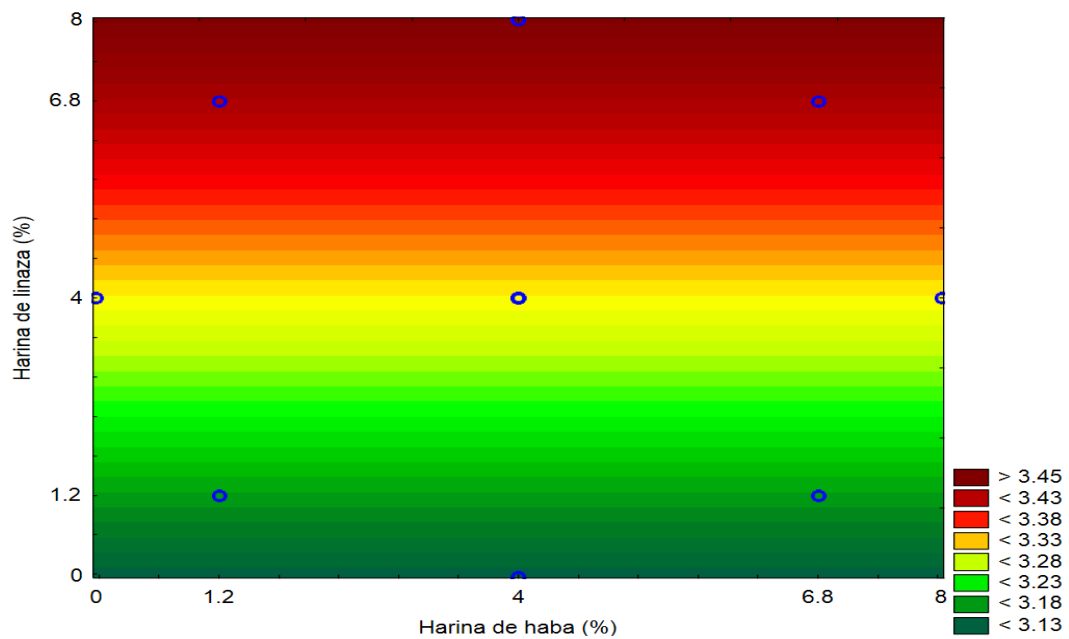
La superficie de respuesta y gráfico de contorno (figuras 25 y 26) nos indican que la harina de haba (0 a 8%) no tuvo influencia estadísticamente significativa en la respuesta en estudio; mientras que al adicionar porcentajes de harina de linaza de 6.8-8% se obtienen intenciones de compra (mayores a 3.45) en los panes de molde. Camelo (2007) indica que los consumidores tuvieron mayor interés en panes con 4 y 7% de harina de linaza incluida en la composición del pan de molde.

Por otro lado Camargo (2008) en su investigación reportó que los panelistas expresaron preferir el pan de molde con sustitución de harina de linaza al 9%. Así mismo reporta que al adicionar mayores cantidades de harina de linaza (3 a 9%) mayor es el valor de intención de compra. Por tanto los investigadores reportan la misma tendencia que la investigación realizada.





**Ilustración 25. Superficies de respuesta para la intención de compra de los panes de molde en función de: Contenido de harina de haba (%) y Harina de linaza (mg/Kg).**



**Ilustración 26. Gráfico de contorno para la intención de compra de los panes de molde en función de: Contenido de harina de haba (%) y harina de linaza (%).**

#### 4.7. Textura instrumental.

La tabla 32 muestra los resultados obtenidos para cada parámetro de la textura instrumental de los panes de molde.

**Tabla 32. Respuestas obtenidas de la textura instrumental de los panes de molde**

Ensayos	Harina de haba	Harina de linaza	Altura (mm)	Dureza (N)	Elasticidad (mm)	Masticabilidad (mJ)
1	-1.00	-1.00	100	9.64	8.82	41.89
2	1.00	-1.00	95	9.79	8.54	42.27
3	-1.00	1.00	98	7.2	8.48	25.12
4	1.00	1.00	102	9.84	8.35	34.09
5	-1.41	0	100	7.2	8.43	29.33
6	1.41	0	96	3.09	8.35	16.19
7	0	-1.41	100	3.99	8.4	19.45
8	0	1.41	102	4.18	8.39	19.99
9	0	0	101	4.75	8.6	24.87
10	0	0	100	4.78	8.59	24.75
11	0	0	101	4.78	8.5	24.85
<b>Patrón</b>	-	-	100	4.97	8.54	23.62

##### 4.7.1. Altura.

La tabla 32 muestra para la altura valores en un rango de 95-102mm. Presentando a las formulaciones 9, 10 y 11 con valores muy próximos, lo que indica la buena repetitividad del proceso.

El porcentaje de significancia considerado en el análisis estadístico fue el 5%, es decir que los términos que tengan una probabilidad menor a 0.05 serán significativos. Por lo tanto se concluye que los términos significativos (ver tabla

33 y figura 27) en el estudio de la variable altura; fueron el término cuadrático de harina de haba, el término lineal de harina de linaza y la interacción de harina de haba y harina de linaza.

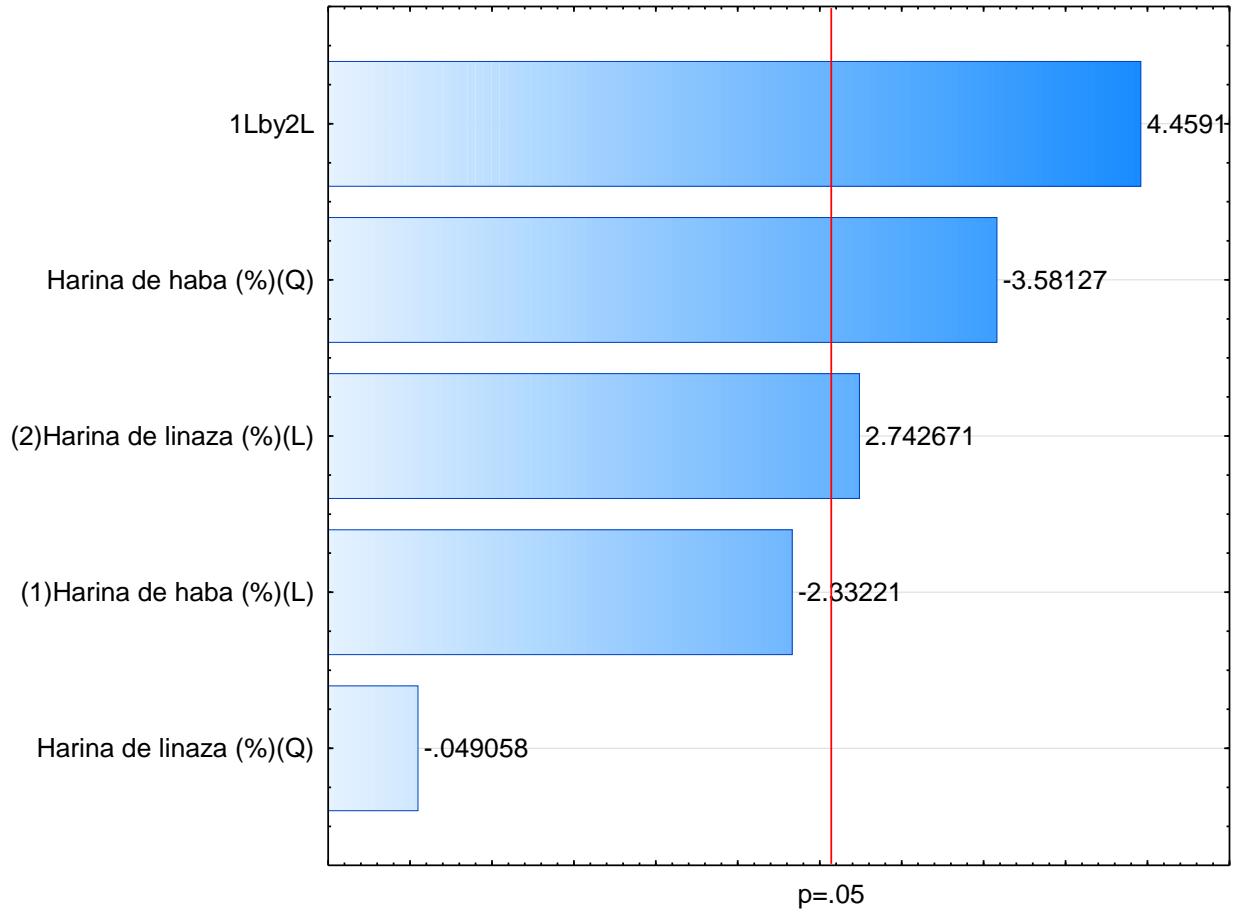
**Tabla 33. Coeficientes de regresión para respuesta altura de los panes de molde.**

	<b>Coeficientes de regresión</b>	<b>Error estándar</b>	<b>t(6)</b>	<b>p-valor*</b>
<b>Media</b>	100.67	0.58	172.78	<0.0001
<b>x<sub>1</sub> (L)</b>	-1.66	0.71	-2.33	0.0670
<b>x<sub>1</sub> (Q)</b>	-3.04	0.85	-3.58	0.0159
<b>x<sub>2</sub> (L)</b>	1.96	0.71	2.74	0.0407
<b>x<sub>2</sub> (Q)</b>	-0.04	0.85	-0.05	0.9628
<b>x<sub>1</sub> x x<sub>2</sub></b>	4.50	1.01	4.46	0.0066

x<sub>1</sub>=Harina de haba, x<sub>2</sub>=Harina de linaza, L=término lineal, Q=término cuadrático.

\* Valores estadísticamente significativos al 5% de significancia (p<0.05).

El valor de coeficiente de determinación o coeficiente de explicación ( $r^2$ ); para el delineamiento experimental completo fue de 90.343%. Este valor indica el buen ajuste del modelo. Así mismo al excluir en el software STATISTICA v 13.1 los términos que no fueron significativos (p>0.05); el nuevo valor de coeficiente de determinación para el delineamiento experimental es de 90.338%. Lo que sigue indicando un buen ajuste del modelo.



**Ilustración 27: Diagrama de Pareto de efectos significativos para la respuesta altura.**

**Tabla 34. Análisis de varianza para la respuesta altura del pan de molde**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculado	F tabulado (4, 6;0.05)
<b>Regresión</b>	47.64	4	11.91		
<b>Residuos</b>	5.09	6	0.85	14.01	4.53
<b>Total</b>	52.73	10	5.273		

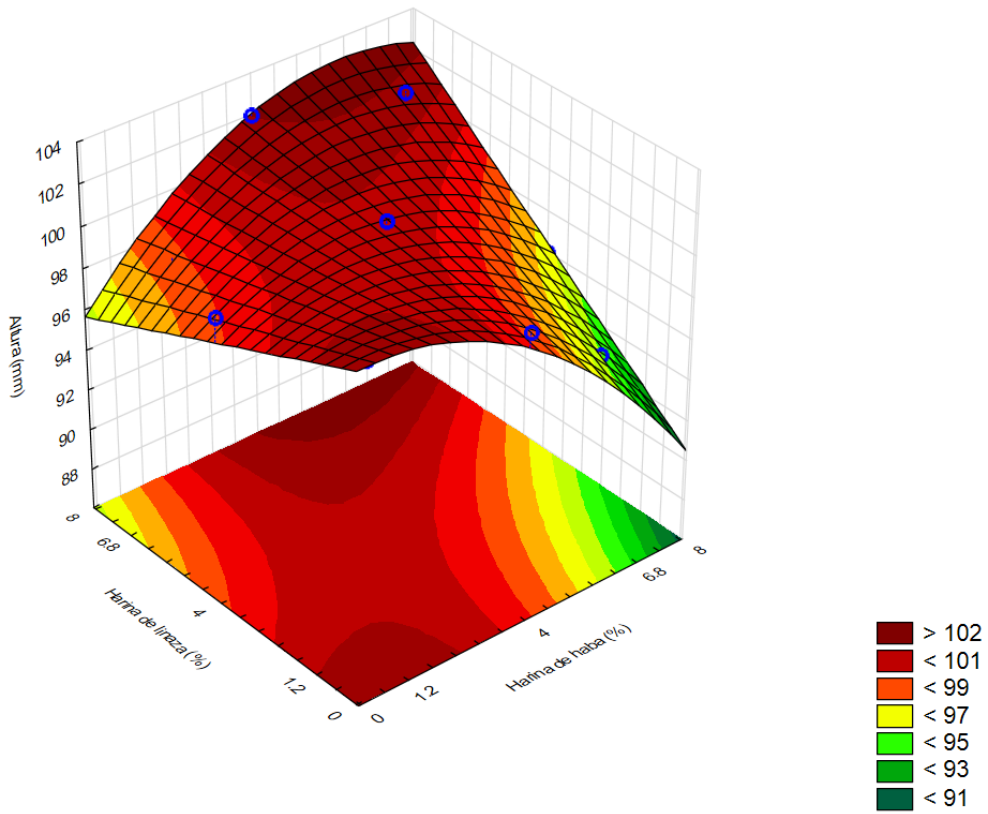
La tabla 34 muestra el análisis de varianza (ANOVA) para la respuesta altura del pan de molde. Ahí se puede observar que el valor de F calculado es mayor al F tabulado; rechazándose la hipótesis nula (concluyéndose sobre la existencia de regresión lineal). Por lo tanto teniendo en cuenta que el F calculado es mayor al tabulado y que el valor de  $r^2$  es adecuado; podemos concluir y construir un modelo ajustado codificado (**ecuación 6**).

$$\text{Altura} = y = 100.67 - 1.66x_1 - 3.04x_1^2 + 1.96x_2 + 4.50x_1 * x_2 \dots (6)$$

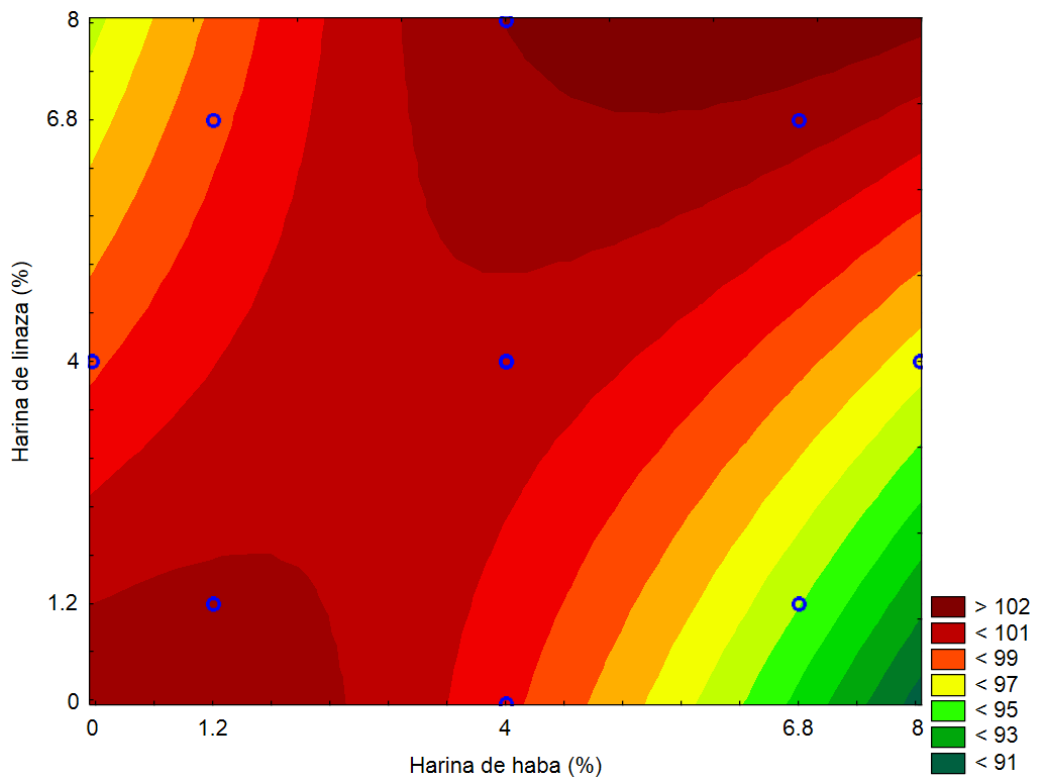
Donde:

$x_1$ =Harina de haba

$x_2$ =Harina de linaza



**Ilustración 28** Superficies de respuesta para la altura de los panes de molde en función de Contenido de harina de haba (%) y Harina de linaza (mg/Kg).



**Figura 29.** Gráfico de contorno para la altura de los panes de molde en función de Contenido de harina de haba (%) y harina de linaza (%).

La superficie de respuesta y gráfico de contorno (figuras 28 y 29) nos indican que al adicionar porcentajes de harina de linaza (0-1.2%) y la harina de haba (6.8 a 8%) se obtienen alturas (91-95mm) en los panes de molde.

#### 4.7.2. Dureza

La tabla 32 muestra para la dureza valores en un rango de 3.09-9.84 N. Presentando a las formulaciones 9, 10 y 11 con valores muy próximos, lo que indica la buena repetitividad del proceso.

**Tabla 35. Coeficientes de regresión para respuesta dureza de los panes de molde.**

	<b>Coeficientes de regresión</b>	<b>Error estándar</b>	<b>t</b>	<b>p-valor*</b>
<b>Media</b>	4.77	1.84	2.59	0.0485
<b>x<sub>1</sub> (L)</b>	-0.76	2.25	-0.34	0.7508
<b>x<sub>1</sub> (Q)</b>	2.63	2.68	0.98	0.3720
<b>x<sub>2</sub> (L)</b>	-0.53	2.25	-0.24	0.8231
<b>x<sub>2</sub> (Q)</b>	1.57	2.68	0.58	0.5842
<b>x<sub>1</sub> x x<sub>2</sub></b>	1.25	3.18	0.39	0.7119

x<sub>1</sub>=Harina de haba, x<sub>2</sub>=Harina de linaza, L=término lineal, Q=término cuadrático.

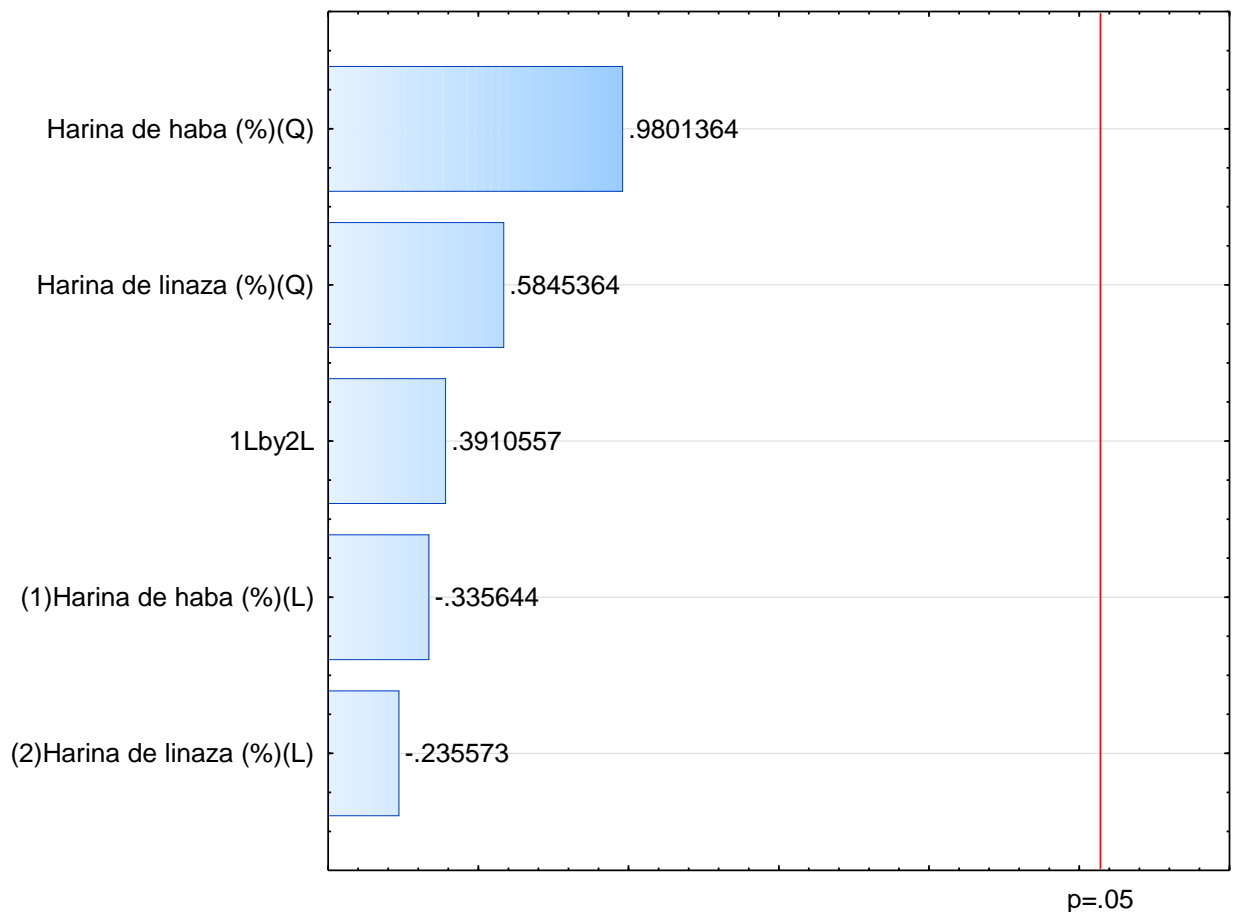
\* Valores estadísticamente significativos al 5% de significancia (p<0.05).

A través del procesamiento de los resultados del planeamiento experimental fue posible determinar los efectos de las variables independientes sobre la respuesta dureza, presentados en la tabla 35. Analizando estos efectos se observó que ningún término tuvo efecto significativo (p<0.05) (ver figura 30);

por lo que no se considera la realización del modelo matemático y la superficie de respuesta.

Como no fue posible establecer un modelo matemático de tendencia para la respuesta dureza, en función de las variables en estudio, la selección de cualquier nivel de harina de haba y harina de linaza, dentro de los rangos estudiados, no conducirá a una diferencia en el producto final.

El coeficiente de determinación ( $r^2=21.603\%$ ) presento un valor bajo.



**Figura 30: Diagrama de Pareto de efectos significativos para la respuesta dureza.**



### 4.7.3. Elasticidad

La tabla 32 muestra para la elasticidad expresado en valores que van de 8.35 a 8.82 mm. Presentando a las formulaciones 9, 10 y 11 con valores muy próximos, lo que indica la buena repetitividad del proceso.

**Tabla 36. Coeficientes de regresión para respuesta elasticidad de los panes de molde.**

	<b>Coeficientes de regresión</b>	<b>Error estándar</b>	<b>t</b>	<b>p-valor*</b>
<b>Media</b>	8.56	0.08	105.73	<0.0001
<b>x<sub>1</sub> (L)</b>	-0.13	0.09	-1.32	0.2445
<b>x<sub>1</sub> (Q)</b>	-0.09	0.12	-0.81	0.4539
<b>x<sub>2</sub> (L)</b>	-0.14	0.09	-1.37	0.2286
<b>x<sub>2</sub> (Q)</b>	-0.09	0.12	-0.77	0.4764
<b>x<sub>1</sub> x x<sub>2</sub></b>	0.08	0.14	0.53	0.6158

x<sub>1</sub>=Harina de haba, x<sub>2</sub>=Harina de linaza, L=término lineal, Q=término cuadrático.

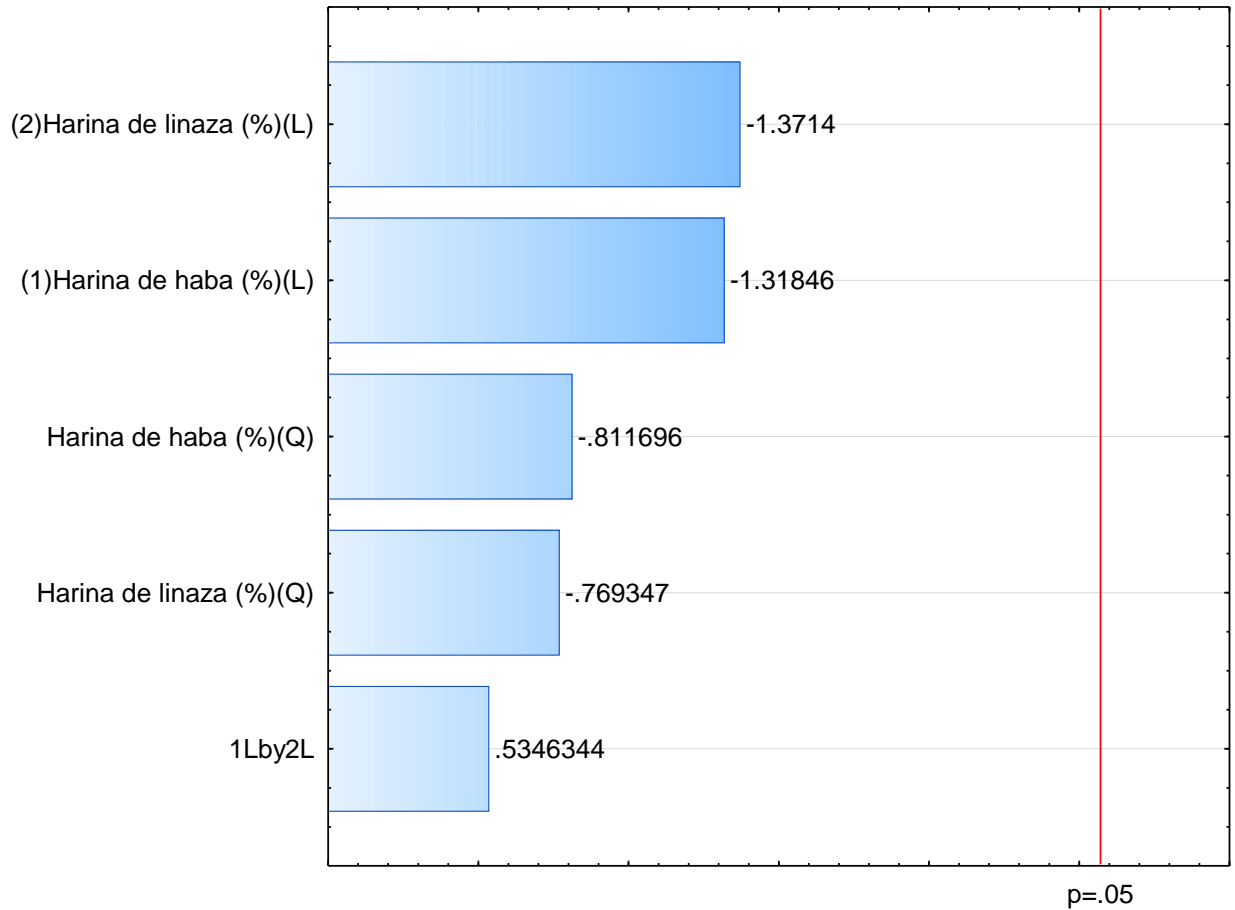
\* Valores estadísticamente significativos al 5% de significancia (p<0.05).

A través del procesamiento de los resultados del planeamiento experimental fue posible determinar los efectos de las variables independientes sobre la respuesta elasticidad, presentados en la tabla 36. Analizando estos efectos se observó que ningún término tuvo efecto significativo (p<0.05) (ver figura 31); por lo que no se considera la realización del modelo matemático y la superficie de respuesta.

Como no fue posible establecer un modelo matemático de tendencia para la respuesta elasticidad, en función de las variables en estudio, la selección de

cualquier nivel de harina de haba y harina de linaza, dentro de los rangos estudiados, no conducirá a una diferencia en el producto final.

El coeficiente de determinación ( $r^2=49.351\%$ ) presento un valor bajo.



**Figura 31. Diagrama de Pareto de efectos significativos para la respuesta elasticidad.**

#### 4.7.4. Masticabilidad.

La tabla 32 muestra para la elasticidad expresado en valores que van de 16.19 a 41.89 mm.

**Tabla 37. Coeficientes de regresión para respuesta masticabilidad de los panes de molde.**

	<b>Coeficientes de regresión</b>	<b>Error estándar</b>	<b>t</b>	<b>p-valor*</b>
<b>Media</b>	24.82	6.36	3.90	0.0114
<b>x<sub>1</sub> (L)</b>	-2.31	7.79	-0.29	0.7789
<b>x<sub>1</sub> (Q)</b>	5.24	9.27	0.57	0.5965
<b>x<sub>2</sub> (L)</b>	-6.05	7.79	-0.78	0.4727
<b>x<sub>2</sub> (Q)</b>	2.19	9.27	0.24	0.8219
<b>x<sub>1</sub> x x<sub>2</sub></b>	4.29	11.02	0.39	0.7127

x<sub>1</sub>=Harina de haba, x<sub>2</sub>=Harina de linaza, L=término lineal, Q=término cuadrático.

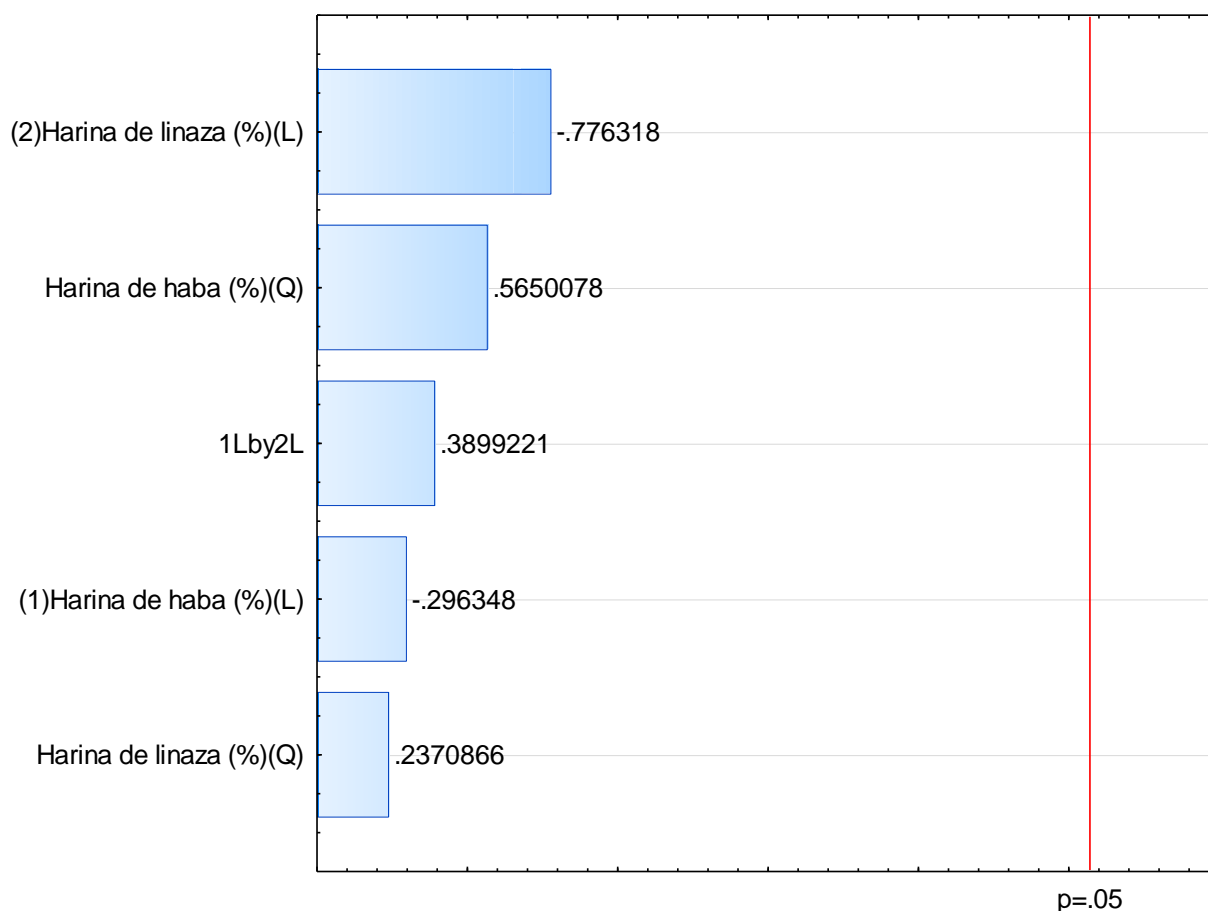
\* Valores estadísticamente significativos al 5% de significancia (p<0.05).

A través del procesamiento de los resultados del planeamiento experimental fue posible determinar los efectos de las variables independientes sobre la respuesta elasticidad, presentados en la tabla 37. Analizando estos efectos se observó que ningún término tuvo efecto significativo (p<0.05) (ver figura 32); por lo que no se considera la realización del modelo matemático y la superficie de respuesta.

Como no fue posible establecer un modelo matemático de tendencia para la respuesta masticabilidad, en función de las variables en estudio, la selección

de cualquier nivel de harina de haba y harina de linaza, dentro de los rangos estudiados, no conducirá a una diferencia en el producto final.

El coeficiente de determinación ( $r^2=18.927\%$ ) presento un valor bajo.






**Figura 32: Diagrama de Pareto de efectos significativos para la respuesta masticabilidad**

#### 4.8. Determinación de influencias significativas de las variables independientes en las respuestas estudiadas.

En la tabla 38 se muestra la incidencia que tuvo cada término e interacción de las variables independientes en las respuestas o variables dependientes estudiadas. Por lo tanto se ha recopilado toda la información mostrada anteriormente

**Tabla 38. Influencias estadísticamente significativas de las variables independientes sobre las respuestas.**

VARIABLES INDEPENDIENTES E INTERACCIONES	INFLUENCIAS SIGNIFICATIVAS																
	Términos/Variables dependientes	Volumen específico	Luminosidad de la	Cromacidad de la	Ángulo de tonalidad de la	Luminosidad de la	Cromacidad de la	Ángulo de tonalidad de la miga	Altura	Dureza	Elasticidad	Masticabilidad	Color	Aroma	Textura	Sabor	Intención de compra
<b>Harina de Haba</b> 	Lineal	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-
	Cuadrático	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Harina de linaza</b> 	Lineal	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	+	+
	Cuadrático	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<b>Interacción de Harina de haba y harina de linaza</b> 	Harina de kiwicha con quinua	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
									+								

+ = Tiene influencia significativa.

- = No tiene influencia significativa.

#### 4.9. Determinación de la mejor formulación.

La elección de la mejor formulación del Diseño Compuesto Central Rotacional (DCCR) 2<sup>2</sup> aplicado, se realizó teniendo en cuenta que el producto tenga un volumen aceptable, además de su perfil de textura y que en el análisis sensorial la formulación goce de la mayor aceptación e intención de compra.

Luego de tal análisis se determinó que las mejores formulaciones fueron la 3 (1.2% de Harina de haba y 6.8% de harina de linaza) y la 4(6.8% de Harina de haba y 4% de harina de linaza).

#### 4.9.1. Evaluación de las mejores formulaciones.

##### 4.9.1.1. Composición porcentual.

La tabla 39 muestra el análisis proximal para las formulaciones 3 y 4 del diseño experimental factorial DCCR 2<sup>2</sup>.

**Tabla 39: Composición porcentual (%) de las mejores formulaciones.**

<b>Componentes</b>	<b>Patrón</b>	<b>F 3 *</b>	<b>F 4*</b>
<b>%</b>			
Humedad	20.72	23.12	21.85
Grasa	9.06	8.84	10.24
Cenizas	2.69	2.65	3.00
Proteína	10.84	12.58	13.03
Carbohidratos	56.69	52.81	51.88

\*F3 (1.2% de Harina de haba y 6.8% de harina de linaza) y F 4(6.8% de Harina de haba y 4% de harina de linaza).

Los resultados de la investigación indican porcentajes de grasa de 8.84 y 10.24% para las formulaciones 3 y 4, siendo mayores a los reportados por Gnoatto (2011) quien al adicionar harina de linaza de 4 a 12% obtuvo porcentaje de 1.15 y 3.33% en contenido de grasa.

Se observa que fueron mayores los contenidos de proteína en las formulaciones 3 y 4 con respecto al pan patrón. Camelo (2007) reporta que al elaborar un pan sustituciones parciales de 4,7 y 10% de harina de linaza obtuvo valores de 8.10, 9.43 y 9.46% de proteínas respectivamente; siendo menores al obtenido en la presente investigación.

#### 4.9.1.2. Fibra.

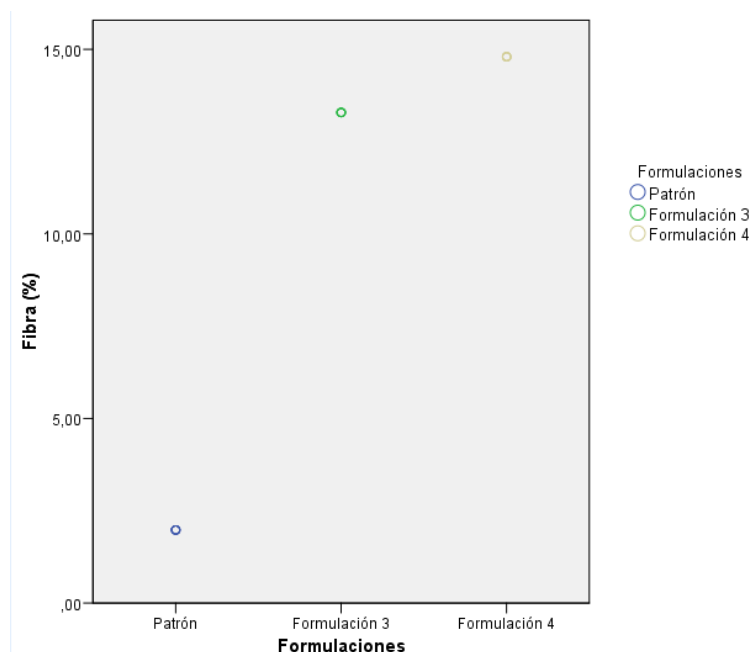
Se determinó el contenido de fibra obteniendo los siguientes

**Tabla 40. Contenido de fibra (%)**

Materia Prima	Fibra (%)
F3	13.29
F4	14.80
Patrón	1.98

\*F3 (1.2% de Harina de haba y 6.8% de harina de linaza) y F 4(6.8% de Harina de haba y 6.8% de harina de linaza).

La tabla 40 muestra la gran diferencia que se tuvo en los porcentajes obtenidos de fibra para las mejores formulaciones con respecto al pan patrón. Es claro que esta gran diferencia respecto al patrón es producido por el porcentaje de fibra contenida en la harina de linaza, tal y como se muestra en la tabla 8. Gnoatto (2011), reporta también el aumento significativo ( $p < 0.05$ ) del contenido de fibra en los panes al adicionarse mayores porcentajes (De 8 a 12%) de harina de linaza en la composición del pan.



**Figura 33. Contenido de fibra en las mejores formulaciones de pan de molde con sustitución parcial de harina de haba (%) y harina de linaza(%)**



#### **4.4.2. Determinación de región óptima.**

Debido a la cantidad de variables respuestas que se tienen; pero básicamente a los resultados obtenidos no ha sido posible establecer una región adecuada para establecer rangos en las harinas de alcachofa y soya con el fin de obtener una pan de molde con condiciones óptimas. Esto como consecuencia a la no concordancia de las regiones obtenidas (provenientes de las superficies de respuesta) para cada variable respuesta en estudio.

## V. CONCLUSIONES.

- Las variables independientes tuvieron incidencia en las respuestas en estudio. En el caso de la harina de linaza tuvo influencia estadísticamente significativa en las variables dependientes de ángulo de tonalidad de la miga, parámetro de altura del perfil de textura, los atributos sensoriales color, aroma y sabor; así como en la intención de compra del pan de molde. La harina de haba tuvo influencia significativa en el ángulo de tonalidad de la miga, parámetro de altura y en el atributo sensorial de color.
- La composición proximal en la materia prima, da como resultado, para la Harina de haba 6.93 % humedad, proteína 24.71%, grasa 3.63%, cenizas 2.87%; para la harina de trigo 13.00% de humedad, proteína 12.01%, grasa 1.68%, cenizas 0.56; y para la harina de linaza 5.92% Humedad, proteína 22.96%, grasa 32.32% y cenizas 2.90%. La harina de haba y la harina de linaza presentaron valores de fibra de 1.95 y 37.18%, respectivamente.
- La evaluación sensorial realizada, nos indica que el producto goza de aceptabilidad del público en especial las formulaciones 3 (1.2% de Harina de haba y 6.9% de harina de linaza) y 4(6.8% de Harina de haba y 6.8% de harina de linaza).
- Se pudo verificar que en general, los panes de molde presentaron una buena intención de compra. Dentro de las 11 formulaciones evaluadas, las muestras 3 (1.2% de Harina de haba y 6.9% de harina de linaza) y 4(6.8% de Harina de haba y 6.8% de harina de linaza).

- No es posible establecer una región óptima donde se obtengan las mejores condiciones para todas las respuestas que se establecieron en esta investigación. Esto debido a la no concordancia en las regiones de las superficies de respuesta para cada variable dependiente; y también posiblemente a la elección de los límites para cada variable independiente en el diseño experimental antes de ejecutar el DCCR 2<sup>2</sup>.
- El cómputo químico de aminoácidos esenciales para las formulaciones del Diseño Compuesto Central Rotacional (DCCR 2<sup>2</sup>) fue elevado para el total de aminoácidos, a excepción de algunas formulaciones que en el aminoácido Lisina no superaron el 70% mínimo recomendado por la FAO/OMS.
- La composición porcentual de las mejores formulaciones del diseño factorial 2<sup>2</sup> presento valores de 23.12% de humedad, 8.84% de grasa, 2.65% de cenizas, 12.58% de proteína y 13.29% de fibra para la formulación 3 y 21.85% de humedad, 10.24% de grasa, 3.00% de cenizas, 13.03% de proteína y 14.80% de fibra para la formulación 4.

## **VI. RECOMENDACIONES.**

-Determinar los parámetros reológicos de las harinas utilizadas como materias primas en el pan de molde.

-Ajustar los niveles de las variables independientes en el diseño experimental, para conseguir la optimización del producto en futuras investigaciones.

-Realizar el análisis proximal a todas las formulaciones del diseño experimental a aplicarse con el fin de obtener los valores óptimos o rangos óptimos de las variables en estudio.

- Se recomienda utilizar microscopia electrónica de barrido para investigar la integridad de las migas de pan de los once tratamientos y compararlos con el patrón (100% harina de trigo).

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Ampuero, D. (2011). Determinación de la capacidad de *Lactobacillus casei* y *Lactobacillus acidophilus* para liberar lignanos a partir de harina de linaza. Universidad Austral de Chile. Valdivia-Chile.
- Arévalo, C. (2007). "Mejoramiento de la calidad de las galletas de harina de trigo mediante la adición de harina de haba (*Vicia faba* L.) y de panela como edulcorante." Universidad Técnica del Norte. Ibarra – Ecuador.
- Borges, J. (2010). "Qualidade protéica de pão de sal contendo farinha de linhaça (*linum usitatissimum* L.)". Universidade Federal de Viçosa. Brazil.
- Camargo, N. (2008). "Características físicoquímicas, nutricionales y sensoriales de pan de molde con adición de granos de linaza (*Linum usitatissimum*)". Universidad de Sao Paulo. Brazil.
- Camelo, C. (2007). "Aplicação das Farinhas de Linhaça (*Linum usitatissimum* L.) e Maracujá (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) no Processamento de Pães com Propriedades Funcionais". Universidade Federal de Ceará. Fortaleza – Brazil.
- Cid, A. (2010). Evaluación e implementación de una metodología de extracción y cuantificación por HPLC de matairesinol y secoisolariciresinol para la caracterización de semillas de variedades de *Linum Usitatissimum* L. Universidad Austral de Chile. Valdivia-Chile.

-Conde, L. (2015). "Formulación y elaboración de galletas enriquecidas con Harina de Kiwicha (*Amaranthus caudatus*), harina de linaza (*Linum usitatissimum*) y alfalfa (*Medicago sativa*) aplicando superficie de respuesta". Universidad Nacional de san Cristóbal de huamanga. Ayacucho-Perú.

-Costa, O. (2014). "Elaboração e aceitabilidade pão enriquecido com farinha de linhaça e cenoura". Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-Brasil.

-Figuerola, F. (2008). La linaza como fuente de compuestos bioactivos para la elaboración de alimentos. Universidad Austral de Chile. Chile.

-Gnoatto, F. (2011). "Elaboração de pães com farinha mista de trigo, de linhaça e de casca de maracujá amarelo". Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Erechim-Brazil.

-Herrera, V. (2011). Influencia de las harinas de trigo, plátano y haba en la elaboración de galletas integrales. Tesis para optar por el título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Técnica del Norte. Ibarra – Ecuador.

-INDECOPI. Norma Técnica Peruana 205.27.(1986). Harina de trigo para consumo doméstico y uso industrial.

-Montes, R. (2014). "Determinación de las características nutricionales y organolépticas de galletas enriquecidas con harina trigo (*triticum aestivum* L.) y

harina de haba (*Vicia faba* L.)".Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica-Perú.

-Ortiz, A. (2009). "Caracterización Física, Nutricional y no nutricional de haba sometida a tratamiento térmico". Instituto Politécnico Nacional. México.

-Ostojich, 2010. Efecto de procesamientos caseros sobre algunos constituyentes funcionales de linaza (*Linum usitatissimum* L.). Universidad Simón Bolívar. Caracas-Venezuela.

-Rocha, M. (2011). "Utilización de Harina de Haba (*Vicia faba* L.) en la Elaboración de Pan". Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil – Ecuador

-Rodríguez, M & Lemma, A. (2005). Planeamiento de Experimentos y optimización de procesos. Campiñas-Brasil. Editorial Casa del Pan. pp. 10-15

-Vernaza, M. (2007). "Desenvolvimento de cereal matinal extrusado orgânico à base de farinha de milho e farelo de maracujá". Universidad Estatal de Campiñas. Campiñas-Brasil.

-WHO/FAO/UNU. (2007). Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition. Who Technical Report Series 935.

# **VIII.**

# **ANEXOS**



**ANEXO 1. Elaboración de los panes de molde desarrollando los 11 tratamientos con las diferentes formulaciones descritas en la metodología.**



**Figura 1. Preparación de la mezcla de harinas para formar la masa panaria para cada tratamiento, usando la amasadora de la Planta Piloto Agroindustrial**



**Figura 2. Formación de la masa panaria para dos tratamientos**



**Figura 3. Fermentado de la masa panaria en sus moldes respectivos**



**Figura 4. Panes de molde obtenidos para su evaluación**

## ANEXO 2. Evaluación del volumen específico

Los panes de molde obtenidos (02 panes para cada tratamiento), fueron sometidos a la evaluación del peso específico.



Figura 5. Evaluación del peso específico de los panes de molde utilizando la metodología de desplazamiento con semillas de alpiste.



Figura 6. Utilización de probeta graduada para verificar el volumen desplazado



### ANEXO 3. Evaluación de la textura instrumental

La textura instrumental se evaluó con el equipo TexturePro CT V1.4 Build 17, de Brookfield Engineering Labs, Inc. El tipo de test fue el Análisis del Perfil de Textura (APT); la sonda que se utilizó fue la TA4/1000; el objetivo de la penetración fue de 10.0mm y la velocidad del test de 0.5 mm/s.



Figura 7. Muestras de pan de molde, sometidos al texturómetro Brookfield

#### ANEXO 4. Evaluación del color instrumental

El color instrumental involucró utilizar el colorímetro Konica Minolta para medir parámetros de color L, a y b. esto se desarrolló tanto para la miga como para la corteza.



Figura 8. Medición del color de la corteza para pan de molde



Figura 9. Medición del color de la miga para pan de molde



## ANEXO 5. Evaluación de la Fibra Dietética Total (FDT)



Figura 10. Preparación de las muestras en los vasos FOSS



Figura 11. Uso de la pipeta para agregar la enzima en los vasos que contienen las muestras.



Figura 12. Muestras ingresando al baño maría para incubar a 95°C y evaluar la acción de la enzima amilasa.



Figura 14. Filtrado y lavado de las muestras



Figura 13. Frascos de incubación conteniendo las muestras con los respectivos crisoles FOSS



Figura 15. Crisoles FOSS conteniendo los residuos de FDT

**ANEXO 6. DATOS OBTENIDOS PARA EVALUAR VOLUMEN ESPECIFICO DE LOS PANES DE MOLDE**

**TABLA 1. VOLUMEN ESPECIFICO PARA LAS 11 FORMULACIONES**

Tratamientos	Muestras	Peso (g)	Volumen desplazado (ml)	Volumen específico (ml/g)	Promedio
<b>T1</b>	1	551.5	2770	<b>5.023</b>	<b>5.011</b>
	2	555	2775	<b>5.000</b>	
<b>T2</b>	1	554	2510	<b>4.531</b>	<b>4.516</b>
	2	558	2512	<b>4.502</b>	
<b>T3</b>	1	562.5	2510	<b>4.462</b>	<b>4.480</b>
	2	558.5	2512	<b>4.498</b>	
<b>T4</b>	1	572	2370	<b>4.143</b>	<b>4.144</b>
	2	573	2375	<b>4.145</b>	
<b>T5</b>	1	563	2840	<b>5.044</b>	<b>5.046</b>
	2	563	2842	<b>5.048</b>	
<b>T6</b>	1	563	2740	<b>4.867</b>	<b>4.851</b>
	2	567	2742	<b>4.836</b>	
<b>T7</b>	1	552.5	2710	<b>4.905</b>	<b>4.923</b>
	2	548	2708	<b>4.942</b>	
<b>T8</b>	1	559	2710	<b>4.848</b>	<b>4.852</b>
	2	557	2705	<b>4.856</b>	
<b>T9</b>	1	551.5	2570	<b>4.660</b>	<b>4.656</b>
	2	553	2572	<b>4.651</b>	
<b>T10</b>	1	539	2340	<b>4.341</b>	<b>4.304</b>
	2	549.5	2345	<b>4.268</b>	
<b>T11</b>	1	552.5	2370	<b>4.290</b>	<b>4.298</b>
	2	550	2368	<b>4.305</b>	
<b>PATRON</b>	1	552.5	2290	<b>4.145</b>	<b>4.148</b>
	2	552	2292	<b>4.152</b>	

## ANEXO 7: DATOS PARA EVALUAR EL COLOR DE LA CORTEZA DE LOS PANES DE MOLDE

Tratamientos	Muestras	Luminosidad	a	b	Cromacidad	Angulo tonalidad, h
T1	1	46.37	4.85	11.740	<b>12.702</b>	67.5535
	2	45.82	4.35	11.190	<b>12.006</b>	68.7567
	3	45.7	4.55	11.510	<b>12.377</b>	68.4305
	<b>promedio</b>	<b>45.963</b>	<b>4.583</b>	<b>11.480</b>	<b>12.361</b>	<b>68.2357</b>
T2	1	44.84	4.64	10.290	<b>11.288</b>	65.7281
	2	44.2	4.17	9.690	<b>10.549</b>	66.7157
	3	44.6	4.52	9.900	<b>10.883</b>	65.4600
	<b>Promedio</b>	<b>44.547</b>	<b>4.443</b>	<b>9.960</b>	<b>10.906</b>	<b>65.9573</b>
T3	1	47.63	3.12	11.670	<b>12.080</b>	75.0317
	2	46.82	3.57	11.330	<b>11.879</b>	72.5106
	3	46.2	3.33	11.480	<b>11.953</b>	73.8240
	<b>Promedio</b>	<b>46.883</b>	<b>3.340</b>	<b>11.493</b>	<b>11.969</b>	<b>73.7958</b>
T4	1	45.89	4.1	10.540	<b>11.309</b>	68.7441
	2	46.62	4.15	11.300	<b>12.038</b>	69.8337
	3	46.3	4.1	11.150	<b>11.880</b>	69.8107
	<b>Promedio</b>	<b>46.270</b>	<b>4.117</b>	<b>10.997</b>	<b>11.742</b>	<b>69.4762</b>
T5	1	49.58	2.99	12.760	<b>13.106</b>	76.8119
	2	48.48	2.62	11.860	<b>12.146</b>	77.5426
	3	48.2	2.78	12.560	<b>12.864</b>	77.5193
	<b>Promedio</b>	<b>48.753</b>	<b>2.797</b>	<b>12.393</b>	<b>12.705</b>	<b>77.2835</b>
T6	1	51.38	13.92	31.640	<b>34.567</b>	66.2528
	2	50.43	14.85	32.750	<b>35.959</b>	65.6086
	3	50.85	14.2	32.350	<b>35.329</b>	66.3008
	<b>Promedio</b>	<b>50.887</b>	<b>14.323</b>	<b>32.247</b>	<b>35.285</b>	<b>66.0500</b>
T7	1	52.33	14.1	34.590	<b>37.353</b>	67.8224
	2	52.5	14.01	34.780	<b>37.496</b>	68.0594
	3	52.45	13.99	34.650	<b>37.368</b>	68.0134
	<b>Promedio</b>	<b>52.427</b>	<b>14.033</b>	<b>34.673</b>	<b>37.406</b>	<b>67.9652</b>
T8	1	51.32	13.61	30.940	<b>33.801</b>	66.2559
	2	51.35	13.12	31.040	<b>33.699</b>	67.0870
	3	51.28	13.35	30.650	<b>33.431</b>	66.4637
	<b>Promedio</b>	<b>51.317</b>	<b>13.360</b>	<b>30.877</b>	<b>33.643</b>	<b>66.6022</b>
T9	1	53.87	13.13	34.220	<b>36.652</b>	69.0083
	2	52.44	13.2	32.610	<b>35.180</b>	67.9625
	3	52.66	13.16	33.520	<b>36.011</b>	68.5648
	<b>Promedio</b>	<b>52.990</b>	<b>13.163</b>	<b>33.450</b>	<b>35.947</b>	<b>68.5191</b>
T10	1	54.33	12.67	33.420	<b>35.741</b>	69.2374
	2	54.03	12.47	34.520	<b>36.703</b>	70.1381
	3	54.18	12.55	33.890	<b>36.139</b>	69.6795
	<b>Promedio</b>	<b>54.180</b>	<b>12.563</b>	<b>33.943</b>	<b>36.194</b>	<b>69.6890</b>
T11	1	51.89	12.62	33.280	<b>35.592</b>	69.2328
	2	52.19	12.29	31.790	<b>34.083</b>	68.8634
	3	52.02	12.48	32.590	<b>34.898</b>	69.0460
	<b>Promedio</b>	<b>52.033</b>	<b>12.463</b>	<b>32.553</b>	<b>34.858</b>	<b>69.0500</b>
PATRON	1	46.53	14.63	32.420	<b>35.568</b>	65.7119
	2	54.13	12.31	32.610	<b>34.856</b>	69.3187
	3	50.52	13.45	32.520	<b>35.192</b>	67.5303
	<b>Promedio</b>	<b>50.393</b>	<b>13.463</b>	<b>32.517</b>	<b>35.194</b>	<b>67.5081</b>



**ANEXO 8: DATOS PARA EVALUAR EL COLOR DE LA MIGA DE LOS  
PANES DE MOLDE**

Tratamientos	Muestras	Luminosidad	a	b	Cromacidad	Angulo tonalidad, h
T1	1	56.45	-1.44	7.590	7.725	-79.257
	2	59.77	-1.51	8.340	8.476	-79.737
	3	58.05	-1.48	8.010	8.146	-79.531
	<b>promedio</b>	<b>58.090</b>	<b>-1.477</b>	<b>7.980</b>	<b>8.115</b>	<b>-79.516</b>
T2	1	57.25	-1.03	8.830	8.890	-83.346
	2	54.83	-0.9	7.910	7.961	-83.509
	3	55.85	-0.95	8.250	8.305	-83.431
	<b>Promedio</b>	<b>55.977</b>	<b>-0.960</b>	<b>8.330</b>	<b>8.385</b>	<b>-83.426</b>
T3	1	55.67	-0.65	8.400	8.425	-85.575
	2	46.29	-0.43	6.890	6.903	-86.429
	3	51.55	-0.55	7.500	7.520	-85.806
	<b>Promedio</b>	<b>51.170</b>	<b>-0.543</b>	<b>7.597</b>	<b>7.616</b>	<b>-85.909</b>
T4	1	51.23	-0.35	8.590	8.597	-87.667
	2	49.96	-0.46	7.610	7.624	-86.541
	3	50.35	-0.41	8.150	8.160	-87.120
	<b>Promedio</b>	<b>50.513</b>	<b>-0.407</b>	<b>8.117</b>	<b>8.127</b>	<b>-87.132</b>
T5	1	57.14	-0.92	7.960	8.013	-83.407
	2	54.6	-1.04	7.560	7.631	-82.167
	3	56.5	-0.98	7.780	7.841	-82.820
	<b>Promedio</b>	<b>56.080</b>	<b>-0.980</b>	<b>7.767</b>	<b>7.828</b>	<b>-82.808</b>
T6	1	74.65	0.31	16.060	16.063	88.894
	2	76.42	-0.07	16.130	16.130	-89.751
	3	75.22	0.11	16.100	16.100	89.608
	<b>Promedio</b>	<b>75.430</b>	<b>0.117</b>	<b>16.097</b>	<b>16.097</b>	<b>89.585</b>
T7	1	76.13	-1.14	13.270	13.319	-85.090
	2	75.4	-1.18	13.350	13.402	-84.949
	3	75.9	-1.16	13.300	13.350	-85.015
	<b>Promedio</b>	<b>75.810</b>	<b>-1.160</b>	<b>13.307</b>	<b>13.357</b>	<b>-85.018</b>
T8	1	63.5	0.53	14.540	14.550	87.912
	2	69.38	0.01	14.320	14.320	89.960
	3	66.58	0.35	14.450	14.454	88.612
	<b>Promedio</b>	<b>66.487</b>	<b>0.297</b>	<b>14.437</b>	<b>14.440</b>	<b>88.823</b>
T9	1	72.83	-0.54	13.730	13.741	-87.748
	2	71.58	-0.37	12.600	12.605	-88.318
	3	71.89	-0.42	13.250	13.257	-88.184
	<b>Promedio</b>	<b>72.100</b>	<b>-0.443</b>	<b>13.193</b>	<b>13.201</b>	<b>-88.075</b>
T10	1	67.98	-0.2	13.630	13.631	-89.159
	2	61.22	-0.25	13.040	13.042	-88.901
	3	65.65	-0.22	13.350	13.352	-89.056
	<b>Promedio</b>	<b>64.950</b>	<b>-0.223</b>	<b>13.340</b>	<b>13.342</b>	<b>-89.041</b>
T11	1	63.76	-0.09	13.920	13.920	-89.629
	2	57.99	-0.2	12.610	12.612	-89.091
	3	60.03	-0.15	13.650	13.651	-89.370
	<b>Promedio</b>	<b>60.593</b>	<b>-0.147</b>	<b>13.393</b>	<b>13.394</b>	<b>-89.372</b>
PATRON	1	77.53	-1.25	13.210	13.269	-84.594
	2	79.46	-1.41	16.680	16.739	-85.168
	3	78.52	-1.38	14.850	14.914	-84.691
	<b>Promedio</b>	<b>78.503</b>	<b>-1.347</b>	<b>14.913</b>	<b>14.974</b>	<b>-84.840</b>

**ANEXO 9: ANALISIS DE PERFIL DE TEXTURA PARA LOS PANES  
DE MOLDE**

TRATAMIENTOS	H. HABA (%)	H. LINAZA (%)	Altura (mm)	DUREZA (Newton)	ELASTICIDAD (mm)	MASTICABILIDAD (mJ)
			07.02.17	07.02.17	07.02.17	07.02.17
<b>T1</b>	1.2	1.2	100	<b>9.64</b>	8.82	41.89
<b>T2</b>	6.8	1.2	95	<b>9.79</b>	8.54	42.27
<b>T3</b>	1.2	6.8	98	<b>7.2</b>	8.48	25.12
<b>T4</b>	6.8	6.8	102	<b>9.84</b>	8.35	34.09
<b>T5</b>	0	4	103	<b>7.2</b>	8.43	29.33
<b>T6</b>	8	4	96	<b>3.09</b>	8.35	16.19
<b>T7</b>	4	0	100	<b>3.99</b>	8.4	19.45
<b>T8</b>	4	8	102	<b>4.18</b>	8.39	19.99
<b>T9</b>	4	4	103	<b>4.33</b>	8.73	21.58
<b>T10</b>	4	4	98	<b>6.26</b>	8.59	31.37
<b>T11</b>	4	4	101	<b>3.75</b>	8.5	19.31
<b>PATRON</b>	0	0	100	<b>4.97</b>	8.54	23.62

**ANEXO 10: FOTOS DE LAS REBANADAS DE PANES DE MOLDE PARA VISUALIZAR LAS CELDAS EN CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS**



**T1**  
H.HABA = 1.2%  
H.LINA= 1.2%  
H. TRIGO= 97.6%  
H= 100 mm



**T2**  
H.HABA = 6.8%  
H.LINA= 1.2%  
H. TRIGO= 92.0%  
H= 95 mm



**T3**  
H.HABA = 1.2%  
H.LINA= 6.8%  
H. TRIGO= 92.0%  
H= 98 mm



**T4**  
H.HABA = 6.8%  
H.LINA= 6.8%  
H. TRIGO= 86.4%  
H= 102 mm



**T5**  
H.HABA = 0.0%  
H.LINA= 4.0%  
H. TRIGO= 96.0%  
H= 103 mm



**T6**  
H.HABA = 8.0%  
H.LINA= 4.0%  
H. TRIGO= 88.0%  
H= 96 mm



**T7**  
H.HABA = 4.0%  
H.LINA= 0.0%  
H. TRIGO= 96.0%  
H= 100 mm



**T8**  
H.HABA = 4.0%  
H.LINA= 8.0%  
H. TRIGO= 88.0%  
H= 102 mm





**T9**  
H.HABA = 4.0%  
H.LINA = 4.0%  
H. TRIGO = 92.0%  
H = 103 mm



**T10**  
H.HABA = 4.0%  
H.LINA = 4.0%  
H. TRIGO = 92.0%  
H = 98 mm



**T11**  
H.HABA = 4.0%  
H.LINA = 4.0%  
H. TRIGO = 92.0%  
H = 101 mm



**PATRON**  
H.HABA = 0.0%  
H.LINA = 0.0%  
H. TRIGO = 100.0%  
H = 100 mm