



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

Programa de Doctorado en Ingeniería Agroindustrial

“Desarrollo de productos de panificación saludables con alto contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante a partir de harina de kiwicha (*Amaranthuscaudatus*) y cañihua(*Chenopodium pallidicaule*) germinados”

**Tesis para obtener el Grado de
Doctor en Ingeniería Agroindustrial**

Autor:

Ms. Símpalo López, Wilson Daniel

Asesora:

Dra. Paucar Menacho, Luz María

Línea de investigación

Desarrollo de nuevos productos agroindustriales

Nuevo Chimbote - PERÚ

2022



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

CONSTANCIA DE ASESORAMIENTO DE TESIS

Yo, Dra. Paucar Menacho, Luz María, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la Tesis Doctoral titulada: “Desarrollo de productos de panificación saludables con alto contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante a partir de harina de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) germinados”, elaborada por el magister Símpalo López, Wilson Daniel para obtener el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Agroindustrial en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, 22 noviembre del 2022.

.....
Dra. Paucar Menacho, Luz María

ASESORA

CÓDIGO ORCID: 0000-0001-5349-6167

DNI N° 08099817



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

“DESARROLLO DE PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN SALUDABLES CON ALTO CONTENIDO DE COMPUESTOS BIOACTIVOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE A PARTIR DE HARINA DE KIWICHA (*Amaranthus caudatus*) Y CAÑIHUA (*Chenopodium pallidicaule*) GERMINADOS”

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR EN INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:

Dr. Cesar Moreno Rojo

PRESIDENTE

CÓDIGO ORCID: 0000-0002-7143-4450

DNI N° 32907242

Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca

SECRETARIO

CÓDIGO ORCID: 0000-0003-4326-1852

DNI N° 18146173

Dra. Luz María Paucar Menacho

VOCAL

CÓDIGO ORCID: 0000-0001-5349-6167

DNI N° 08099817



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

A los diecisiete días del mes de noviembre del año 2021, siendo las 17:00 horas, a través de la plataforma de videoconferencia ZOOM, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 551-2021-EPG-UNS de fecha 25 de setiembre de 2021, conformado por: Dr. César Moreno Rojo (Presidente), Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca (Secretario) y Dra. Luz María Paucar Menacho (Vocal), con la finalidad de evaluar la sustentación virtual de la tesis titulada: **DESARROLLO DE PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN SALUDABLES CON ALTO CONTENIDO DE COMPUESTO BIOACTIVOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE A PARTIR DE HARINA DE KIWICHA (*Amaranthus caudatus*) Y CAÑIHUA (*Chenopodium pallidicaule*) GERMINADOS**, presentado por el tesista **Wilson Daniel Símpalo López**, egresado del programa de Doctorado en Ingeniería Agroindustrial.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 543-2021-EPG-UNS de fecha 10 de noviembre de 2021.

El Presidente del jurado autorizó el inicio del acto académico; producido y concluido el acto de sustentación de tesis, los miembros del jurado procedieron a la evaluación respectiva, haciendo una serie de preguntas y recomendaciones al tesista, quien dio respuestas a las interrogantes y observaciones.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como **APROBADA**, asignándole la calificación de **DIECINUEVE (19)**.

Siendo las **19.00** horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nombre: **Dr. Cesar Moreno Rojo**

PRESIDENTE

Nombre: **Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca**

SECRETARIO

Nombre: **Dra. Luz María Paucar Menacho**

VOCAL

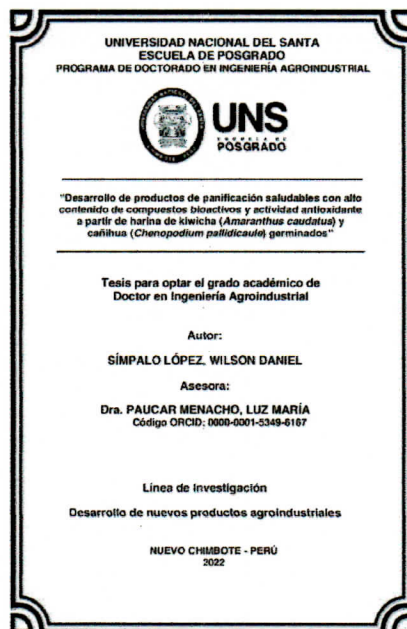


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: WILSON DANIEL SIMPALO LOPEZ_PreviewUser
Título del ejercicio: Turnitin
Título de la entrega: TESIS.pdf
Nombre del archivo: TESIS.pdf
Tamaño del archivo: 5.46M
Total páginas: 221
Total de palabras: 52,056
Total de caracteres: 244,499
Fecha de entrega: 06-dic.-2022 11:50a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 1973319679



ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I.....	19
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	19
1.1. PLANTEAMIENTO Y FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	19
1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	28
1.4. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO.....	28
1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	28
1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	30
CAPÍTULO II.....	31
MARCO TEÓRICO.....	31
2.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	31
2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	43
CAPÍTULO III.....	47
MARCO METODOLÓGICO.....	47
3.1. HIPÓTESIS CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	47
3.2. VARIABLES E INDICADORES DE LA INVESTIGACIÓN.....	47
3.3. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN.....	48
3.4. DISEÑO O ESQUEMA DE INVESTIGACIÓN.....	48
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	50
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	50
3.7. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	53
3.8. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	54
CAPÍTULO IV.....	56
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
4.1. ELABORACIÓN DE LAS HARINAS DE GRANOS GERMINADOS DE KIWICHA (<i>Amaranthus caudatus</i>) Y CAÑIHUA (<i>Chenopodium pallidicaule</i>).....	56

4.2. CARACTERIZACIÓN Y COMPARACIÓN DEL PERFIL NUTRICIONAL, ANTINUTRIENTES (ÁCIDO FÍTICO), COMPUESTOS BIOACTIVOS (COMPUESTOS FENÓLICOS Y GABA) Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE PRESENTE EN LAS HARINAS DE GRANOS GERMINADOS DE KIWICHA (<i>Amaranthus caudatus</i>) Y CAÑIHUA (<i>Chenopodium pallidicaule</i>) CON HARINAS DE ESTOS GRANOS SIN GERMINAR	62
4.3. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE HARINAS DE GRANOS GERMINADOS DE KIWICHA (<i>Amaranthus caudatus</i>) Y CAÑIHUA (<i>Chenopodium pallidicaule</i>) EN LAS CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DE LAS MASAS PARA ELABORAR PAN DE MOLDE Y GALLETAS.....	71
4.4. OPTIMIZACIÓN DE LA SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TRIGO POR HARINA DE GRANOS GERMINADOS DE KIWICHA (<i>Amaranthus caudatus</i>) Y CAÑIHUA (<i>Chenopodium pallidicaule</i>) EN FUNCIÓN A SUS ATRIBUTOS FÍSICOQUÍMICOS, SENSORIALES Y NUTRICIONALES, RELACIONADOS CON LA CALIDAD DEL PAN DE MOLDE Y GALLETA	96
CAPÍTULO V	180
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	180
5.1. CONCLUSIONES	180
5.2. RECOMENDACIONES	181
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	183
ANEXOS.....	208

ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro 1: Rango de valores de la composición química de los granos de Cañihua sin tratar (g / 100g peso seco).....	32
Cuadro 2: Rango de valores de la composición química de los granos de kiwicha sin tratar (g / 100g peso seco).....	34
Cuadro 3: Valor energético y composición química del pan de molde por cada 100g de producto comestible.....	41
Cuadro 4: Valor energético y composición química de la galleta soda (salada) por cada 100g de producto comestible.....	42
Cuadro 5: Valor energético y composición química de la galleta vainilla (dulce) por cada 100g de producto comestible.....	42
Cuadro 6: Matriz de experimentos (Diseño simplex centroide para la elaboración de pan de molde).....	49
Cuadro 7: Matriz de experimentos (Diseño simplex centroide para la elaboración de galletas).....	50
Cuadro 8: Análisis proximal de las harinas a partir de granos andinos germinados y sin germinar.....	62
Cuadro 9: Contenido de compuestos fenólicos solubles en harina de granos andinos (kiwicha y cañihua) germinados y sin germinar.....	65
Cuadro 10: Contenido de GABA en harina de granos andinos (kiwicha y cañihua) germinados y sin germinar.	67
Cuadro 11: Capacidad antioxidante en harina de granos andinos (kiwicha y cañihua) germinados y sin germinar.	68
Cuadro 12: Cantidad de ácido fítico en harina de granos andinos (kiwicha y cañihua) germinados y sin germinar.	70
Cuadro 13: Matriz de Resultados de los parámetros reológicos de las masas formuladas con Harina de trigo (WF), Harina de kiwicha germinada (GKF) y Harina cañihua germinada (GCF).....	73
Cuadro 14: Soluciones para la optimización conjunta de parámetros reológicos.	95

Cuadro 15: Análisis fisicoquímicos de los panes de molde para diferentes formulaciones.	100
Cuadro 16: Análisis sensorial de los panes de molde para diferentes formulaciones.	134
Cuadro 17: Análisis de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y contenido de ácido fítico de los panes de molde para diferentes formulaciones.....	147
Cuadro 18: Soluciones para la optimización conjunta para la elaboración de pan de molde.	162
Cuadro 19: Análisis de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y contenido de ácido fítico de la galleta para diferentes formulaciones.....	165
Cuadro 20: Soluciones para la optimización conjunta para la elaboración de galletas	179

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de bloques para la elaboración de harina de granos germinados.....	40
Figura 2: Diagrama de bloques de elaboración de harinas de granos de kiwicha germinados (<i>Amaranthus caudatus</i>).	57
Figura 3: Balance de materia de elaboración de harinas de granos de kiwicha germinados (<i>Amaranthus caudatus</i>).	58
Figura 4: Diagrama de bloques de elaboración de harinas de granos de cañihua germinados (<i>Chenopodium pallidicaule</i>).	60
Figura 5: Balance de materia de elaboración de harinas de granos de cañihua germinados (<i>Chenopodium pallidicaule</i>).	61
Figura 6: Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la Absorción de Agua de la masa.....	74
Figura 7: Gráfico contorno para la absorción de agua de la masa.....	75
Figura 8: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para la obsoción de agua de la masa.	75
Figura 9: Gráfico de superficie de respuesta y contorno para el tiempo de desarrollo de la masa.	77
Figura 10: Gráfico contorno para el tiempo de desarrollo de la masa.....	77
Figura 11: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para el tiempo de desarrollo de la masa.	78
Figura 12: Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la estabilidad de la masa.....	79
Figura 13: Gráfico contorno para la estabilidad de la masa.....	80
Figura 14: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para la estabilidad de la masa.	80
Figura 15: Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la consistencia de la masa...	82
Figura 16: Gráfico Contorno para la consistencia de la masa.....	82
Figura 17: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para la consistencia de la masa.....	83
Figura 18: Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la temperatura de gelatinización de la masa.....	85
Figura 19: Gráfico de contorno para la temperatura de gelatinización de la masa.....	85

Figura 20: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos para la consistencia de la masa.	86
Figura 21: Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la gelatinización máxima de la masa.	87
Figura 22: Gráfico de contorno para la gelatinización máxima de la masa.	87
Figura 23: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para la gelatinización máxima de la masa.	88
Figura 24: Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la resistencia a la extensión de la masa.	89
Figura 25: Gráfico de contorno para la resistencia a la extensión de la masa.	90
Figura 26: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para la resistencia a la extensión de la masa.	90
Figura 27: Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la extensibilidad de la masa.	92
Figura 28: Gráfico de contorno para la extensibilidad de la masa.	92
Figura 29: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos para la resistencia a la extensión de la masa.	93
Figura 30: Proceso para la elaboración de pan de molde a partir de harinas germinadas en kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i>) y cañihua (<i>Chenopodium pallidicaule</i>).	98
Figura 31: Panes de molde elaborados con F1, F2, F3, F4 y F5.	101
Figura 32: Panes de molde elaborados con F6, F7, F8, F9 y F10.	101
Figura 33: Panes de molde elaborados con F11, F12, F13 y F14.	102
Figura 34: Gráfico de superficie de respuesta para el volumen específico del pan de molde.	103
Figura 35: Gráfico de contorno para el volumen específico del pan de molde.	103
Figura 36: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para el volumen específico del pan de molde.	104
Figura 37: Gráfico de superficie de respuesta para la humedad del pan de molde.	106
Figura 38: Gráfico de contorno para la humedad del pan de molde.	106
Figura 39: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para la humedad del pan de molde.	107
Figura 40: Gráfico de superficie de respuesta para la Textura – Dureza del pan de molde.	109
Figura 41: Gráfico de contorno para la Textura – Dureza del pan de molde.	109

Figura 42: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos para la Textura – Dureza del pan molde.....	110
Figura 43: Gráfico de superficie de respuesta para la Textura – Masticabilidad del pan de molde.....	112
Figura 44: Gráfico de contorno para la Textura – Masticabilidad del pan de molde.....	112
Figura 45: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos para la Textura – Masticabilidad del pan molde.	113
Figura 46: Gráfico de superficie de respuesta para la Textura – Cohesividad del pan de molde.....	115
Figura 47: Gráfico de contorno para la Textura – Cohesividad del pan de molde.....	115
Figura 48: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos para la textura-Cohesividad del pan molde.	116
Figura 49: Gráfico de superficie de respuesta para la Luminosidad (L*) del pan de molde.	118
Figura 50: Gráfico de contorno para la Luminosidad (L*) del pan de molde.....	119
Figura 51: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos para la Luminosidad (L*) del pan molde.	119
Figura 52: Gráfico de superficie de respuesta para la cromaticidad (a*) del pan de molde.	121
Figura 53: Gráfico de contorno para la cromaticidad (a*) del pan de molde.....	121
Figura 54: Gráfico de Pareto de la cromaticidad de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos para la cromaticidad (a*) del pan molde.	122
Figura 55: Gráfico de superficie de respuesta para la cromaticidad (b*) de la miga del pan de molde.	123
Figura 56: Gráfico de contorno para la cromaticidad (b*) de la miga del pan de molde.	124
Figura 57: Gráfico de Pareto de la cromaticidad de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos para la cromaticidad (b*) de la miga del pan molde.	124
Figura 58: Gráfico de superficie de respuesta para la Luminosidad (L*) de la corteza del pan de molde.	127
Figura 59: Gráfico de contorno para la Luminosidad (L*) de la corteza del pan de molde.	127
Figura 60: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos para la Luminosidad (L*) de la corteza del pan de molde.	128

Figura 61: Gráfico de superficie de respuesta para a^* , de la corteza del pan de molde.	129
Figura 62: Gráfico de contorno para a^* de la corteza del pan de molde.....	129
Figura 63: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales, para a^* de la corteza del pan de molde.	130
Figura 64: Gráfico de superficie de respuesta para b^* de la corteza del pan de molde.	131
Figura 65: Gráfico de contorno para b^* de la corteza del pan de molde.....	132
Figura 66: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales, para b^* de la corteza del pan de molde.	132
Figura 67: Gráfico de superficie de respuesta para la característica organoléptica olor del pan de molde.....	136
Figura 68: Gráfico de contorno para la característica organoléptica olor del pan de molde.	136
Figura 69: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos para la característica organoléptica olor del pan de molde.	137
Figura 70: Gráfico de superficie de respuesta para la característica organoléptica color del pan de molde.....	139
Figura 71: Gráfico de contorno para la característica organoléptica color del pan de molde.	139
Figura 72: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos para la característica organoléptica color del pan de molde.....	140
Figura 73: Gráfico de superficie de respuesta para la característica organoléptica sabor del pan de molde.....	142
Figura 74: Gráfico de contorno para la característica organoléptica sabor del pan de molde.	142
Figura 75: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales, para la característica organoléptica sabor del pan de molde.	143
Figura 76: Gráfico de superficie de respuesta para la característica organoléptica textura del pan de molde.....	145
Figura 77: Gráfico de contorno para la característica organoléptica textura del pan de molde.	145
Figura 78: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para la característica organoléptica textura del pan de molde.....	146

Figura 79: Gráfico de superficie de respuesta del TPC del pan de molde.	149
Figura 80: Gráfico de contorno para el TPC del pan de molde.....	149
Figura 81: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para el TPC del pan de molde.....	150
Figura 82: Gráfico de superficie de respuesta de GABA del pan de molde.....	152
Figura 83: Gráfico de contorno para GABA del pan de molde.....	153
Figura 84: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para GABA del pan de molde.....	153
Figura 85: Gráfico de superficie de respuesta de ORAC del pan de molde.....	155
Figura 86: Gráfico de contorno para ORAC del pan de molde.....	156
Figura 87: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para ORAC del pan de molde.....	156
Figura 88: Gráfico de superficie de respuesta de AF del pan de molde.....	158
Figura 89: Gráfico de contorno para AF del pan de molde.....	159
Figura 90: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para AF del pan de molde.	159
Figura 91: Proceso para la elaboración de galletas a partir de harinas germinadas en kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i>) y cañihua (<i>Chenopodium pallidicaule</i>).....	164
Figura 92: Gráfico de superficie de respuesta del TPC de la galleta.....	166
Figura 93: Gráfico de contorno para el TPC de la galleta.....	167
Figura 94: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para el TPC de la galleta.	167
Figura 95: Gráfico de superficie de respuesta de GABA de la galleta.....	170
Figura 96: Gráfico de contorno para GABA de la galleta.....	170
Figura 97: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para GABA de la galleta.	171
Figura 98: Gráfico de superficie de respuesta de AF en la galleta.....	172
Figura 99: Gráfico de contorno para AF de la galleta.....	173
Figura 100: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para AF de la galleta.	173
Figura 101: Gráfico de superficie de respuesta de ORAC de la galleta.....	176
Figura 102: Gráfico de contorno para ORAC de la galleta.....	176

Figura 103:Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para ORAC de la galleta..... 177

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1:Proceso de elaboración de la harina de kiwicha.....	209
ANEXO 2:Proceso de elaboración de la harina de cañihua.....	215
ANEXO 3:Análisis proximal de harinas.....	221
ANEXO 4:Análisis del contenido de compuestos fenólicos.....	223
ANEXO 5:Análisis del Contenido de GABA.....	224
ANEXO 6:Análisis de la capacidad antioxidante.....	225
ANEXO 7:Análisis de la cantidad de ácido fítico.....	226
ANEXO 8:Análisis de los parámetros reológicos de la masa.....	227
ANEXO 9:Proceso de elaboración de pan de molde.....	235
ANEXO 10:Análisis de los parámetros del pan de molde.....	238
ANEXO 11:Análisis de los parámetros sensoriales del pan de molde.....	249
ANEXO 12:Análisis del contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante del pan de molde.....	253
ANEXO 13:Proceso de elaboración de galletas.....	257
ANEXO 14:Análisis del contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante de galletas.....	259

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue formular productos de panificación saludables a partir de harina de granos de kiwicha (GKF) y cañihua (GCF) germinados. Para determinar la formulación que permita optimizar los compuestos bioactivos, actividad antioxidante, atributos fisicoquímicos y sensoriales se aplicó un diseño de mezclas simplex con centroide. Se elaboraron pan de molde con un porcentaje de sustitución de harina de trigo (WF) de 80-90%, GKF de 5-15% y GCF de 5-15% y galletas con porcentajes de sustitución de WF de 60-80%, GKF de 5-25% y GCF de 5-55%, teniendo un total de 14 experimentos. La formulación óptima del pan de molde fue 6.17% de GKF, 9.62% de GCF y 84.21% de WF, mientras que la formulación óptima para la galleta fue 5% de GKF, 23.10% de GCF y 71.90% de WF. Se concluye que el proceso de germinación de granos permite aumentar los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante, obteniendo panes y galleta saludables con características fisicoquímicas y sensoriales adecuadas.

Palabras Claves: Compuestos bioactivos, Actividad antioxidante, Germinación, Kiwicha, Cañihua, Panificación.

ABSTRACT

The objective of this research was to formulate healthy bakery products from germinated kiwicha (GKF) and cañihua (GCF) grain flour. To determine the formulation that allows optimizing the bioactive compounds, antioxidant activity, physicochemical and sensory attributes, a simplex mixture design with centroid was applied. Sliced bread with a percentage of substitution of wheat flour (WF) of 80-90%, GKF of 5-15% and GCF of 5-15% and biscuits with percentage of substitution of WF of 60-80% were made. GKF of 5-25% and GCF of 5-55%, having a total of 14 experiments. The optimal formulation for the sliced bread was 6.17% GKF, 9.62% GCF and 84.21% WF, while the optimal formulation for the biscuit was 5% GKF, 23.10% GCF and 71.90% WF. It is concluded that the germination process of grains allows to increase the bioactive compounds and antioxidant capacity, obtaining healthy breads and biscuits with adequate physicochemical and sensory characteristics.

Key words: Bioactive compounds, Antioxidant activity, Germination, Kiwicha, Cañihua, Bakery.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, es evidente el notable incremento de enfermedades relacionadas con la alimentación a nivel mundial, de ahí la importancia de fomentar una alimentación saludable, donde los productos que se consuman sean los indicados, destacados por su alto aporte nutricional y con beneficios en la salud. Los granos andinos sometidos a germinación, como la kiwicha y cañihua, actualmente son conocidos por el elevado porcentaje de bioelementos y también elementos que son antioxidante y grandes beneficios en el sistema inmunológico del cuerpo humano, siendo consumidos e incluidos en la dieta. Sin embargo, el empleo de estos alimentos como materia prima a nivel industrial, para la producción de productos alimenticios, es incipiente, debido a la falta de nuevas tecnologías, que permitan diseñar, formular y elaborar estos productos a partir de granos andinos germinados. Es por ello que, el desarrollo de nuevas tecnologías va a permitir brindar la posibilidad de tener una elaboración de productos alimenticios con un elevado contenido de nutrientes, como aminoácidos esenciales, compuestos bioactivos, capacidad antioxidante, además de las transformaciones bioquímicas que generan enzimas y fibra, llevadas a cabo, durante el proceso de germinación de los granos. En relación a ello, el Perú, es un país con la disponibilidad en cantidad y calidad de pseudocereales andinos (kiwicha y la cañihua), estos granos pueden ser potenciados con un proceso de germinación, para luego ser empleados en la elaboración de diversos productos, como, por ejemplo, productos de panificación (pan y galletas) con gran valor nutricional y elevada capacidad antioxidante. Los productos de las panificadoras como galletas y pan son alimentos de consumo diario por la mayoría de las personas, el desarrollo y comercialización de estos productos permitirá que la población en general, pueda acceder al consumo de estos alimentos con grandes aportes nutricionales, en beneficio de la salud. Además, estos alimentos podrían ser distribuidos por los diferentes programas sociales de nuestro país. Por lo antes expuesto, esta investigación presenta como objetivo desarrollar productos de panificación saludables con alto contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante a partir de harina de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) germinados.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO Y FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En el Perú, tenemos cultivos con alto potencial nutricional y beneficioso para la salud, muchos de estos cultivos aún no se están aprovechando de manera apropiada, puesto que no son incluidos de manera importante en la dieta, y por lo tanto dejamos de aprovechar los nutrientes y bioelementos importantes para la alimentación y salud. Dentro de estos cultivos podemos citar a los pseudocereales como la cañihua y la kiwicha, que son cultivos altoandinos y poseen una gran cantidad de aminoácidos esenciales. Estudios recientes han demostrado que estos pseudocereales además poseen gran cantidad de compuestos bioactivos cuando son sometidos a una germinación, pudiendo elaborar a partir de estos granos germinados harinas que podrían emplearse para la elaboración de diversos productos como galletas y panes, que son productos de consumos masivo por lo que llegarían a ser consumidos por gran parte de la población. Frente a esto es necesario la inversión en investigación y desarrollo de productos nuevos e innovadores, con la finalidad de crear alimentos nutritivos y saludables en beneficio de la población en general, y especialmente en las de menos recursos, ya que podrían convertirse en alimentos de distribución en los diferentes programas sociales de nuestro país. Debido a lo antes expuesto, la presente investigación pretende desarrollar nuevos productos alimenticios que contribuyan a promover la salud de las personas, empleando para ello materias primas abundantes en nuestro país. Esta investigación a nivel de laboratorio servirá como base para el desarrollo tecnológico a nivel industrial de los productos antes mencionados.

1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Paucar *et al.* (2017), realizó una investigación con la finalidad de encontrar los niveles óptimos de temperatura y también tiempo del proceso de germinación para maximizar el porcentaje de GABA, TPC y la actividad antioxidante de la kiwicha (*Amaranthus caudatus*). Como resultado de la investigación, los autores pudieron determinar que la tiempo y temperatura óptima de germinación correspondieron a 26 grados y 63 h, respectivamente, en los que

GABA, TPC y capacidad antioxidante incrementaron 29, 4 y 6 veces, respectivamente.

Para el grano de la cañihua, Luna (2015), ejecutó una investigación en donde se midió el efecto del proceso de germinación respecto a elementos bioactivos de dos variedades de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). Los tiempos que se emplearon para la germinación, fueron 72 y 96 h. Después de la germinación, se realizó una húmeda cocción a una temperatura de 65 y 85°C a presión normal. Los análisis de laboratorio dieron como resultado que la cañihua germinada por 72 h tuvo un mayor incremento de compuestos fenólicos alcanzando una concentración de 95 mg equivalente de ácido gálico/100 g m.s, con respecto a la actividad antioxidante, se obtuvo mejores resultados cuando el tiempo de germinación fue de 96 horas, alcanzando una concentración promedio de 181,84 μ moles equivalentes de Trolox /g de materia seca, alcanzando una mayor concentración la variedad PIK 030133. El análisis proximal mostró un incremento de los elementos proteico en los granos germinados a medida que se incrementaba el tiempo de germinación.

Investigadores (2017), de la Estación Experimental Choquenaira (Facultad de Agronomía- UNMSA), realizaron un trabajo de investigación con la finalidad de diseñar un método adecuado para el desarrollo de los granos sometidos a germinación de cañihua, se seleccionaron variedades de cañihua Ecotipo naranja y Purapurani, con rendimientos en campo de 1560 y 1300 kg/ha, respectivamente (Aliaga *et al.* 2017). El proceso de germinación para ambas variedades se realizó a una temperatura de 30°C. Los resultados del proceso de germinación en función al crecimiento de la radícula en ambas variedades fueron de 36 mm y 30 mm respectivamente. Con respecto al peso promedio para la variedad Ecotipo naranja fue de 3,22 mg y para la variedad Purapurani fue de 3,00 mg.

En lo referente al análisis químico del grano de cañihua, Aliaga *et al.* (2017), reportaron que en promedio el contenido de proteína en el grano de cañihua fue de 15,4% para la variedad Ecotipo naranja y de 19,2% para la variedad Purapurani. Con respecto a los granos germinados estos presentaron un 6.28% de contenido de proteína para la variedad Ecotipo naranja y de un

6.25% para la variedad Purapurani. Respecto al análisis de minerales, los granos de cañihua sin germinar de la variedad Purapurani presentaron un contenido de fósforo 452,4 mg/100g y hierro 13.7 mg/100g, superior al de la variedad Ecotipo naranja (300,2 mg/100g de fósforo y 13.21 mg/100g de hierro). Para los granos de cañihua germinados se notó un incremento de minerales tanto para la variedad Ecotipo naranja (374,31 mg/100g de fosforo y 16,80 mg/100g de hierro), así como para la variedad Purapurani (340,61 mg/100g de fosforo y 13,80 mg/100g de hierro y). Uno de los factores que influyó notoriamente en el proceso de germinación de granos de cañihua fue la temperatura, la cual está asociada a la velocidad de las reacciones enzimáticas, así como al transporte de los elementos de reserva. Al considerar los resultados alcanzados, los investigadores indicaron que para acelerar el desarrollo del proceso de germinación en un corto periodo de tiempo los factores relevantes fueron la humedad y temperatura. Determinaron también que el producto final podía considerarse una buena fuente de elementos proteicos, fosforo y hierro.

Se han realizado diversas investigaciones referentes al remplazo de una parte de trigo en harina remplazada por granos andinos en harina. Pascual y Zapata (2010), realizaron una investigación en la que se determinó la influencia del remplazo de un porcentaje de trigo en harina por la harina del pseudocereal de kiwicha (variedad Óscar Blanco), con cinco niveles de sustitución (0%, 5%, 10%, 15% y 20%), y empleando dos diferentes procedimientos de panificación (esponja y masa y directo). Los mejores resultados se alcanzaron cuando el nivel de sustitución de la harina de trigo era de un 10% y se empleaba la técnica esponja y masa para la elaboración de panes.

Así mismo, Días *et al.* (2006), evaluó el impacto de la sustitución parcial de harina de trigo por harinas de amaranto entero (FAI) y desgrasado (FAD) sobre el valor nutricional y la aceptabilidad sensorial de la galleta y el pan. El porcentaje óptimo de la harina de grano de trigo remplazado por harina de pseudocereal (kiwicha) fue del 30% y 26% en galletas y pan, resultando en un aumento del valor nutricional, su elevado aporte de fibra dietética, calcio y hierro. Los nuevos productos mostraron una alta aceptabilidad sensorial de las galletas o panes obtenidos con FAI y FAD.

Por otro lado, De Souza (2017), evaluó sensorialmente panes con remplazo de un porcentaje de harina de trigo (10%, 20% y 30%) por harina del pseudocereal (amaranto) tostado; donde las muestras de pan que contenían 10 y 20% de harina de amaranto tuvieron una excelente aceptación por parte de los participantes. En cuanto al test sensorial de intención de compra que se realizó en el estudio, demostró que el 70,8% de los consumidores estarían dispuestos a comprar estos nuevos productos.

Viera *et al.* (2015), evaluaron los rangos sensoriales y fisicoquímicos de productos de panificación (galletas) fabricados con sustitutos del trigo, como almidón de yuca, harina de soja, quinua y amaranto. En cuanto a la composición química, determinaron la humedad, cenizas, proteínas, lípidos, fibras dietéticas, carbohidratos totales, energía, así como pH y acidez. La aceptabilidad de los productos desarrollados se determinó empleando una escala de nueve puntos. Sus resultados mostraron que las formulaciones que contenían harinas sustitutivas del trigo obtuvieron buen rendimiento, mayor contenido de cenizas, proteínas, lípidos y fibras dietéticas. Asimismo, estos presentaron porcentajes de aceptabilidad superiores al 70%, salvo la evaluación del sabor de la muestra con mayor contenido de soja (40%).

De Assi *et al.* (2020), desarrollaron galletas de chocolate sin gluten, elaboradas con harina del pseudocereal amaranto como sustituto de la harina de arroz. Realizaron galletas elaboradas con 25% (B25), 50% (B50), 75% (B75) y 100% (B100) de harina de amaranto, en sustitución de la harina de arroz, y la galleta estándar (BP), sin harina de amaranto; los parámetros que evaluaron en este estudio fue composición química, aceptación sensorial, dureza y color. Las fibras presentes en la harina de amaranto y su alto contenido proteico provocaron un aumento en el contenido de humedad y proteína, respectivamente. Por otro lado, el contenido de carbohidratos disminuyó cuando incrementaba el porcentaje de harina de amaranto utilizada. El análisis sensorial se realizó después de la confirmación mediante análisis microbiológico de que las galletas eran seguras para el consumo. Un total de 100 catadores no entrenados participaron en el análisis sensorial. La muestra B100 mostró la puntuación más baja para los parámetros textura, sabor y aceptación global. Las muestras B25 y B50 mostraron puntuaciones

estadísticamente iguales a la muestra de BP en textura, sabor y aceptación global, así como en intención de compra. La dureza de las galletas se incrementó proporcionalmente a la cantidad de harina de amaranto agregada, debido al alto contenido de proteínas y al tipo de almidón presente en esta matriz. En cuanto al color, solo la luminosidad fue influenciada por la adición creciente del amaranto en harina. La muestra B50 presentó una aceptación sensorial similar a la muestra control y, al mismo tiempo, un mayor contenido proteico.

Apaza (2015), realizó una investigación donde elaboró un pan “chuta”, con sustitución parcial de quinua y cañihua incrementando de esta forma algunos componentes como proteínas, fibra, etc. Para esta investigación se estudiaron cuatro formulaciones diferentes y se comparó sus características organolépticas (apariencia general, sabor, olor, color y textura). La muestra con una mayor aceptación respecto a su apariencia general fue aquella formulada con 17% de quinua y 23% de cañihua y un tiempo de 40 min y 55 min para el primer y segundo proceso fermentativo, respectivamente. El análisis del producto terminado presento un promedio de 30 g de proteína, 8,9 g de grasa, 14,9 g de carbohidratos, 5.5 g de fibra y con un aporte calórico de 380 Kcal por 100 g de pan, cantidades que superan el contenido de un pan “chuta” tradicional.

Castillo (2018), evaluó el remplazo parcial de la harina de grano de trigo por una mezcla de harina del pseudocereal cañihua y harina de las hojas de moringa con respecto a sus características de aceptabilidad y fisicoquímica de una galleta. En esta investigación se realizaron tres muestras donde el porcentaje añadido de la mezcla de cañihua en harina (HC) y moringa en harina (HM) fue en total 20%, las muestras tuvieron diferentes proporciones de HC y HM (Tratamiento 1 (T1)=HC85% y HM 15%; Tratamiento 2 (T2)=HC 90% y HM 10%; y, Tratamiento 3 (T3)=HC 95% y HM 5%. A todas las muestras se les evaluo tanto fisicoquímicamente (cenizas humedad, y proteínas) y preferencia; los resultados mostraron una variación a nivel estadístico cuando se compararon las muestras, siendo el tratamiento 3 el de mayor aceptación.

Pisfil (2017), realizó una investigación referente a remplazo parcial de granos de trigo en harina por un porcentaje de pseudocereales (quinua, cañihua y kiwicha) en harina, para la elaboración de pan "Panini" precocido con características semejantes al pan testigo. Para ello se prepararon diferentes formulaciones y se analizó la textura instrumental (dureza, elasticidad y cohesividad). El tratamiento óptimo, en base a los parámetros de textura, fue el que contuvo 9 porciento de quinua en harina, 6 porciento de kiwicha en harina y 1 porciento de cañihua en harina. El tratamiento con mayor grado de aceptación sensorial fue el tratamiento con 9%, 3% y 1.5% de granos de quinua en harina, de kiwicha en harina y cañihua en harina respectivamente.

Hidalgo y Pérez (2018), evaluaron la influencia del remplazo parcial de granos de trigo en harina por maca en harina (8-16%) y kiwicha (8-16%) en la elaboración de galletas. Se prepararon 11 formulaciones evaluándose características sensoriales y fisicoquímicas de cada una de ellas. La mejor formulación fue aquella preparada con 16% de kiwicha en harina y 3% de maca en harina. Las galletas presentaron un contenido de humedad, proteína, ceniza, grasa y carbohidrato de 3.44%, 8.0%, 1.97%, 21.97% y 64.63% respectivamente. Además, los niveles de hierro y calcio alcanzaron 4.91 y 77.21 mg por 100 g respectivamente.

Toaquiza (2012), desarrollo un trabajo de investigación respecto a la fabricación de galletas con un remplazo parcial de amaranto en harina y panela, donde se determinó el porcentaje óptimo de sustitución. Para ello se prepararon mezclas de trigo en harina y kiwicha en harina en proporciones de 85.00-15.00, 75.00-25.00 y 60.00-40.00 (p/p) a las que se adicionó un 20%, 28% y 35% de panela para la preparación de las galletas. Todas las muestras se sometieron a una evaluación del nivel de textura y sensorial para encontrar la mejor formulación. La investigación reveló que el mejor tratamiento fue aquella galleta preparada con una proporción 75:25% de granos de trigo en harina y amaranto y con 35 porciento de panela. El producto final elaborado con esta formulación mostró un nivel de dureza de 1027 gramos_fuerza (g-f) y 15 mili_Joule (mJ) de Trabajo Dureza, además presentó los mejores atributos sensoriales.

Así mismo, Barba de la Rosa *et al.* (2009), sustenta que la demanda de alimentos está aumentando, no solo para satisfacer la necesidad alimentaria de las poblaciones en crecimiento, sino también para proporcionar alimentos más nutritivos, ricos en proteínas de buena calidad y alimentos nutraceuticos. La semilla de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*), además de sus características nutritivas bien conocidas podrían ser una fuente muy importante de fenoles y con alta capacidad antioxidante.

Según, Román (2000), explica que durante la germinación de los granos es muy importante la hidratación de la semilla (imbibición), lo cual da pie al inicio del desarrollo del eje del embrión. Por lo general la cantidad de agua absorbida por el grano es mínima y no excede de tres veces el peso de la semilla seca. El proceso de imbibición depende básicamente de la permeabilidad de la capa que cubre la semilla y del potencial del agua.

Después de la germinación de los granos es muy importante también la etapa de secado, Bewley y Black (1983), realizaron un proceso de secado con gradiente térmico. La fase primera se realizó a una temperatura controlada de 30°C, disminuyendo la humedad de 30 a 45%; en la segunda fase la temperatura se incrementó hasta 50°C, consiguiendo reducir la humedad del grano hasta el 20%; y en la tercera fase la que se trabajó a 65°C, la humedad disminuyó hasta un 10%.

Uno de los principales compuestos bioactivos desarrollados en los granos andinos germinados es el ácido gamma-aminobutírico (GABA), aminoácido no proteico con reconocidas funciones fisiológicas y numerosos efectos beneficiosos para la salud. Uno de los más importantes es el efecto hipotensor que se ha demostrado en animales y en ensayos de intervención en humanos. La biosíntesis de GABA y su optimización, sin afectar las características sensoriales, son la clave para obtener productos alimenticios enriquecidos con GABA que tienen beneficios para la salud. Las bacterias del ácido láctico (BAL) son los principales productores de GABA y, por lo tanto, hay una amplia gama de productos alimenticios fermentados enriquecidos con GABA, en los que este compuesto se produce de forma natural, segura y ecológica. El GABA también se sintetiza en el proceso de germinación por acción de la

enzima glutamato decarboxilasa endógena de la semilla. El aumento del conocimiento de los componentes bioactivos en los alimentos ha abierto caminos para el desarrollo de nuevos alimentos funcionales que ocurren naturalmente con un valor agregado para la salud (Diana *et al.*, 2014).

Los patrones dietéticos, los alimentos funcionales y otros factores de estilo de vida juegan un papel importante en el desarrollo y manejo de enfermedades como hiperglucemia, hipertensión, dislipidemia, estrés oxidativo e inflamación. Los granos integrales proporcionan energía, nutrientes, fibras y compuestos bioactivos que pueden contribuir sinérgicamente en efectos protectores para la salud. A pesar de sus beneficios, la ingesta de granos parece ser inferior a la recomendada en muchos países. La germinación de los granos puede mejorar significativamente su valor nutricional y propiedades funcionales, así como mejorar la palatabilidad. Por lo tanto, mejorar la calidad de los granos de forma natural utilizando técnicas de germinación ofrece una oportunidad de intervención dietética práctica y natural para aumentar los beneficios para la salud y la aceptabilidad de los granos integrales por parte de la población en general contribuyendo a atenuar el desarrollo de las enfermedades asociadas al estilo de vida (Nelson *et al.*, 2013).

Repo-Carrasco *et al.* (2010), llevó a cabo un estudio donde determinó la cantidad de ácidos fenólicos, flavonoides y betalaínas en pseudocereales andinos (cañihua, quinua, kiwicha). La cantidad total de ácidos fenólicos varió entre 17 y 60 mg/100 g y la proporción de compuestos solubles varió entre un 7% y un 61%. El contenido de ácidos fenólicos en los cultivos andinos fue menor cuando se comparó con los cereales comunes el centeno y los granos de trigo, aunque similar al de la avena, la cebada, el maíz y el arroz. El contenido de flavonoides de la quinua y cañihua fue excepcionalmente alto, variando de 36,2 a 144,3 mg / 100 g, mientras que en la kiwicha no se detectaron estos compuestos y tan solo una variedad de kiwicha presentó bajas cantidades de betalaínas. El estudio demuestra que los cultivos indígenas andinos tienen un excelente potencial como fuentes de compuestos bioactivos que promueven la salud, como los flavonoides.

La innovación y desarrollo de productos nuevos estimula el consumo de alimentos sanos y saludables de la población en general. Los granos de kiwicha, quinua y cañihua son alimentos nutritivos y saludables que tienen elementos con mucho valor biológico, ácidos grasos no saturados y elementos antioxidantes (Yamani, 2015). Existen varias investigaciones sobre el remplazo parcial de granos de trigo en harina para la elaboración de alimentos de panificación con la finalidad de mejorar la calidad de los nutrientes o para proveer a la población de productos que contribuyan a combatir algunas enfermedades relacionadas a la deficiente alimentación, población que cada vez más prefiere alimentos sanos con contenido de compuestos bioactivos. (Moreno *et al.* 2014; Rai *et al.* 2018).

El pseudocereal kiwicha, tiene gran importancia como un alimento funcional debido a su composición fisicoquímica que presenta, como los componentes bioactivos, además la kiwicha es aparente como ingrediente para la elaboración o fabricación de diversos productos como los de panificación (Sanz-Penella *et al.* 2013). Investigaciones recientes como la de Tamsen *et al.*, (2018), demostraron que el remplazo de trigo en harina por kiwicha en harina para elaborar nuggets de pollo daba lugar a una disminución de biomarcadores de oxidación lipídica como el ácido tiobarbitúrico (TBA) comparado con el control. Este efecto se atribuyó a un contenido mucho mayor de elementos fenólicos con actividad antioxidante en la harina de amaranto. Los compuestos fenólicos tienen una característica muy importante relacionada con la neutralización de los radicales libres, se ha demostrado que los elementos fenólicos retrasar el inicio y propagación de los radicales libres (Budilarto y Kamal-Eldin, 2015).

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el efecto de desarrollar productos de panificación, a partir de harina de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) germinados, sobre los parámetros fisicoquímicos, atributos sensoriales, contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante en pan molde y galletas?

1.4. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO

Este trabajo de investigación se realizó en el Perú, en la región Ancash, en el distrito de Nuevo Chimbote, en la Universidad Nacional del Santa. El trabajo realizado, fue a nivel de laboratorio, las muestras se desarrollaron en la Planta Piloto Agroindustrial. Los análisis fisicoquímicos y organolépticos se realizaron en el Instituto de Investigación Agroindustrial (IITA) y también en el laboratorio de Análisis y Composición de Productos Agroindustriales. Para el caso de los análisis de capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de las muestras, estas se realizaron en el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTAN) del Consejo Superior de Investigación Científica (CSIC) en España. El período de la investigación inició en febrero del 2019 y concluyó en agosto del 2021.

1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Una de las causas que generan ciertas enfermedades degenerativas es la mala alimentación, donde muchas veces abusamos del consumo de alimentos pobre en nutrientes y en elementos bioactivos. Es por ello necesario fomentar el consumo de alimentos saludables ricos en compuestos bioactivos, dentro de estos alimentos podemos destacar a los pseudocereales andinos como la cañihua y la kiwicha germinadas, los cuales pueden ser empleados para la fabricación de productos que tienen un consumo cotidiano como los alimentos de panificación ricos en compuestos bioactivos, como lo demuestran diversas investigaciones. Si bien es cierto que numerosas investigaciones evidencian las bondades de los granos andinos germinados, el empleo de estos alimentos como materia prima a nivel industrial, aún es incipiente, debido a la falta de nuevas tecnologías que nos permitan diseñar, formular y elaborar productos alimenticios con estas materias primas. La germinación del grano

puede ser una nueva estrategia tecnológica que permita la fabricación de alimentos ricos en nutrientes, componentes bioactivos y actividad antioxidante, como consecuencia de una serie de transformaciones bioquímicas en el grano. Además de las cualidades antes mencionadas, el almidón que poseen se desdobra hasta azúcares y las proteínas en aminoácidos que se da en los brotes, lo que mejora la digestibilidad de macronutrientes, así como el sabor y palatabilidad de estos alimentos. En el Perú se cuenta con la disponibilidad de estos pseudocereales (kiwicha, cañihua) en las zonas altoandinas, lo que permite iniciar el desarrollo de nuevos productos como por ejemplo alimentos de panificación (panes y galletas) a partir de harina de granos germinados. Aplicando las tecnologías adecuadas es posible conseguir productos nutritivos, saludables de fácil acceso y baratos para los consumidores. Puesto que en la actualidad la población general está expuesta al consumo de alimentos poco saludables, es necesario ir cambiando y remplazando estos alimentos por otros productos con perfiles nutricionales mejorados y más saludables. Además, los panes y galletas elaborados a partir de harina de granos germinados, se podría incluir como alimentos de distribución en los diferentes programas sociales de nuestro país. Es importante destacar también que la Universidad Nacional del Santa cuenta con un equipo de profesionales con amplia experiencia en el desarrollo de tecnologías de alimentos a partir granos, además de la colaboración del ICTAN-España; lo que garantizó en buena medida el desarrollo del proyecto y el cumplimiento de los objetivos trazados. En este proyecto confluyeron diferentes factores importantes que garantizaron el éxito del mismo, como un equipo de profesionales con mucha experiencia de la Universidad Nacional del Santa, con la colaboración de instituciones extranjeras especializadas (ICTAN), además de que el Perú se cuenta con la disposición de las materias primas que se emplearon en esta investigación.

1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. OBJETIVO GENERAL:

Desarrollar y caracterizar desde el plano nutricional, fisicoquímico y sensorial, productos de panificación con capacidad antioxidante y compuestos bioactivos a partir de harina de granos andinos germinados.

1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Elaborar las harinas de granos germinados de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule*).

Caracterizar y comparar el perfil nutricional, antinutrientes (ácido fítico), compuestos bioactivos (compuestos fenólicos y GABA) y capacidad antioxidante presente en las harinas de granos germinados de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) con harinas de estos granos sin germinar.

Evaluar el efecto de la incorporación de harinas de granos germinados de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) en las características reológicas de las masas para elaborar pan de molde y galletas.

Optimizar la sustitución de harina de trigo por harina de granos germinados de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) en función a sus atributos fisicoquímicos, sensoriales y nutricionales, relacionados con la calidad del pan de molde y galleta.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

En las zonas altoandinas de Perú, muchos de sus alimentos habituales son ricos en carbohidratos como la papa la mashua, oca entre otras, y con la finalidad de cubrir sus requerimientos en proteínas emplean como alimentos a la quinua, kiwicha y cañihua, las cuales son ricas en aminoácidos esenciales necesarios para una correcta alimentación (Ayala, 2004). Sería importante que el consumo de los granos andinos no solo se limite a las zonas rurales de los andes, sino que se difundan su alimentación en las zonas costeras del Perú, no solo como granos sino como insumos en la elaboración de diversos alimentos.

La cañihua, es una planta nativa de las tierras altas de Perú y Bolivia que se caracteriza por su alto valor nutricional. (Huamaní, *et al.* 2020). Este cultivo tiene una notable adaptabilidad a diferentes regiones agroecológicas. Se cultiva en las tierras altas de los Andes en climas semidesérticos a 3600 – 4400 m de altitud. No es exigente en términos de fertilización y riego y puede desarrollarse incluso en suelos empobrecidos (Peñarrieta *et al.*, 2008).

El grano de cañihua es un pseudocereal perteneciente a la familia de las quenopodiáceas, misma familia que la quinua (*Chenopodium quinoa*). (Betalleluz-Pallardel *et al.*, 2017). La cañihua al igual que la quinua y la kiwicha son de gran interés como alternativas nutritivas libres de gluten, empleándose como sustitutos de los cereales convencionales. (Moreno *et al.*, Rai *et al.*, c. p. Zegarra *et al.*, 2019). El valor nutricional de este pseudocereal (Cuadro 1) está relacionado principalmente con su elevado contenido de proteínas (en relación a la mayoría de los cereales) oscilando entre el 12,7% y el 23,0% según la bibliografía (Repo Carrasco-Valencia *et al.* 2009 , Betalleluz-Pallardel *et al.*, 2017). La importancia de la proteína del grano de cañihua no solo se debe a su cantidad, sino principalmente a su calidad, su composición equilibrada de aminoácidos esenciales. Tanto la cañihua como la quinua son ricas en lisina, el primer aminoácido limitante de los cereales comunes (Repo-Carrasco *et al.* 2009, Betalleluz-Pallardel *et al.* 2017). Además, la cañihua contiene un alto contenido de fibra alimentaria que tiene efectos beneficiosos

para la salud (Repo-Carrasco Valencia *et al.* 2009, Betalleluz-Pallardel *et al.* 2017). El grano de cañihua dentro de su estructura no posee gluten, lo que hace que sea una alternativa atractiva para quienes padecen enfermedad celíaca y / o sensibilidad al gluten (Betalleluz-Pallardel *et al.* 2017). Diversos investigadores demostraron que el porcentaje de saponinas en los granos de cañihua es muy bajo permitiendo tener un producto alimenticio no amargo (Rastrelli *et al.* 1996, Repo-Carrasco-Valencia *et al.* 2009). La cañihua es relativamente rica en aceite que contiene principalmente ácidos grasos insaturados. El porcentaje de tocoferoles en el aceite extraído a partir de los granos de cañihua es superior al del aceite de maíz (Repo-Carrasco, 2003, c.p. Repo-Carrasco-Valencia *et al.*, 2009). Las semillas de cañihua también ofrece una amplia variedad de antioxidantes, elementos fenólicos y flavonoides (Peñarrieta *et al.*, 2008). Así mismo, Abderrahim *et al.* (2012), determinó que el proceso de germinación de la cañihua mejora su capacidad antioxidante total, lo que incluye compuestos antioxidantes extraíbles y no extraíbles (fenólicos totales extraíbles y flavonoides no extraíbles). En el Cuadro 1 se muestra el rango de valores reportados en la bibliografía para la composición de elementos químicos de los granos de cañihua.

Cuadro 1: Rango de valores de la composición química de los granos de Cañihua sin tratar (g / 100g peso seco).

Pseudocereal		Composición (g / 100g de peso seco)
Cañihua	Humedad	[9.61-11.90]
	Proteína	[13.29-17.60]
	Lípido	[2.80-8.50]
	Fibra cruda	[5.00-14.37]
	Ceniza	[3.13-5.03]
	Carbohidratos	[52.4-70.70]

Fuente: (Repo Carrasco-Valencia *et al.*, 2009; Repo Carrasco-Valencia *et al.*, 2010; Betalleluz-Pallardel *et al.*, 2017; Huamaní, *et al.*, 2020)

El kiwicha es un pseudocereal que pertenece a la familia *Amaranthaceae*, tiene más de 80 especies. Estos cultivos muestran una amplia biodiversidad en el Perú debido a las diversas zonas agroecológicas del país. *Amaranthus caudatus*, *Amaranthus hypocondriacus* y *Amaranthus cruentus* son las tres especies que se producen en mayor cantidad (MINAG, 2016, Paucar-Menacho *et al.* 2017). La kiwicha (*Amaranthus caudatus*) al igual que la quinua, tiene como origen las regiones altoandinas de América del sur. La kiwicha se han consumido durante cientos de años como cereal integral cocinado o como harinas en alimentos tradicionales como platos cocinados, pudines y ensaladas. (Pellegrini *et al.* 1999, Pilco-Quesada *et al.* 2020). Recientemente, ha aumentado considerablemente el interés en los pseudocereales para su uso en la preparación de productos saludables con bajo contenido de gluten de muy buena calidad como el pan y la pasta (Alvarez *et al.* 2010 , Paucar-Menacho *et al.* 2017). La kiwicha tiene alto contenido almidón (58-66%), proteínas (13-19%) con un adecuado balance de aminoácidos, fibra rica en sustancias pécticas y xiloglucanos (14-16%), lípidos que contienen cantidades importantes de escualeno (5-13%), minerales y vitaminas del complejo B (Paucar-Menacho *et al.* 2017). Además de su calidad nutricional, la kiwicha contiene compuestos promotores de la salud que incluyen péptidos bioactivos, compuestos fenólicos y betacianinas, estas últimas solo se encuentran en bajas cantidades en las variedades rosadas. Investigaciones demuestran que la kiwicha germinada podría generar harinas con mejor contenido nutricional, fitoquímico y actividad antioxidante que podrían utilizarse como ingredientes en productos de panadería (Paucar-Menacho *et al.* 2017)

Además de ello, con respecto a las variedades de kiwicha mejoradas en el Perú por diversas instituciones tenemos: Ayacuchana – INIA, San Luis, 10-C, 41-F, Otusco y Rojo Cajamarca. Desde el punto de vista comercial las variedades más recomendadas son "Centenario" y "Oscar Blanco". En el Cuadro 2 se muestra los niveles reportados en investigaciones previas para la composición aproximada de los granos de kiwicha.

Cuadro 2: Rango de valores de la composición química de los granos de kiwicha sin tratar (g / 100g peso seco).

Pseudocereal		Composición (g / 100g de peso seco)
Kiwicha	Humedad	[6.90-12.07]
	Proteína	[11.72-15.88]
	Lípido	[6.31-13.70]
	Fibra cruda	[2.68-7.50]
	Ceniza	[2.16-3.80]
	Carbohidratos	[55.5-65.55]

Fuente: (Repo-Carrasco-Valencia *et al.*, 2009; Repo-Carrasco-Valencia *et al.* 2010; Pilco-Quesada *et al.*, 2020)

Durante el proceso de germinación de los granos, se reportan variaciones extensas en la composición de una variedad de granos, reflejando la dinámica y flujo complejo de nutrientes y fitoquímicos, incluida la movilización, degradación y acumulación (Paucar-Menacho *et al.* 2017). Por lo tanto, el proceso de germinación de las semillas se ve influenciada por diversos factores como la temperatura, tiempo, el agua de imbibición, etc. La germinación inicia con el lavado de los granos con agua potable, luego una desinfección con una solución de hipoclorito de sodio (0.01%) por 30 min, posteriormente se realiza un enjuagado con la finalidad de eliminar los restos de hipoclorito de sodio, inmediatamente después se acondiciona un recipiente con agua bidestilada donde se coloca la semilla (la proporción semilla agua es 1 a 5), la semilla se deja en el recipiente hasta que alcance un porcentaje de 30% de humedad. Desde el punto de vista fisiológico en esta etapa se incrementa el ritmo respiratorio dando lugar a la síntesis y degradación de ciertos elementos esta se da principalmente cuando se llega a un nivel de 16 por ciento. Estas reacciones bioquímicas propician la degradación de materiales de reserva como carbohidratos lo que genera la liberación de

energía necesaria para el desarrollo del eje embrionario. Una segunda etapa se da cuando se supera el 30% de humedad, en esta etapa se da el transporte de los componentes desdoblados en la etapa anterior, en esta etapa el eje embrionario aun lo logra crecer por completo y el nivel de absorción de agua en bajo, en esta etapa la respiración de la semilla es más lenta. Una tercera etapa inicia cuando el nivel de humedad de la semilla llega al 40%, en este momento se incrementa nuevamente el nivel de respiración y su nivel de agua absorbida, a partir de este momento se da el crecimiento visible del eje del embrión. Desde el punto de vista bioquímico los elementos desdoblados en segunda etapa y transportadas en la tercera etapa formas complejos que son necesarios para la formación del citoplasma, el protoplasma y las paredes celulares, lo que facilita el desarrollo del eje del embrión de modo visible. Durante el inicio de una nueva etapa, es importante señalar, que no dificulta el desarrollo de la etapa pre-desadora, es decir cuando se inicia la tercera etapa, la semilla presenta en forma paralela las tres fases. Podemos indicar que las enzimas principales que se activan durante el proceso de germinación son las proteasas, hemicelulosas y celulosas (Román, 2000).

Paucar-Menacho *et al.* (2018), demostró que los factores óptimos para maximizar el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante en quinua previamente germinada fueron de 42 horas a 20 °C. Por otro lado, en esta investigación se encontró que los niveles óptimos para maximizar el porcentaje de GABA, TPC y capacidad antioxidante en kiwicha sometida a germinación fueron 26 °C durante 63 h, lográndose un aumento de 29.1, 4.0 y 6.4 veces, respectivamente. Abderrahim *et al.*, (2012), encontró que los factores óptimos para incrementar la capacidad antioxidante y el contenido de TPC en semillas germinadas de cañihua fueron de 72 h a 20 °C.

El proceso de germinación se ha empleado desde hace mucho. Tiene sus inicios en la producción de maltas etapa que forma parte de las etapas de la fabricación de cerveza y en la industria de la destilación. Numerosas Investigaciones han reportado los sustanciales beneficios tecnológicos que resultan de germinar granos. Cuando se reemplaza el trigo en harina por quinua en harina germinada, se mejoran las cualidades fisicoquímicas de las masas y la calidad del pan para (Singh *et al.* 2017). Por otro lado, algunos estudios

demuestran que los alimentos procesados a partir de granos en harinas de cereales germinados son ricos en oligosacáridos, aminoácidos, antioxidantes y vitaminas.

La germinación mejora las propiedades nutricionales, en concreto la digestibilidad y la biodisponibilidad de muchos nutrientes, así como la palatabilidad de todos los productos que se formulan con granos en harina germinadas haciéndolos atractivos al consumidor, pero sobre todo es un proceso simple y de bajo costo (López-Martínez *et al.* 2017). Estudios anteriores han encontrado condiciones óptimas para la germinación de semillas de kiwicha las donde se nota un incremento significativo de proteínas, capacidad antioxidante y compuestos fenólicos (Pasko *et al.* 2009; Perales-Sánchez *et al.* 2014). Otros investigadores demostraron también que la germinación de cereales y también pseudocereales incrementaron su nivel de GABA.

Para la obtención de harina a partir de granos andinos germinados, se lleva a cabo un solo patrón de procedimientos (Mamani & Quispe, 2017). Comenzando por la recepción de la materia prima, esta actividad es de suma importancia ya que los granos deben ser adquiridos en buenas condiciones físicas para su posterior recepción Después de ello continúa la operación de limpieza y clasificación de la materia prima, estas operaciones inician con una adecuada limpieza para evitar que los granos lleguen con impurezas tales como restos de cáscara, piedras u objetos extraños, además se debe llevar a cabo una correcta selección por tamaño con la finalidad de conservar la uniformidad del grano, esta operación se puede realizar de dos maneras, manualmente o usando equipos para su desarrollo. En la primera se suele preparar zarandas, ubicadas en lugares estratégicos donde el viento sea favorable para que de esta manera ayude en una óptima limpieza de los granos, y la segunda desarrollada a partir de equipos que realizan las operaciones en simultáneo, es decir no solo limpian, sino también seleccionan el grano de acuerdo a su forma, tamaño y peso; existen diversos equipos para este fin, entre las cuales destacan, el uso de cribas, separadores por peso específico, separadores mediante corriente de aire, separadores magnéticos, entre otras. (Estrada, 2015).

Después de las operaciones antes mencionadas continúan el lavado, desinfectado y remojo de los granos. Para la realización de estas operaciones es fundamental el uso de agua tratada, ya que, si se usa agua sin tratar, podría ser fuente de distintos agentes contaminantes teniendo como consecuencia una materia prima no apta para su procesamiento y consumo. Debemos considerar que las operaciones de lavado y desinfectado se efectúen de manera manual, con la finalidad de evitar daños en la materia prima. Posteriormente los granos son puestos en remojo, sometidos a un tiempo, temperatura y humedad específica (Chaparro *et al.* 2011). El objetivo por el cual la materia prima es sometida a la operación de remojo, es brindar cierto porcentaje de humedad al grano, antes de ser sometido a la germinación (Ramírez, 2015). Además, permite que las enzimas generadas como producto de este procedimiento se propaguen con mayor facilidad por toda la estructura interna de los granos, considerándolo como una de las operaciones más importantes durante el proceso de elaboración de harina a base de granos andinos germinados; a esta operación se le denomina también imbibición. Después de ello, se da la etapa de germinación, en la que se desarrollan diversos procesos metabólicos contribuyendo al incremento de la capacidad antioxidante y la concentración de compuestos bioactivos (TPC y GABA) en los granos germinados. La fuerte activación enzimática y los diferentes procesos metabólicos que se desarrollan en esta etapa, conducen al desarrollo del grano evidenciándose con el crecimiento de la radícula a través de sus cubiertas seminales (Cruz, 2017). Diversos autores mencionan que se deben controlar ciertos parámetros para que el proceso de germinación se pueda desarrollar con mayor eficiencia, mencionando entre ellos, algunos factores externos tales como, la humedad requerida (Bravo *et al.* 2013). Es importante saber que para activar el proceso de crecimiento y desarrollo de los granos es necesario que la humedad oscile entre 40 y 45%; también es necesario controlar la temperatura, cuyo rango depende del grano a germinar, generalmente oscila aproximadamente entre 20 a 26°C; por último, se considera que para lograr que este procedimiento se realice de manera exitosa, es necesario verificar la cantidad de oxígeno disuelto (O₂) en el agua de imbibición para que de esta manera, este elemento, llegue hasta el embrión (Cruz, 2017). Es necesario controlar estos parámetros para optimizar el

incremento de los compuestos bioactivos antes mencionados. A diferencia de los granos sin germinar, los granos germinados logran aportar una mayor cantidad de nutrientes y permiten que los aminoácidos esenciales (lisina, fenilalanina entre otros) posean una mayor digestibilidad y presenten una mayor eficiencia en su utilización.

Al término de la germinación continua la operación de secado (Meyhuay 2000), los granos previamente germinados son sometidos a una fuente de calor hasta alcanzar una humedad de entre el 12 y el 14%, ya que de esta manera se evitará que el grano inicie un proceso de fermentación, disminuyendo la calidad del producto. Existen dos maneras de realizar el secado, la primera se describe como una operación que se realiza de manera natural. Los granos previamente germinados, son extendidos en finas capas, exponiéndose a la acción del sol, por un tiempo no mayor de 15 días. Cabe resaltar que es importante monitorear la humedad relativa del ambiente donde se realiza el secado, ya que es un parámetro crucial para que la operación se lleve con éxito. Este sistema de secado natural se recomienda cuando las cantidades a procesar de materia prima son pequeñas o cuando las condiciones atmosféricas son favorables para poder llevar a cabo una operación de secado en el menor tiempo posible. La segunda forma, es el secado que se realiza de manera artificial. Se hace uso de esta forma de secado artificial cuando las condiciones atmosféricas no son favorables o cuando se va a secar un volumen mayor de granos. El método artificial consiste en introducir los granos germinados a una corriente de aire, previamente calentada, para ello se puede emplear dos tipos de equipos, secadores discontinuos, o secadores continuos, estos equipos se diferencian en que la primera tiene una capacidad de producción menor y costo más bajo que la segunda (Mamani, 2017). Con respecto al tiempo y temperatura de secado se puede trabajar a 60°C por 12 h.

Los granos germinados ya secos son sometidos a una operación de molienda, esta operación se caracteriza básicamente por la acción de triturar los granos, hasta llegar a obtener una harina de tipo integral, con una fina textura y la capacidad de llegar a ser ligeramente polvosa. Es necesario controlar ciertos

parámetros para obtener una harina de calidad (Baidakova & Orlova, 2017). Uno de ellos es la granulometría, que no debe ser mayor de 130 (μm). Con respecto a la granulometría de harinas, de ciertos granos, un estudio revela que mientras más pequeño sea el tamaño de las partículas de la harina (molienda ultra fina), presenta una mayor capacidad antioxidante, es decir existe una correlación entre el incremento de la actividad antioxidante con la disminución del tamaño de partículas y el aumento de la superficie específica (Rosa *et al.* 2013); Una manera de obtener una partícula ultra fina, es empleando un molino de bolas o rodillos, los cuales garantizan una máxima capacidad de reducción física (tamaño) de los granos. Los granos germinados después de haber sido molidos se tamizan, esto se realiza con la finalidad de disminuir la cantidad de partículas gruesas que hayan quedado de la operación anterior, de tal manera que se garantice la homogeneidad del tamaño de partícula (Olivares & Ricaldi, 2013); después de molido y tamizado es necesario envasar la harina de tal manera que se proteja de la humedad y demás agentes externos. En la Figura 1, se muestra el esquema para la producción de harina de granos germinados.

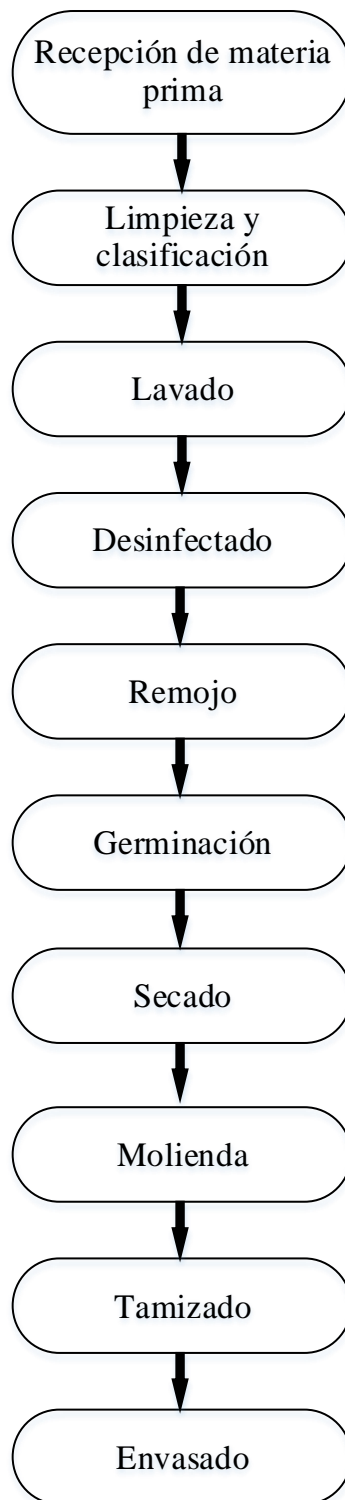


Figura 1: Diagrama de bloques para la elaboración de harina de granos germinados.

Con respecto al análisis reológico de las masas de harinas, se puede decir que es la investigación de la deformación y sus características del nivel flujo de los componentes, de manera general es conocido como el ámbito que investiga a los fluidos y su viscosidad. La viscosidad, el esfuerzo cortante y las características viscoelásticas de un fluido, son algunas de las propiedades que se pueden conocer llevando a cabo pruebas reológicas (Quintana, 2016).

Así mismo, el pan de molde tiene una textura suave y su horneado en moldes permite una mayor conservación que otro tipo de panes (Távora, 2015). La utilización de granos ricos en nutrientes fitoquímicos durante su elaboración puede resultar beneficiosa para la salud, al aumentar su contenido en fibra dietética y antioxidantes. (Abarca *et al.* 2010). En el Cuadro 3, se muestra el valor energético y la composición proximal del pan comercial.

Cuadro 3: Valor energético y composición química del pan de molde por cada 100g de producto comestible.

Valor energético / Componentes	Cantidad
Energía	317 Kcal
Agua	20,8 g
Proteínas	6,8 g
Grasa total	2,5 g
Carbohidratos totales	69,2 g
Carbohidratos disponibles	66,8 g
Fibra dietaria	2,4 g

Fuente: (Centro Nacional de Alimentación y Nutrición, 2017)

En el Cuadro 4 y Cuadro 5, se muestra el valor energético y la composición proximal de la galleta comercial.

Cuadro 4: Valor energético y composición química de la galleta soda (salada) por cada 100g de producto comestible.

Valor energético / Componentes	Cantidad
Energía	433 Kcal
Agua	4,8 g
Proteínas	10,1 g
Grasa total	14,7 g
Carbohidratos totales	69,6 g
Carbohidratos disponibles	66,4 g
Fibra dietaria	3,2 g

Fuente: (Centro Nacional de Alimentación y Nutrición, 2017)

Cuadro 5: Valor energético y composición química de la galleta vainilla (dulce) por cada 100g de producto comestible.

Valor energético / Componentes	Cantidad
Energía	434 Kcal
Agua	4,8 g
Proteínas	6,0 g
Grasa total	12,7 g
Carbohidratos totales	74,9 g
Carbohidratos disponibles	73,8 g
Fibra dietaria	1,1 g

Fuente: (Centro Nacional de Alimentación y Nutrición, 2017)

Con respecto a los compuestos bioactivos de un alimento, estos aportan muchos beneficios en el ámbito de la salud además de sus propiedades nutritivas (Olmedilla y Granado, 2007). Un compuesto bioactivo es un compuesto que tiene la capacidad y la habilidad de interactuar con uno o más componentes del tejido vivo presentando una amplia gama de efectos fisiológicos. El origen de estas sustancias puede ser natural: terrestre o

acuático; una planta, animal u otra fuente (por ejemplo, microorganismos) o sintético: parcial o totalmente (GUAADAUI *et al.* 2014).

En un sentido estrictamente científico, el término "bioactivo" es un término alternativo para "biológicamente activo" (Cammack, 2006). Un compuesto bioactivo es simplemente una sustancia que tiene una actividad biológica (Dictionary of Food Science and Technology, 2009). Los componentes bioactivos de los alimentos son elementos de los productos alimenticios o suplementos diferentes a los necesarios para el aporte nutricional, ya que están relacionados con la salud (Studdert *et al.*, 2011). En este caso, es importante comprender que los compuestos bioactivos no son nutrientes (Kris-Etherton, 2004), incluso si están contenidos en los alimentos o sus constituyentes.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Antioxidantes: "Se definen como cualquier sustancia que retrasa, previene o elimina el daño oxidativo de una molécula ya sea estabilizando o desactivando los radicales libres que interactúan con las células. Los antioxidantes son un componente crítico en el mantenimiento óptimo de la célula y homeostasis sistémica y contribuyen a preservar su salud" (Halliwell, 2007).

Cañihua (*Chenopodium pallidicaule*): "Grano andino que contiene varios nutrientes destacando su contenido en proteína que varía entre un 13,01 y un 20,26% (con una proporción importante de aminoácidos azufrados), hidratos de carbono y aceites vegetales. También contiene grandes cantidades de calcio, sodio, fósforo, magnesio, zinc, hierro, complejo vitamínico B y vitamina E. Además, posee la ventaja de no poseer saponinas (anti nutrientes que son necesarios eliminar antes del consumo) lo cual facilita su utilización en la dieta alimenticia (Choquehuanca, 2015).

Compuestos bioactivos: "El término "bioactivo" se compone de dos palabras: bio y activo. En etimología: bio- del griego (βίο-) "bios" [bio-, -bio], se refiere: vida. Y activo del latín "activus" significa: dinámico, lleno de energía, con energía, o implica una actividad. Esta actividad presenta todos los fenómenos a partir de los cuales se manifiesta una forma de vida, un funcionamiento o un

proceso (Anonymous, 1994). En un sentido estrictamente científico, el término "bioactivo" es un término alternativo para "biológicamente activo". Un compuesto bioactivo es simplemente una sustancia que tiene una actividad biológica" (Dictionary of Food Science and Technology, 2009). "Un compuesto (o una sustancia) que tiene actividad biológica, si tiene un efecto directo sobre un organismo vivo. Estos efectos pueden ser positivos o negativos dependiendo de la sustancia, la dosis o la biodisponibilidad. De hecho, estos compuestos tienen una amplia gama de efectos, comenzando con el buen mantenimiento de la salud, incluso el efecto curativo, o ser peligrosos. La dosis ingerida de compuestos bioactivos suele ser decisiva para determinar si el efecto es positivo o adverso" (AkselB, 2010).

Compuestos fenólicos: "Los compuestos fenólicos son los metabolitos secundarios más ampliamente distribuidos, presentes de forma ubicua en el reino vegetal. Los compuestos fenólicos son poco comunes en bacterias, hongos y algas. Los briófitos son productores habituales de polifenoles, incluidos los flavonoides, pero es en las plantas vasculares donde se encuentra la gama completa de polifenoles." (Harborne, 1980). Se estima que aproximadamente el 2% de todo el carbono fotosintetizado por las plantas se convierte en flavonoides o compuestos estrechamente relacionados. Las plantas superiores sintetizan varios miles de compuestos fenólicos diferentes conocidos, y el número de aquellos completamente caracterizados aumenta continuamente. Las hojas de las plantas vasculares contienen ésteres; amidas y glucósidos de ácidos hidroxicinámicos; flavonoides glicosilados, especialmente flavonoles; proantocianidinas y sus derivados. La lignina, la suberina y la esporopollenina de polen son ejemplos de polímeros que contienen compuestos fenólicos. Algunos compuestos fenólicos solubles están ampliamente distribuidos, por ejemplo, el ácido clorogénico, pero la distribución de muchas otras estructuras está restringida a géneros o familias específicas haciéndolos biomarcadores convenientes para estudios taxonómicos." (Robards & Antolovich, 1997).

Germinación de semillas: "Se han propuesto varias definiciones de germinación de semillas, y es importante comprender sus distinciones. En la fisiología de semillas, la germinación se define como la aparición de la radícula

a través de la cubierta de la semilla. Tal definición no dice nada sobre otras estructuras esenciales como el epicotilo o los hipocotilos que se convierten en las partes superiores de una plántula exitosa. Esta definición se centra en la capacidad reproductiva de la semilla, un objetivo esencial en la agricultura. Otros consideran que la germinación es la reanudación del crecimiento activo por parte del embrión que resulta en la ruptura de la cubierta de la semilla y la aparición de una planta joven. Esta definición supone que la semilla ha estado en un estado de reposo, o reposo, después de su formación y desarrollo. Durante este período de descanso, la semilla está en un estado relativamente inactivo y tiene una baja tasa de metabolismo. Puede permanecer en ese estado hasta que las condiciones ambientales desencadenen la reanudación del crecimiento activo. Independientemente de qué definición se prefiera, debe enfatizarse que no se puede realmente sembrar el proceso de germinación. Por lo tanto, todas las definiciones incluyen alguna medida del desarrollo de las plántulas, a pesar de que esto ocurre después del evento de germinación” (Miller, 2010).

Alimentos nutraceuticos: “Se define como "un alimento (o parte de un alimento) que proporciona beneficios médicos o de salud, incluida la prevención y / o el tratamiento de una enfermedad". (Brower, 1998. El Nutrition Business Journal afirma que usa el término nutraceutico para todo lo que se consume principalmente o particularmente por razones de salud. Según esa definición, un alimento funcional sería un tipo de nutraceutico. Por otro lado, Health Canada afirma que los nutraceuticos son un producto que se “prepara a partir de alimentos, pero se vende en forma de píldoras o polvos (pociones), o en otras formas medicinales que generalmente no están asociadas con los alimentos. Se ha demostrado que un nutraceutico tiene un beneficio fisiológico o proporciona protección contra enfermedades crónicas”. (Taiz *et al.* 1998).

Alimento funcional: “Los productos alimenticios solo pueden considerarse funcionales si, junto con el aporte nutricional, tiene efectos beneficiosos sobre condiciones generales y físicas de las funciones del organismo humano y reduciendo el riesgo del desarrollo de enfermedades” (Siro, 2008). La ciencia alimentaria funcional se originó de la colaboración de las ciencias y la necesidad pública. Es la fusión de la ciencia de los alimentos, la nutrición y la

medicina, ya que produce un sustento que cruza entre los alimentos y los productos farmacéuticos. Específicamente, los investigadores estudian los componentes de los alimentos y sus efectos beneficiosos para la salud. Miden los cambios en la salud y el comportamiento homeostático mediante el uso de biomarcadores o "indicadores" en el cuerpo. A partir de esta investigación, los científicos de alimentos funcionales determinan los efectos sobre la salud y las dosis adecuadas / seguras de alimentos funcionales. (Dhiman, 2014).

Harina: "Polvo obtenido de la molienda de un cereal o grano". (Choquehuanca, 2015). Así mismo, kiwicha (*Amaranthus caudatus*): "Planta generalmente cultivada durante la época de los incas y otras culturas precedentes en el Perú. El color correspondiente a sus semillas varía de negro hasta rojo, siendo el más común el blanco o marfil. Con respecto a su valor nutricional tiene un aporte excepcional. En especial se puede destacar sus aminoácidos con alto valor biológico, también cuentan un contenido alto de aceite con características nutricionales buenas". (Paucar-Menacho *et al.* 2017).

GABA, aminoácido no proteico que funciona como un importante neurotransmisor depresivo en el sistema nervioso, encargado de regular la presión arterial y la frecuencia cardíaca, para aliviar el dolor y la ansiedad. La germinación puede acumular GABA en muchas semillas comestibles y ello puede deberse a la mayor actividad de las enzimas endógenas involucradas en las vías metabólicas de GABA (Gan *et al.* 2017).

El ácido fítico es un ácido cíclico saturado con seis grupos fosfato reactivos que actúa como agente quelante, por lo que tiene la capacidad de unirse a grupos funcionales o minerales cargados positivamente, reduciendo así su biodisponibilidad durante el metabolismo de los alimentos. A diferencia de los granos de cereales donde el ácido fítico se concentra en el germen, en la quinua está presente en las capas externas del grano y en todo el endospermo (Demir y Bilgicli, 2020).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. HIPÓTESIS CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

La sustitución parcial de harina de trigo por harina de granos de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) germinados modifica la reología de las masas, composición química y características fisicoquímicas de productos horneados haciéndose necesaria su optimización con el objetivo de desarrollar productos con calidad nutricional (en términos de compuestos bioactivos y antinutrientes), funcional (actividad antioxidante), tecnológica y sensorial mejorada.

3.2. VARIABLES E INDICADORES DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

Para las muestras de panes y galletas se incluyeron las siguientes variables independientes:

- Porcentaje de harina de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) germinada de la variedad Centenario.
- Porcentaje de harina de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) germinada de la variedad Illpa.
- Porcentaje de harina de trigo (*Triticum aestivum* L.)

3.2.2. VARIABLES DEPENDIENTES

Para las muestras de panes y galletas se evaluaron las siguientes variables dependientes:

Compuestos bioactivos: Se evaluó el contenido de compuestos fenólicos totales (mg / 100g), el contenido de ácido γ -aminobutírico (mg/100g).

Capacidad antioxidante: Se evaluó la capacidad antioxidante (μ g Trolox equivalentes/mg)

Contenido de ácido fítico: Se evaluó la cantidad de ácido fítico en g/100 g

Análisis fisicoquímicos: Se evaluó humedad (%), volumen específico (ml/g), textura-dureza (N), textura-masticabilidad (mJ); textura-cohesividad, color instrumental de miga y corteza.

Análisis sensorial: Se evaluó los atributos sensoriales como sabor olor color y textura.

Para las masas se evaluaron las siguientes variables dependientes:

Análisis reológicos: Se evaluó temperatura de gelatinización (°C), máxima gelatinización (Unidades Amilográficas), tiempo de desarrollo (min), resistencia a la extensión (Unidades Brabender), estabilidad (min), consistencia (Unidades Farinográficas), extensibilidad (mm). la absorción de Agua (%),

Para la optimización de las harinas mezcladas, formulación del pan y de galletas se empleó la función de deseabilidad del software design-expert 7.0. Para ejecutar la opción de optimización, fue necesario definir el peso de cada variable (para la presente investigación se consideró el mismo peso para cada variable) y el objeto de la variable respuesta (maximizar o minimizar).

3.3. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

Según su finalidad es aplicada, según el manejo de variables experimental y según su contexto, es de laboratorio.

3.4. DISEÑO O ESQUEMA DE INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación fue experimental. En ese sentido, se aplicó un Diseño Simplex con Centroides (DSC) de la metodología de Superficie de Respuesta con 14 tratamientos experimentales por cada mezcla de harinas y por cada producto (pan de molde y galleta). La matriz experimental de los componentes para cada producto se muestra en los Cuadros 6 y 7.

Cuadro 6: Matriz de experimentos (Diseño simplex centroide para la elaboración de pan de molde).

N°	Componentes		
	A: Harina de Kiwicha Germinada (%)	B: Harina de Cañihua Germinada (%)	C: Harina de trigo (%)
1	8	8	83
2	15	5	80
3	10	10	80
4	5	15	80
5	5	15	80
6	5	10	85
7	7	12	82
8	5	5	90
9	15	5	80
10	10	5	85
11	7	7	87
12	5	10	85
13	12	7	82
14	5	5	90

Fuente: Design Expert V.7.0

Cuadro 7: Matriz de experimentos (Diseño simplex centroide para la elaboración de galletas).

N°	Componentes		
	A: Harina de Kiwicha Germinada (%)	B: Harina de Cañihua Germinada (%)	C: Harina de trigo (%)
1	15	15	70
2	20	20	60
3	5	20	75
4	20	20	60
5	5	20	75
6	5	20	75
7	20	20	60
8	10	25	65
9	20	5	75
10	20	5	75
11	10	10	80
12	25	10	65
13	20	5	75
14	25	10	65

Fuente: Design Expert V.7.0

3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población estuvo conformada por granos de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule*).

Las muestras fueron tomadas solo de granos seleccionados y certificados de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule*).

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

Las técnicas e instrumentos aplicados estuvieron en función a las etapas del proyecto:

Germinación de los granos andinos: Se aplicaron condiciones de germinación óptimas para maximizar el contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante en los granos de kiwicha (temperatura (T^a) = 26 °C / humedad Relativa (HR) = 90% / tiempo (t) = 72 h) y cañihua (T^a = 20 °C / HR = 90% / t = 42 h) siguiendo las recomendaciones de publicaciones científicas previas (Paucar-Menacho *et al.* 2018; Luna, 2015).

Elaboración de harina de los granos andinos germinados: Los granos germinados fueron secados a 40 °C, hasta una humedad de 3-4.5%, molidos y tamizados hasta obtener un tamaño de partícula de 150-200 μ m y finalmente embolsados en polietileno de alta densidad

Caracterización de la composición proximal de las harinas de granos germinados: El contenido de humedad, proteína, lípidos, fibra total y cenizas se determinaron de acuerdo con la AOAC (métodos 925.09, 992.15, 922.06, 985.29, 923.03, respectivamente) (AOAC, 1992 y 2000) y los carbohidratos disponibles se determinaron por diferencia (FAO, 2002).

Determinación de compuesto fenólicos libres de las harinas de granos germinados: Se determinó en extractos hidroalcohólicos y posterior cuantificación por colorimetría mediante el método Folin-Ciocalteu adaptado a placas multipocillo (Limón *et al.* 2015).

Determinación de la actividad antioxidante de las harinas de granos germinados: Se evaluó en extractos hidroalcohólicos por los siguientes métodos: TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) utilizando el radical ABTS según Re y col. (1999) y ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) según Huang y Col, (2002).

Determinación del ácido gamma-aminobutírico de las harinas de granos germinados: La cuantificación del contenido de ácido gamma-aminobutírico (GABA) se realizó por HPLC, según el método descrito por Paucar-Menacho *et al.* 2017.

Caracterización de los parámetros reológicos de las masas de panificación formuladas con granos andinos germinados: Se empleó la metodología de la *American Association of Cereal Chemists* (AACC). El análisis de farinografía, conforme a la metodología 54-10.01

empleando un extensógrafo E-Brabender (AACC, 1999), para evaluar la resistencia a la extensión a velocidad constante (UE), resistencia máxima (UE), extensibilidad (mm), y energía (cm).

Determinación de hexakisfosfato de mioinositol: El hexakisfosfato de mioinositol o ácido fítico (InsP6) presente en las materias primas y el residuo en las formulaciones de pan después del proceso de panificación se midió como el fósforo liberado por la fitasa y la fosfatasa alcalina mediante un método de cantidad simple K-PHYT. Este método consiste en la extracción ácida de fitatos, seguida de un tratamiento con enzimas fitasa y fosfatasa alcalina para liberar fosfatos del anillo de mioinositol. El fosfato total liberado se midió mediante una técnica colorimétrica de acuerdo con el método AOAC 986.11. Las muestras se analizaron por triplicado.

Caracterización del producto terminado: Se realizó el análisis de calidad nutricional de los productos de panificación (pan de molde y galletas), que incluyen: composición proximal (humedad, grasa, ceniza, proteína, carbohidratos), contenido de compuestos fenólicos totales (TPC), ácido gamma-aminobutírico (GABA) y actividad antioxidante (ORAC), humedad (%), volumen específico (ml/g), textura-dureza (N), textura-masticabilidad (mJ); textura-cohesividad, color instrumental de miga y corteza; empleando la misma metodología empleada en la harina de granos germinados.

Determinación de las características sensoriales del producto terminado: Se realizó el análisis de sabor, olor, color y textura tanto del pan de molde como de la galleta. Para ello cada atributo fue evaluado por 30 panelistas semientrenados, empleándose una escala no estructurada desde 0 a 10, donde 0 indica “me disgusta mucho” y 10 indica “me gusta mucho”.

Para las distintas caracterizaciones los datos obtenidos se registraron en hojas excel para luego aplicar las técnicas de procesamiento de datos establecidas para esta investigación.

3.7. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Variables independientes (Factores): Mezcla de harinas de granos andinos germinados para elaborar productos de panificación (pan de molde y galleta). En los experimentos del pan de molde se trabajó con la mezcla de dos granos andinos germinados y harina de trigo: sustitución de harina de trigo con harina de granos germinados de kiwicha (5-15%) y cañihua (5-15%). En los experimentos de galleta se trabajó con la mezcla de harinas de dos granos andinos germinados: sustitución de harina de trigo con harina de granos germinados de kiwicha (5-25%) y cañihua (5-25%).

Variable dependiente (Respuestas): Se aplicó la metodología de superficie de respuesta para optimizar la formulación, teniendo en cuenta una sustitución de hasta el 20% y el 40% de la harina de trigo por harina de granos andinos germinados en el caso del pan de molde y de las galletas, respectivamente. Etapa de elaboración: Para la elaboración de los panes de molde se siguieron las siguientes etapas: pesado, mezclado, amasado, reposo, boleado, corte, formado (moldes de 650g), fermentación y horneado; luego se enfrió y se colocaron en bolsas de polipropileno para su posterior análisis. Para la elaboración de la galleta se realizó la formulación y cremado el cual consiste en mezclar los ingredientes (margarina, azúcar, huevos y leche) hasta obtener una consistencia cremosa luego se procedió a mezclar los ingredientes sólidos (Harinas) en los líquidos con la adición de agua y leche. Se amasa hasta combinar todos los ingredientes. Se procedió al laminado para su posterior moldeado. La cocción se realizó a 180°C por 30 minutos. Luego se enfrió y se colocó en bolsa de polipropileno para su posterior análisis. A los panes de molde y galleta se realizó los mismos análisis proximales, compuestos bioactivos y actividad antioxidante. En las masas se evaluaron distintos parámetros reológicos como absorción de Agua (%), tiempo de desarrollo (min), estabilidad (min), consistencia (Unidades Farinograficas), temperatura de gelatinización (°C), máxima gelatinización (Unidades Amilograficas), resistencia a la extensión (Unidades Brabender), extensibilidad (mm). Se realizó un análisis sensorial empleando una escala no estructurada de 0 a 10 puntos, para este análisis se contó con 30 panelistas semi entrenados. Para la determinación de los niveles óptimos respecto al

análisis sensorial se empleó el método de la función deseada (Myers & Montgomery, 2002) para determinar la formulación óptima.

3.8. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Efecto de la germinación sobre la composición proximal en harina de granos de kiwicha y cañihua.

El tratamiento estadístico de los datos respecto al estudio proximal de harinas de granos de kiwicha y cañihua consistió en un análisis de la varianza de una vía ANOVA (Anexo 3), utilizando el programa STATGRAPHICS Centurion. El Anexo 3, incluye el resultado de los análisis estadísticos de los datos. La diferencia significativa, entre las harinas de granos andinos germinados y sin germinar, se determinaron mediante el ANOVA simple a un nivel de probabilidad del 5% ($p \leq 0,05$). Los datos han sido representados como la media \pm el error estándar, y los resultados fueron estadísticamente significativos cuando su valor p, es menor de 0.05.

El análisis de los datos de un diseño experimental simplex centroide (se representa como un triángulo que incluye todo el universo de posibilidades de mezcla de las harinas de granos germinados evaluados. El análisis estadístico de regresión múltiple para evaluar el efecto de las harinas en las variables dependientes se realizó con el programa Statistica 6.0. Los modelos de regresión con términos lineales, cuadráticos y cúbicos fueron evaluados mediante un análisis de la varianza (ANOVA). Se seleccionaron los términos significativos del modelo de regresión ($p < 0.05$) y los modelos matemáticos con mayor ajuste ($R^2 > 0,8$) para construir las superficies de respuesta e identificar la formulación óptima de las variables dependientes. Para la optimización multirespuesta se empleó la función de deseabilidad (D), que consistió en asignar a cada variable respuesta el valor 0 (si no deseable) o 1 (si deseable). Para todas las funciones deseadas de las diferentes respuestas se define una función total D ($0 < D < 1,0$) igual al promedio geométrico de las n funciones individuales deseadas. Un valor alto de D indica las mejores funciones del sistema, lo cual se considera como la solución óptima. Los valores óptimos se determinaron a partir de los valores individuales de las

funciones deseadas que maximizan D. Como criterio de optimización se buscó minimizar el contenido de ácido fítico (por su implicación en la baja biodisponibilidad de minerales) y maximizar las características sensoriales y nutricionales de los productos, especialmente los compuestos bioactivos y actividad antioxidante.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ELABORACIÓN DE LAS HARINAS DE GRANOS GERMINADOS DE KIWICHA (*Amaranthus caudatus*) Y CAÑIHUA (*Chenopodium pallidicaule*)

La elaboración de harina de granos de kiwicha germinada (*Amaranthus caudatus*), se realizó en el IITA de la UNS. Los granos de kiwicha de la variedad centenario fueron enviados por el Instituto de Desarrollo Agroindustrial de la Universidad Nacional Agraria-La Molina y almacenados en un ambiente fresco y ventilado tras su recepción. La elaboración de la harina se inició con la eliminación de impurezas (piedras, arena hojas y otros), pesado (para el cálculo del rendimiento), lavado de los granos con agua potable a una temperatura de 23 °C, para su posterior desinfección, empleando una solución de agua destilada con hipoclorito de sodio al 0,01% por 30 minutos. Los granos lavados y desinfectados se sometieron a una maceración en agua destilada a una temperatura de 23 °C, por 6 h y con una relación grano: agua de 1 a 5. Culminado el tiempo de maceración se inició la etapa de germinación empleado los parámetros óptimos determinados por Paucar-Menacho (2017). Los granos fueron humedecidos con agua destilada y colocados en el germinador a una temperatura de 26 °C, un tiempo de 63 h con una humedad relativa del 90%. Al término del proceso de germinación los granos se secaron en una cámara con ventilación forzada a una temperatura de 40 °C por 30 h. Por último, los granos germinados secos y molidos fueron envasados al vacío en bolsas de polietileno. En el Anexo 1, se muestran imágenes del proceso de elaboración de la harina. En la Figura 2, se muestra el diagrama de bloques del proceso de elaboración de la harina de la kiwicha germinada. El rendimiento de masa en la elaboración de la harina de kiwicha germinada fue del 86%, el detalle del balance de materia se muestra en la Figura 3.

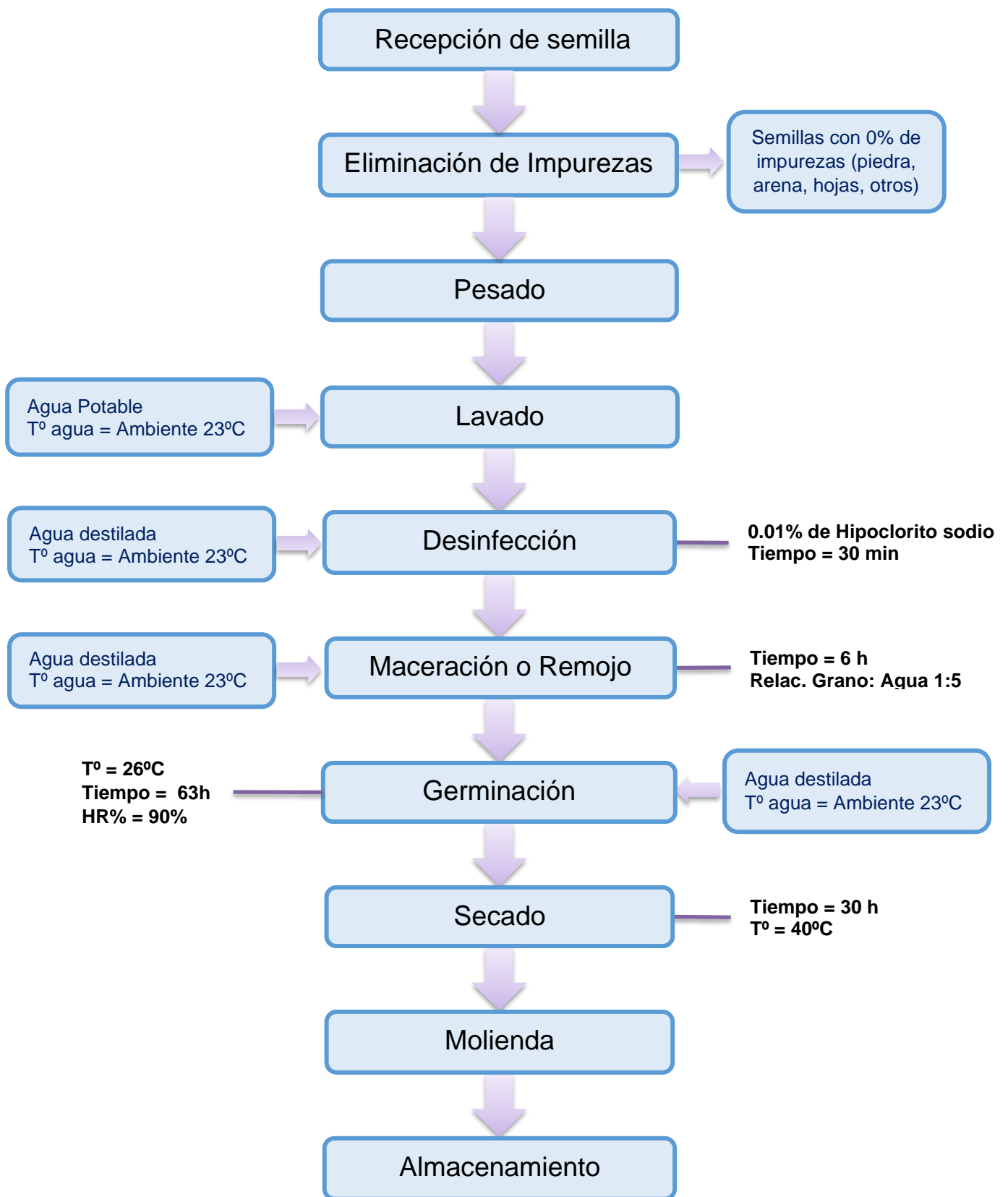


Figura 2: Diagrama de bloques de elaboración de harinas de granos de kiwicha germinados (*Amaranthus caudatus*).

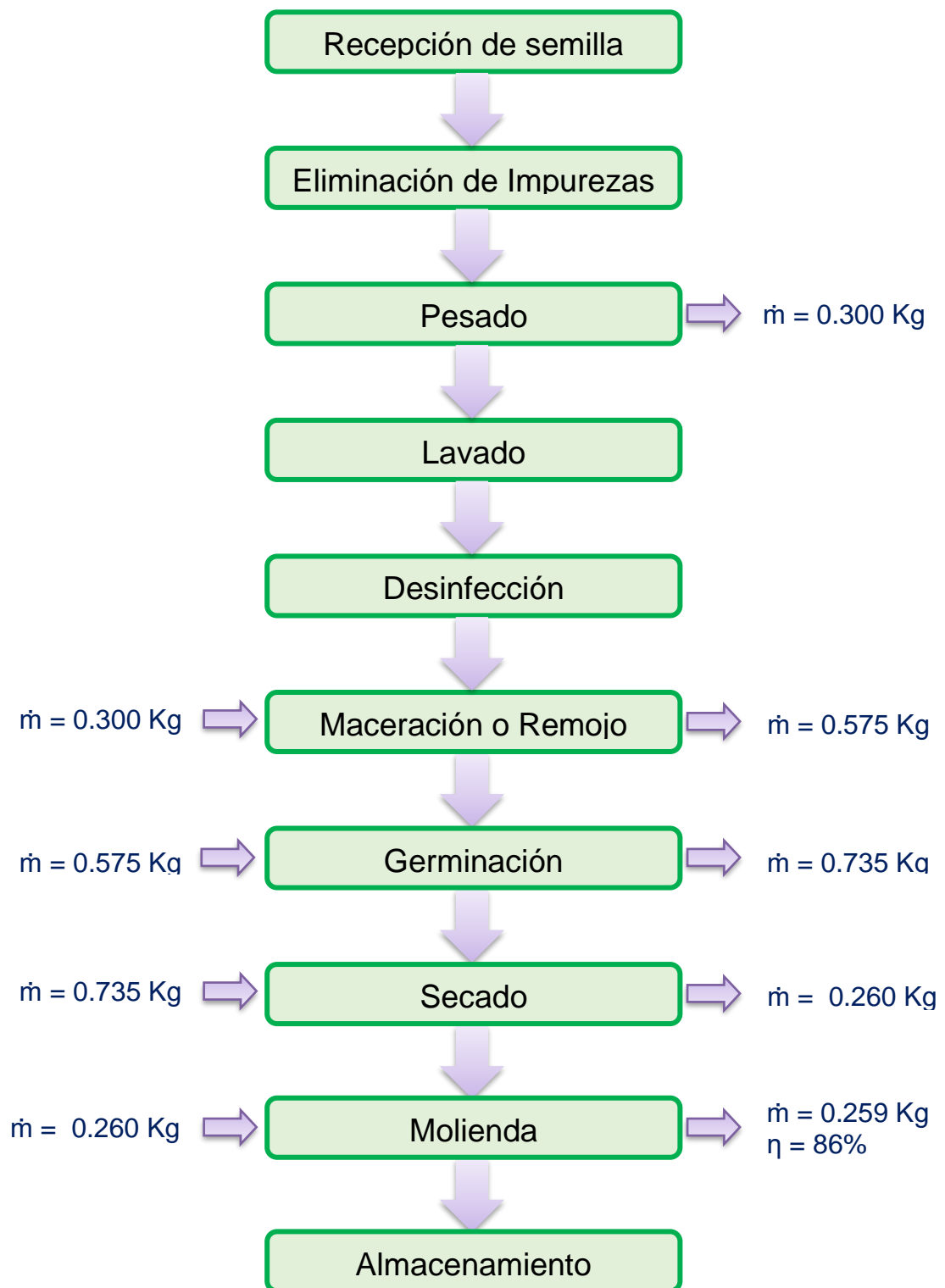


Figura 3: Balance de materia de elaboración de harinas de granos de kiwicha germinados (*Amaranthus caudatus*).

De forma similar, se procedió a la obtención de harina de granos de cañihua germinada (*Chenopodium pallidicaule*) en el IITA de la UNS. Los granos de cañihua de la variedad Ilpa fueron enviados por la Estación Experimental Agraria INIA – Puno. Tras su recepción en el IITA, se almacenaron en un ambiente fresco y ventilado. Se eliminaron impurezas, se tomó el peso de los granos antes de su lavado (con agua potable a 23°C) y desinfección (solución de hipoclorito de sodio al 0.01%) por 30 min. Los granos lavados y desinfectados se sometieron a una maceración en agua destilada, a una temperatura de 23°C, por 7 h y con una relación grano: agua de 1 a 5. Culminado el tiempo de maceración, se inició la etapa de germinación empleando los parámetros óptimos determinados por Luna (2015), los granos fueron humedecidos con agua destilada y colocados en el germinador a una temperatura de 24°C y humedad relativa del 90% durante 42 h. Al término del proceso de germinación, los granos fueron secados en cámara de aireación forzada a 40°C por 30 h. Por último, los granos germinados secos y molidos fueron envasados al vacío en bolsas de polietileno. En el Anexo 2 se muestran imágenes del proceso de elaboración de la harina. En la Figura 4 representa el diagrama de bloques del proceso para la elaboración de la harina de cañihua germinada. Para finalizar, el rendimiento de masa para la elaboración de harina de cañihua germinada, fue de 86%, dando a conocer el detalle sobre el balance de materia en la Figura 5.

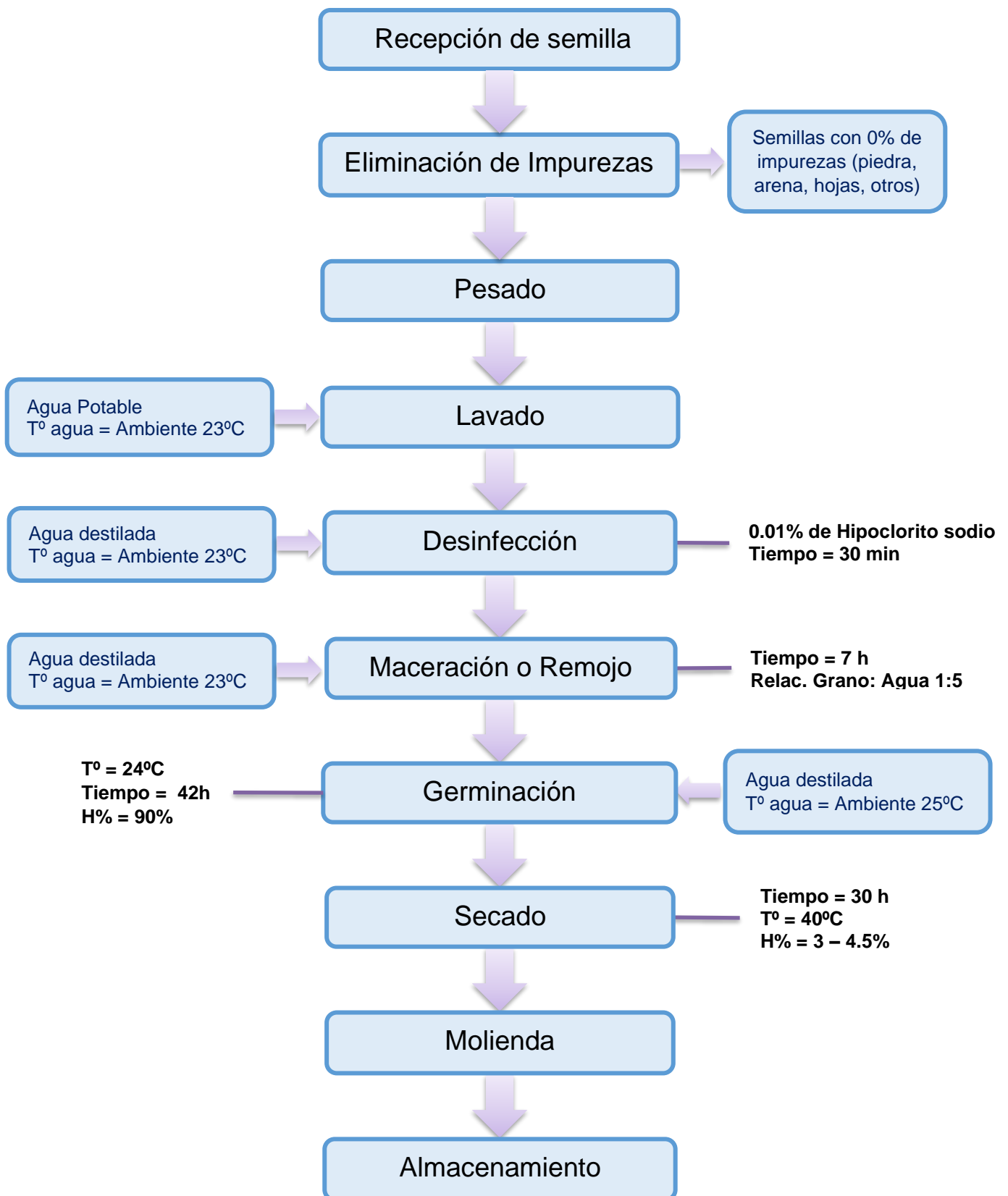


Figura 4: Diagrama de bloques de elaboración de harinas de granos de cañihua germinados (*Chenopodium pallidicaule*).

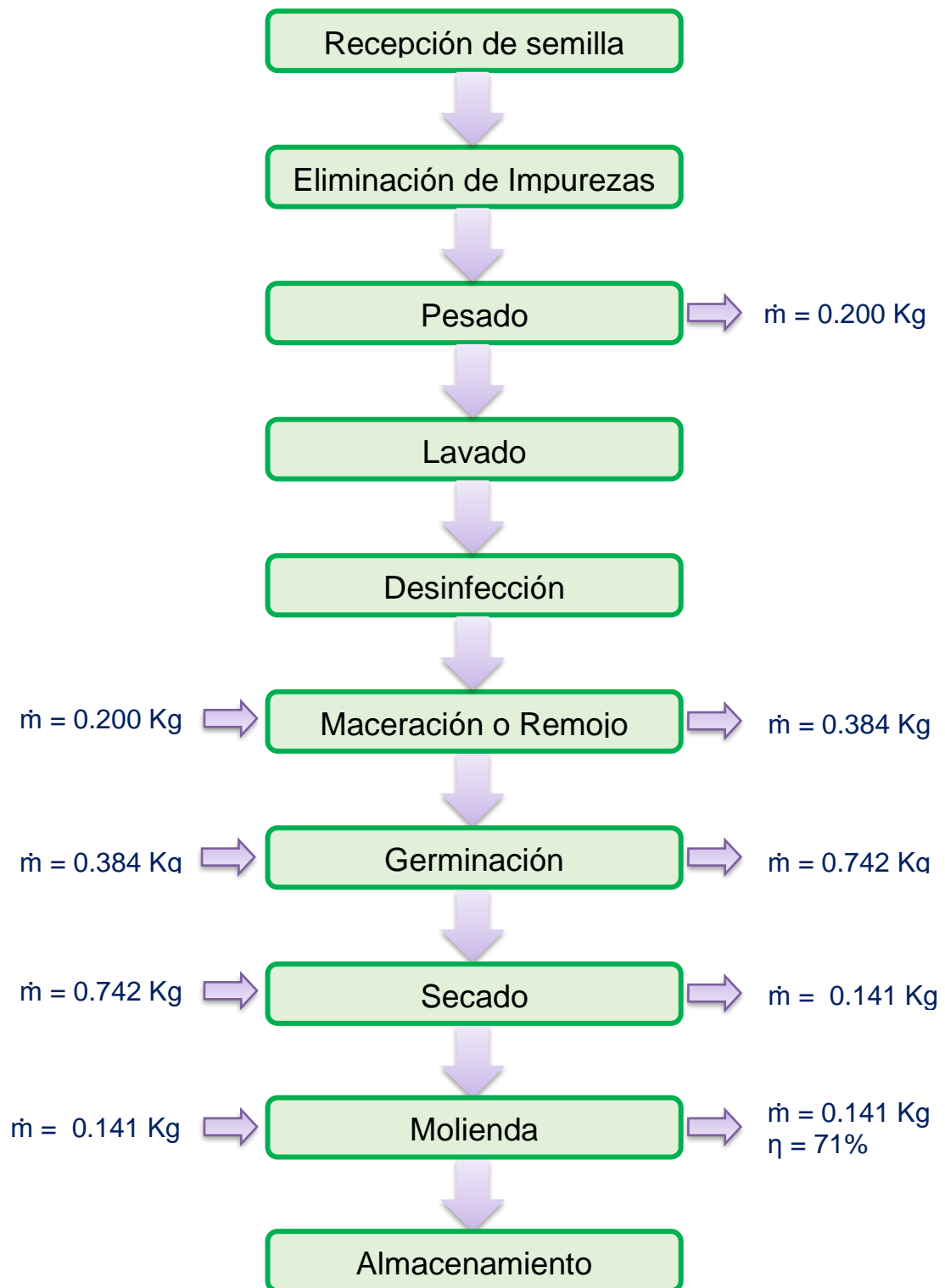


Figura 5: Balance de materia de elaboración de harinas de granos de cañihua germinados (*Chenopodium pallidicaule*).

4.2. CARACTERIZACIÓN Y COMPARACIÓN DEL PERFIL NUTRICIONAL, ANTINUTRIENTES (ÁCIDO FÍTICO), COMPUESTOS BIOACTIVOS (COMPUESTOS FENÓLICOS Y GABA) Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE PRESENTE EN LAS HARINAS DE GRANOS GERMINADOS DE KIWICHA (*Amaranthus caudatus*) Y CAÑIHUA (*Chenopodium pallidicaule*) CON HARINAS DE ESTOS GRANOS SIN GERMINAR

Efecto de la germinación sobre la composición proximal en harina de granos de kiwicha y cañihua.

A continuación, se presenta el resultado de la composición proximal de las harinas de kiwicha y cañihua.

Cuadro 8: Análisis proximal de las harinas a partir de granos andinos germinados y sin germinar.

Análisis Proximal*	Harina Kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i> var. Centenario) (g/100 g)		Harina Cañihua (<i>Amaranthus pallidicaule</i> var. Illpa) (g/100 g)	
	SG	G	SG	G
Humedad	5,79% ± 0,30 ^a	4,22 ± 0,17 ^b	10,01% ± 0,15 ^a	5,50 ± 0,15 ^b
Grasa	5,10% ± 0,08 ^a	5,86 ± 0,38 ^b	6,18% ± 0,04 ^a	6,23 ± 0,25 ^a
Ceniza	2,66% ± 0,19 ^a	2,85 ± 0,08 ^a	2,76% ± 0,13 ^a	2,68 ± 0,05 ^a
Proteína	16,05% ± 0,14 ^a	15,38 ± 0,11 ^b	20,61% ± 0,26 ^a	19,11 ± 0,27 ^b

Fuente: Statgraphics centurion – Anexo 3

(SG) Sin Germinar

(G) Germinado

(*) Valores promedio de tres repeticiones y redondeados a dos decimales

Con respecto a la humedad, proteínas y grasas expresadas en gramos, por 100 g de muestra, se observa que existen diferencias significativas entre las muestras germinadas y sin germinar, no sucediendo con el porcentaje de ceniza. La germinación no propició un incremento en el porcentaje de proteínas de las harinas de granos andinos germinados, se evidenció una disminución del 3,28%, 0,67% y 1,50% respecto de las harinas no germinadas. En la investigación realizada por Guardianelli, Salinas y Puppo (2019); con respecto a la harina de granos de cañihua no germinados, presentaron 12,8% de contenido de proteínas, 6,3% de lípidos,

2,41% de ceniza y 11,1% de humedad; valores semejantes hallados en la presente investigación, excepto en los valores de proteína existiendo una diferencia de 7.81% en su contenido. Así mismo, según Guardianelli *et al.* (2019), la harina de semillas de cañihua germinadas durante 18h a 30°C presentó 14,6% de proteína, 5,4% de lípidos, 2,76% de ceniza y 8,8% de humedad, encontrándose variación respecto a los resultados presentados en esta investigación, posiblemente por la diferencia en la procedencia del grano. Esto es consistente con la literatura que destaca, que la composición de granos y harinas está fuertemente influenciada por la variedad del grano, prácticas agronómicas y condiciones ambientales (Migliorini *et al.* 2016).

Por otro lado, para el caso de las cenizas de las harinas de granos de kiwicha y cañihua germinados y sin germinar el ANOVA (Anexo 3), muestra un valor-P mayor que 0.05, lo que significa que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del contenido de ceniza de las muestras, con un nivel del 95.0% de confianza. Estos resultados coinciden con los resultados de Colmenares (2015), quien indica que el amaranto al ser germinado a diferentes tiempos (0, 24, 48 y 72h) no presenta cambios en el contenido de cenizas. Sin embargo, Chahuan *et al.* (2015), obtuvo como resultado un incremento de 2.91 a 3.4g/100g de cenizas entre un grano sin germinar y germinado de amaranto. En relación a ello, Luna (2015), evaluó la influencia del tiempo de germinación en el contenido de cenizas en dos accesiones de cañihua, la PIK 030413 y la PIK 030133, encontrando en la accesión PIK 030413, un incremento en el rango de 2.79 a 3.12% donde se observa un aumento, en comparación al grano sin procesar (2.71%) y en la accesión PIK 030413 de 2.43 a 2.54% que es una disminución respecto al grano sin germinar que fue de 2.96%. Esta diferencia es debido al tipo, variedad o ecotipo del grano.

Además de ello, respecto a la grasa de los granos de kiwicha germinados y sin germinar el ANOVA (Anexo 3), muestra un valor-P menor que 0.05, lo que significa que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del contenido de grasa de las muestras, con un nivel del 95.0% de confianza. El ANOVA (Anexo 3) muestra un valor-P mayor que 0.05, lo que significa que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del contenido de grasa del grano de cañihua germinado y sin germinar, con un nivel del 95.0% de confianza. Luna

(2015), evaluó la variación del contenido de grasa en función del tiempo de germinación para dos accesiones de cañihua, la PIK 030413 y la PIK 030133; para la accesión PIK 030413, la grasa presenta valores, en el rango de 5.48 a 7.33% observándose una reducción inicial y posterior incremento, igualando a lo obtenido del grano sin procesar (7.33%), es decir no presenta diferencia significativa entre granos sin germinar y germinados durante 96 h. Estos resultados coinciden con los hallados en esta investigación. Sin embargo, Luna (2015) reportó que para la accesión PIK 030133 (cañihua), la grasa presenta un incremento significativo, conforme se va incrementando el tiempo de germinación de los granos siendo estos resultados semejantes a los reportados por Castillo (2010). Esta diferencia es debida, posiblemente al tipo, variedad o ecotipo del grano.

Con respecto a la proteína de los granos de kiwicha germinados y sin germinar el ANOVA (Anexo 3), muestra un valor-P menor que 0.05; lo que significa que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del contenido de proteínas de las muestras, con un nivel del 95.0% de confianza. En el caso del grano de cañihua germinado y sin germinar el ANOVA (Anexo 3), muestra un valor-P menor que 0.05, lo que significa que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del contenido de proteína de las muestras, con un nivel del 95.0% de confianza. De forma similar, Colmenares (2015) no observó ningún efecto del tiempo de germinación (0, 24, 48 y 72 h) en el contenido de proteínas de granos de cañihua. Sin embargo, Luna (2015), evaluó también los cambios en el contenido de proteína en granos de cañihua para diferentes tiempos de germinación (0, 72, 96h) en dos accesiones, la PIK 030413 y PIK 030133, presentando de manera general un incremento en el contenido de proteínas que fue más evidente a mayor tiempo de germinación. Así mismo, Chahuan *et al.* (2015) también reportó e un ligero incremento del contenido de proteína de 15.05 a 16.5 g/100g en amaranto.

Efecto de la germinación sobre el contenido de compuestos fenólicos en harina de granos de kiwicha y cañihua.

El contenido de compuestos fenólicos en la harina de granos de cañihua (*Amaranthus pallidicaule* var. *Illpa*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. *Centenario*) (g/100 g) varió entre 49,27 y 87,74 mg equivalentes de ácido gálico (GAE) /100 g, siendo el grano de cañihua el más rico en compuestos fenólicos solubles (Cuadro 9). La germinación aumentó significativamente el contenido de compuestos fenólicos solubles en ambos granos (54% en cañihua y 127% en kiwicha) ($p < 0,05$). El germinado de cañihua destacó por su contenido superior en compuestos fenólicos solubles (134,06 mg GAE/100 g).

Cuadro 9: Contenido de compuestos fenólicos solubles en harina de granos andinos (kiwicha y cañihua) germinados y sin germinar.

Harina	Grano	Compuestos fenólicos solubles (mg GAE/100 g p.s.)*
Harina Sin Germinar	Kiwicha	49,27 ± 1,44 a
	Cañihua	87,74 ± 1,80 b
Harina Germinada	Kiwicha	112,89 ± 3,92 c
	Cañihua	134,06 ± 4,85 d

(*) Los datos representan el valor medio ± desviación estándar de tres replicas, así mismo, letras diferentes en los valores de la misma columna, indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), ANEXO 4).

El incremento notable del contenido fenólico en los granos de kiwicha germinada, está relacionado directamente con la inducción de enzimas implicadas en la vía fenilpropanoide y en la degradación de los polisacáridos y proteínas de la pared celular que provocan la liberación de fenoles unidos (He, Han, Yao, Shen y Yang, 2011). En relación a ello, Paucar-Menacho (2017), reportó que el tiempo y temperatura de germinación influyen de manera positiva en el contenido de compuestos fenólicos, siendo las condiciones de germinación 26 °C y 63 h (385,4 mg GAE / 100 g) las óptimas para la liberación de estos compuestos en los granos de kiwicha. Este resultado es mayor al reportado en la presente investigación,

posiblemente a una menor degradación de los polisacáridos y proteínas de la pared celular disminuyendo de esta forma la liberación de los compuestos fenólicos. El efecto positivo del tiempo de germinación y la temperatura sobre los compuestos fenólicos de los brotes de kiwicha estuvo de acuerdo con Perales-Sanchez *et al.* (2014), quienes encontraron que el contenido de fenólicos libres, ligados y totales, aumenta con la temperatura y el tiempo hasta 30 °C y 70 – 80 h.

Con respecto a la cañihua, Luna (2015), evaluó valores de fenoles totales en dos accesiones de cañihua la PIK 030413 y PIK 030133, encontrando un contenido de fenoles totales en las muestras de 70.18 y 63.25 mg GAE/100 g de materia seca respectivamente; siendo valores un tanto diferentes a los reportados en la presente investigación, posiblemente a la diferencia de variedad de los granos de cañihua. En este sentido, para los granos de cañihua germinados Luna (2015), evaluó diferentes tiempos de germinación, encontrando que para la accesión PIK 030413, el tiempo de 72 h generó un mayor incremento de los niveles de fenoles totales (95.29 mg. GAE/100 g de materia seca) y con respecto a la accesión PIK 030413, presentó también un mayor incremento a las 72 h de germinación (78.53 mg GAE/100 g de materia seca). Estos resultados indican un incremento significativo de los compuestos fenólicos al igual que los resultados reportados en la presente investigación, todo ello, debido a la activación de los sistemas enzimáticos durante el proceso de germinación que liberan los compuestos fenólicos unidos a la fibra y proteínas del grano (Dueñas *et al.*, 2009). Abderrahim *et al.* (2012), encontró el mismo comportamiento describiendo un incremento de compuestos fenólicos en el grano de cañihua después de la germinación. Por este motivo, estos granos serían un ingrediente muy importante para la elaboración de alimentos con un mayor contenido de compuestos con multitud de actividades biológicas incluyendo su actividad antioxidante, antiinflamatoria y vasodilatadora, entre otras (añadir cita de efectos biológicos de compuestos fenólicos).

Efecto de la germinación sobre el contenido de GABA en harina de granos kiwicha y cañihua.

La harina de granos de kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. Centenario) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule* var. Illpa) (g/100 g), tiene un contenido similar de GABA

(37,4 y 24,3 mg/100 g, respectivamente) (Cuadro 10). Después de la germinación se observó un notable aumento de este compuesto en ambos granos estudiados (167% en la kiwicha y 793% en la cañihua).

Cuadro 10: Contenido de GABA en harina de granos andinos (kiwicha y cañihua) germinados y sin germinar.

Harina	Grano	GABA (mg/100 g p.s.)*
Harina Sin Germinar	Kiwicha	37,38 ± 1,58 a
	Cañihua	24,34 ± 4,83 a
Harina Germinada	Kiwicha	100,00 ± 22,45 b
	Cañihua	217,98 ± 1,48 c

(*) Los datos representan el valor medio ± desviación estándar de tres replicas, así mismo, letras diferentes en los valores de la misma columna, indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), ANEXO 5.

Evidencias científicas demuestran que el incremento notable del contenido de GABA en los granos germinados inicia en el proceso de remojo y continúa durante la germinación, debido al aumento de la actividad del glutamato descarboxilasa (GAD), enzima involucrada en la síntesis de GABA (Scott-Taggart, Van Cauwenberghe, McLean y Shelp, 1999). Paucar-Menacho et al. (2017) reportó que el tiempo y temperatura de germinación influye en el contenido de GABA del grano de kiwicha germinada, encontrándose un mayor contenido cuando la germinación transcurria a 26°C durante 63 h (75,7 mg / 100 g ps) y a 28°C durante 42 h (74,4 mg / 100 g). Así mismo, Cáceres *et al.* (2014), obtuvo un contenido de GABA similar, en brotes de arroz integral germinado en condiciones óptimas (70.8 y 83.1 mg / 100 g). Sin embargo, el contenido de GABA reportado en estas investigaciones, es menor al encontrado en los granos de kiwicha y cañihua probablemente debido a una menor actividad enzimática de la GAD durante la germinación.

Además, Paucar-Menacho *et al.* (2018), evaluó la concentración de GABA en granos de quinua, donde se muestra una concentración de GABA de 22,41 mg / 100 g de peso seco. Este contenido aumentó notablemente durante la germinación hasta niveles que variaron de 17,97 a 122,32 mg por 100 g ps, dependiendo de las

condiciones de germinación. Este estudio también resalta que las condiciones que maximizaron el contenido de GABA en los brotes de quinua fueron 63 h a 26 °C. El GABA se sintetiza principalmente a partir del ácido glutámico por el glutamato descarboxilasa (GAD), pero también puede formarse a partir de poliaminas a través del compuesto intermediario c-aminobutiraldehído, siendo la diamino oxidasa (DAO) y el amino aldehído deshidrogenasa (AMADH) las enzimas involucradas en el proceso. Por tal motivo, varios estudios han demostrado que la actividad de GAD y DAO aumentan significativamente durante la germinación en cereales y leguminosas (Xu *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2011; Xu & Hu, 2014; Gan *et al.*, 2017), lo que podría explicar la acumulación de GABA en los brotes de cañihua y kiwicha.

Efecto de la germinación sobre la capacidad antioxidante en harina de granos de kiwicha y cañihua.

La capacidad antioxidante de la harina de granos sin germinar varió entre un 274.5 y 1193.8 mg TE/100 g p.s., siendo la harina de cañihua la que presenta mayor actividad antioxidante, La cañihua tiene casi 4 veces más actividad antioxidante que la kiwicha. El proceso de germinación aumentó significativamente, la actividad antioxidante de los granos de cañihua y kiwicha en un 157.2% y 163.5%, respectivamente. Los granos andinos germinados de cañihua presentaron la mayor actividad antioxidante (1876,4 mg TE/100 g p.s.).

Cuadro 11: Capacidad antioxidante en harina de granos andinos (kiwicha y cañihua) germinados y sin germinar.

Harina	Grano	Actividad antioxidante (mg TE/100 g p.s.) *
Harina Sin Germinar	Kiwicha	274,53±82,33 a
	Cañihua	1193,84±71,82 b
Harina Germinada	Kiwicha	448,84±36,98 c
	Cañihua	1876,44±51,55 d

(*) Los datos representan el valor medio ± desviación estándar de tres replicas, así mismo, letras diferentes en los valores de la misma columna, indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), ANEXO 6.

El incremento significativo de la capacidad antioxidante en los granos de kiwicha germinada, podría atribuirse a la liberación de fenólicos unidos y la biosíntesis de antioxidantes, para mantener un equilibrio, en la homeostasis redox durante la germinación (He *et al.* 2011). Por ejemplo, se ha informado que la biosíntesis de vitamina C, ocurre durante la brotación del trigo, la quinua y el trigo sarraceno (Lintschinger *et al.* 1997). Los compuestos fenólicos se correlacionaron positivamente con ORAC ($r = 0,894$, $P < 0,05$), lo que apoya esta hipótesis, es por ello que, varios estudios han demostrado que los compuestos fenólicos pueden proteger del estrés oxidativo actuando como captadores de radicales, mediante la donación de hidrógeno y electrones o activando el sistema de defensa antioxidante mediante la regulación positiva de la expresión de enzimas antioxidantes (Martins *et al.*, 2016). En relación a ello, Paucar-Menacho *et al.* (2017), reportó que la actividad antioxidante se vio afectada positivamente por el tiempo de germinación y la temperatura, siendo la influencia de la temperatura mayor a la del tiempo; por ello, los valores de ORAC variaron de 369.46 a 2525.58 mg TE / 100 g en los brotes de kiwicha, dependiendo de las condiciones de germinación. Además, se ha reportado un aumento de la actividad antioxidante con mayor temperatura y tiempo de germinación en otras especies de amaranto (Pasko *et al.* 2009; Perales-Sanchez *et al.* 2014) y arroz integral (Cáceres *et al.* 2014). Siendo, los resultados de estos trabajos, los que presentaron una mayor capacidad antioxidante, en comparación con la capacidad antioxidante de la harina de kiwicha, esto debido, a que algunos compuestos antioxidantes (como, por ejemplo, la Vitamina C), son sensibles a las altas temperaturas, ya que para la producción de harina se llevó a cabo una operación de secado a 40°C por 30 h.

Por otro lado, respecto a la cañihua, Luna (2015), evaluó la variación de la capacidad antioxidante de dos accesiones, la PIK 030413 y PIK 030133, encontrándose un incremento significativo en ambas accesiones (Luna, 2015). Este incremento de la actividad antioxidante en granos de cañihua germinados, también es notorio en la presente investigación. Además, se tienen otros resultados similares, obtenidos por Abderrahim *et al.* (2012), quien reportó un incremento de la capacidad antioxidante de los granos de cañihua a las 48 h y 72 h de germinación, respecto a su contenido inicial. Sharma y Singh (2010) obtuvo un incremento en la capacidad antioxidante de cebada a las 12 y 24 h de germinación.

Por otro lado, Pasko *et al.* (2009), evaluó la germinación de amaranto y quinua, obteniendo mejores resultados de incremento de la capacidad antioxidante en el cuarto y sexto día. Así mismo, Tian *et al.* (2010), evaluó el tiempo de germinación en avena de 24 a 144 horas observándose un aumento progresivo de la capacidad antioxidante de hasta 4 veces en función del tiempo. Este aumento de la capacidad antioxidante fue atribuido a la mejor capacidad de extracción de los compuestos fenólicos. Además, se sabe que la germinación de cereales y pseudocereales podría regular las vías relacionadas con la biosíntesis de compuestos antioxidantes (Wu *et al.* 2011).

Efecto de la germinación sobre la cantidad de ácido fítico en harina de granos de kiwicha y cañihua.

La cantidad de ácido fítico de la harina de kiwicha germinada y sin germinar no presentaron diferencia significativa, con respecto a la harina de cañihua germinada y sin germinar presentaron diferencia estadística significativa (ANEXO 7) siendo el contenido de la harina de cañihua sin germinar mayor en un 1.33 veces que la harina de cañihua germinada. De esta manera podemos indicar que la germinación de la cañihua influye en la disminución del contenido de ácido fítico.

Cuadro 12: Cantidad de ácido fítico en harina de granos andinos (kiwicha y cañihua) germinados y sin germinar.

Harina	Grano	Ácido fítico (g/100g) *
Harina Sin Germinar	Kiwicha	1,234±0,022 b
	Cañihua	1,174±0,024 b
Harina Germinada	Kiwicha	1,240±0,019 b
	Cañihua	0,881±0,015 a

(*) Los datos representan el valor medio ± desviación estándar de dos replicas, así mismo, letras diferentes en los valores de la misma columna, indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), ANEXO 7.

Stern (2021), estudio el impacto de la germinación del trigo orgánico sobre el contenido de ácido fítico, encontrando cambios insignificantes en su concentración,

concluyendo que la germinación tal como se realiza podría no mejorar la bioaccesibilidad de los micronutrientes; estos resultados fueron similares al encontrado en la harina de kiwicha reportado en esta investigación. Bhinder (2021) evaluó el impacto de la germinación en compuestos antinutricionales en quinua, entre ellos el ácido fítico, demostrando que el aumento del tiempo de germinación provocó la disminución de dicho compuesto; este resultado es similar al presentado en esta investigación en lo referente a la harina de cañihua germinada.

4.3. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE HARINAS DE GRANOS GERMINADOS DE KIWICHA (*Amaranthus caudatus*) Y CAÑIHUA (*Chenopodium pallidicaule*) EN LAS CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DE LAS MASAS PARA ELABORAR PAN DE MOLDE Y GALLETAS.

Para la elaboración de pan de molde es generalmente común utilizar harina de trigo, sin embargo, es posible sustituir parcialmente este insumo por harinas de otras materias primas, con el efecto de aportar componentes nutritivos y saludables (compuestos bioactivos y capacidad antioxidante); como es el caso de la sustitución parcial por harina de grano germinado (de kiwicha y cañihua). Es necesario que para la sustitución parcial de la harina de trigo se realice una evaluación de las propiedades reológicas de la masa (tiempo de desarrollo, tiempo de estabilidad, resistencia a la extensión, temperatura de gelatinización y máxima gelatinización, entre otras propiedades), de tal forma que se garantice la calidad de los parámetros tecnológicos y sensorial del producto de panificación (panes de molde). Para que, de esta forma, sea posible obtener un pan de molde con mayor calidad nutricional y propiedades tecnofuncionales aceptables.

En la presente investigación, se realizaron los análisis reológicos de las diferentes mezclas de harina de trigo, harina de kiwicha germinada y harina de cañihua germinada. Los análisis fueron farinográficos (A: absorción de agua (%), DT: tiempo de desarrollo (min), S: estabilidad (min) y C: consistencia en unidades farinograficas (FE)); extensografía (RE: resistencia a la extensión (unidades brabender, UB) y E: extensibilidad (mm)) y amilográfico (GT:

temperatura de gelatinización (°C) y GM: máxima gelatinización (unidades amilograficas (AU)). En el Cuadro 12, se presenta los resultados obtenidos para las 14 formulaciones realizadas según el Diseño Simplex con Centroide.

Cuadro 13: Matriz de Resultados de los parámetros reológicos de las masas formuladas con Harina de trigo (WF), Harina de kiwicha germinada (GKF) y Harina cañihua germinada (GCF).

	Formulación de la masa			Parámetros Reológicos							
	GKF (%)	GCF (%)	WF (%)	AA (%)	DT (min)	S (min)	C (FE)	GT (°C)	GM (AU)	RE (BU)	E (mm)
F1	8	8	83	62.6	3.55	4.02	764	81.5	252	1014	82
F2	15	5	80	62.8	3.27	3.83	771	76.1	230	837	95
F3	10	10	80	62.7	3.67	3.8	769	80.9	284	856	72
F4	5	15	80	62.6	2.67	3.55	762	79.8	294	1040	73
F5	5	15	80	61.8	3.02	3.7	779	83.6	360	918	69
F6	5	10	85	61.1	3.55	4.17	732	82.6	350	1086	89
F7	7	12	82	62.7	3.27	3.85	789	80	284	1096	77
F8	5	5	90	63	4.3	5.2	705	84.5	464	1388	80
F9	15	5	80	62.6	3.33	3.88	809	82.9	286	723	72
F10	10	5	85	62.3	3.87	4.63	812	85.6	471	949	75
F11	7	7	87	63.8	3.65	4.35	769	77.5	282	1014	82
F12	5	10	85	63.7	3.57	4.38	782	84.5	417	1110	76
F13	12	7	82	63	3.6	3.58	758	77.4	241	729	77
F14	5	5	90	63.2	3.98	4.67	751	80.4	353	1095	80

AA: Absorción de Agua, DT: Tiempo de Desarrollo, S: Estabilidad, C: Consistencia, GT: Temperatura de Gelatinización, GM: Máxima Gelatinización, RE: Resistencia a la extensión, E: Extensibilidad, FE: Unidades Farinograficas, AU: Unidades Amilograficas, BU: Unidades Brabender

Respecto a la AA de la masa, el análisis de varianza (Anexo 8 – Cuadro 8A), de los modelos de regresión lineal, cuadrático, cubico especial y cúbico, que explican el comportamiento AA, en base a los porcentajes de GKF, GCF y WF, tienen valores $p = 0.4086, 0.9388, 0.5440,$ y $0.7876,$ respectivamente. Así mismo, se eligió el modelo lineal por tener el efecto estadístico significativo más próximo al valor del nivel de confianza del 95% ($p = 0.05$), respecto a los parámetros lineales individuales, estadísticamente significativos (Anexo 8 – Cuadro 8B), donde el modelo es expresado de la siguiente manera:

$$AA = + 62.75 * GKF (\%) + 62.25 * GCF (\%) + 63.11 * WF (\%) + 0$$

En la Figura 6 y 7, se da el comportamiento, de la absorción de agua, según el porcentaje de harina de trigo y harina germinada de kiwicha y cañihua. Así mismo, en la Figura 8, se presenta el gráfico de Pareto, mostrando la significancia de los parámetros lineales sobre el modelo.

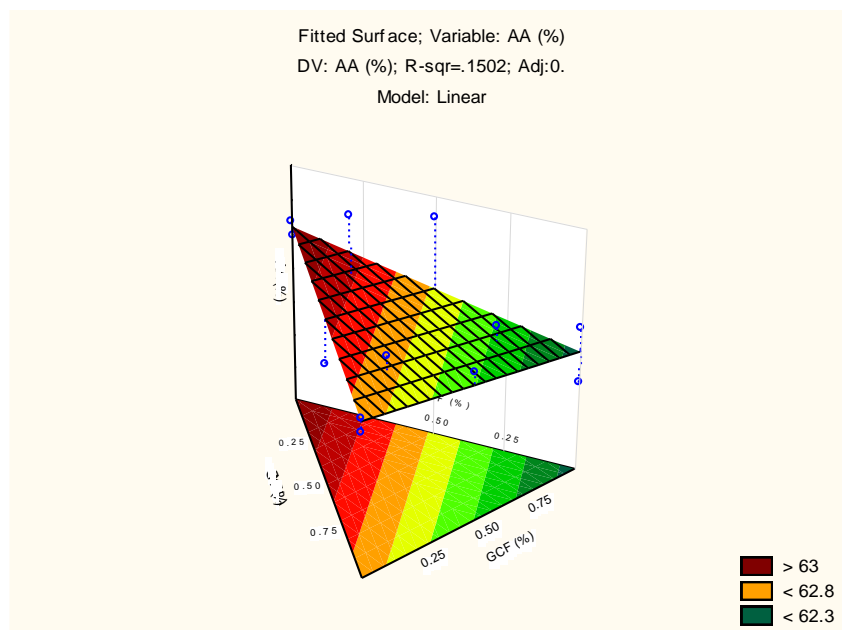


Figura 6: Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la Absorción de Agua de la masa.

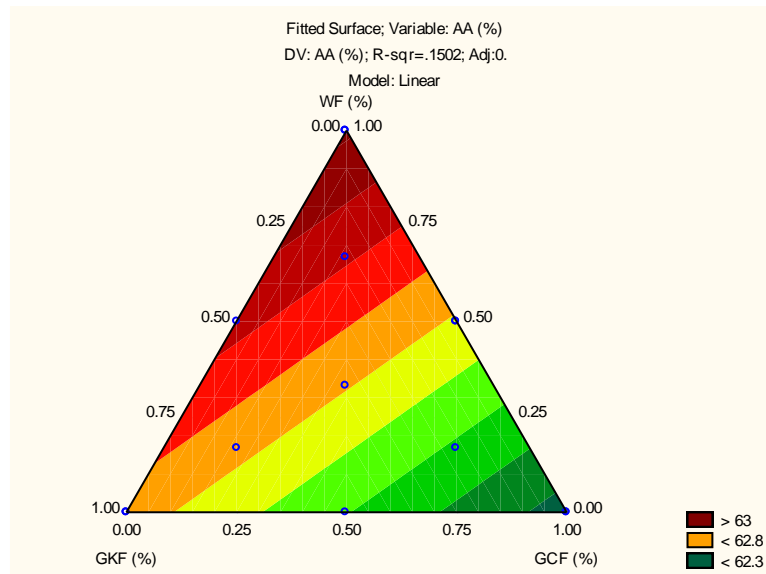


Figura 7: Gráfico contorno para la absorción de agua de la masa.

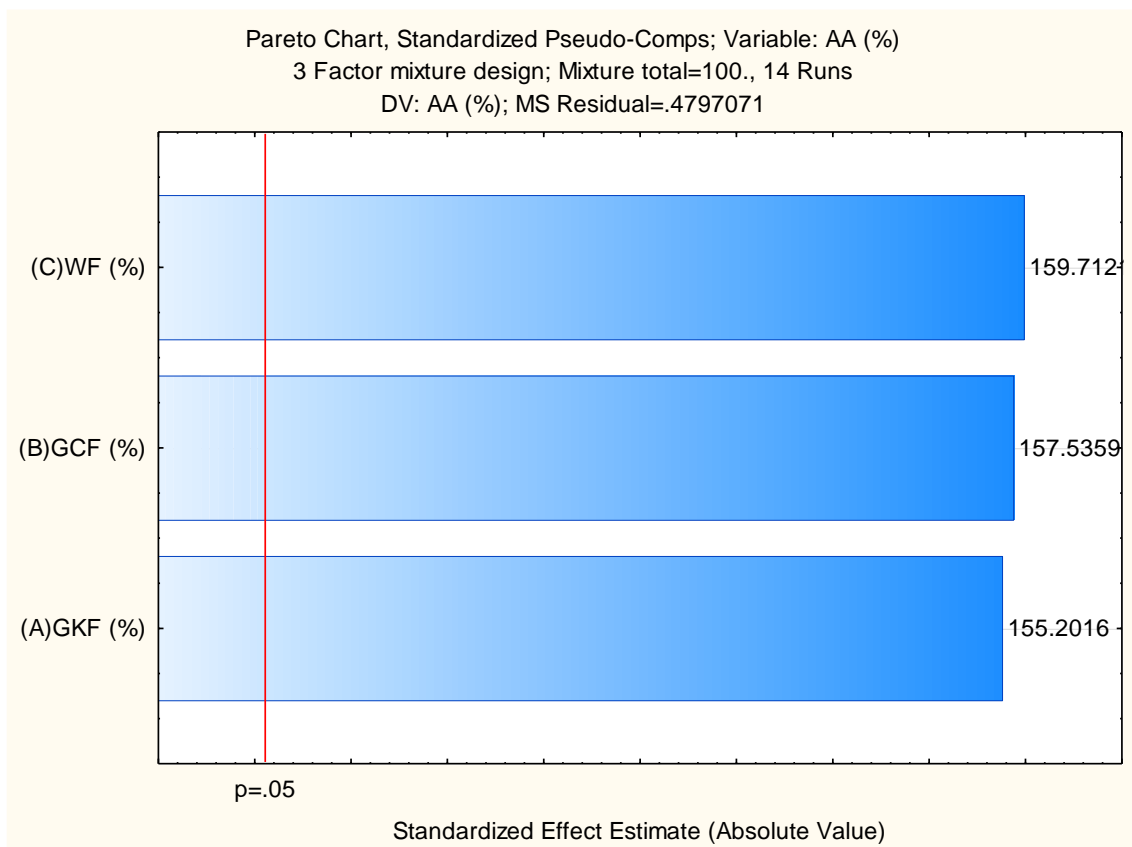


Figura 8: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para la absorción de agua de la masa.

En el gráfico de superficie de respuesta y de contorno (Figura 6 y 7), se refleja que al aumentar el porcentaje de harina de trigo y disminuir el porcentaje en harina de cañihua germinada, se incrementa la absorción de agua. Por el contrario, un incremento del contenido en harina de cañihua germinada reduce la capacidad de absorción de agua de la masa. La absorción de agua de las masas de las diferentes formulaciones vario ligeramente entre 61.1% y 63.8%. Estos valores coinciden con lo reportado por Sapirstein et al. (2018), para masas de harinas de trigo en las que la absorción de agua osciló entre 54% y 66%. Estos mismos investigadores correlacionaron de manera positiva la absorción de agua de la masa con el contenido de proteína y arabinosilano, el índice de tamaño de partícula y de manera negativa la degradación del almidón. De acuerdo con nuestros resultados, Henao y Aristizábal (2009) manifestaron que la absorción de agua se encuentra normalmente entre un 59% y 62%.

El análisis de la varianza (Anexo 8 – Cuadro 8C) de los modelos de regresión que explican el comportamiento del DT, en base a los porcentajes de harina de GKF, GCF y WF, indicó que los modelos de tipo lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico tienen valores $p = 0.0002, 0.0857, 0.1083, \text{ y } 0.7239$, y un $R = 0.79, 0.90, 0.93 \text{ y } 0.94$, respectivamente. Sólo el modelo lineal fue significativo con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$). Así mismo, los parámetros lineales individuales, resultaron estadísticamente significativos (Anexo 8 – Cuadro 8D). La ecuación del modelo de regresión lineal fue la siguiente:

$$\text{DT} = + 3.46 * \text{GKF (\%)} + 2.97* \text{GCF (\%)} + 4.12 * \text{WF (\%)} + 0$$

En la Figura 9 y 10 se presenta el comportamiento del DT debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua, y de harina de trigo. mientras que la Figura 11 muestra el gráfico de Pareto y la significancia de los parámetros lineales porcentaje de harina de trigo, porcentaje de harina de cañihua y kiwicha germinada sobre el DT de la masa.

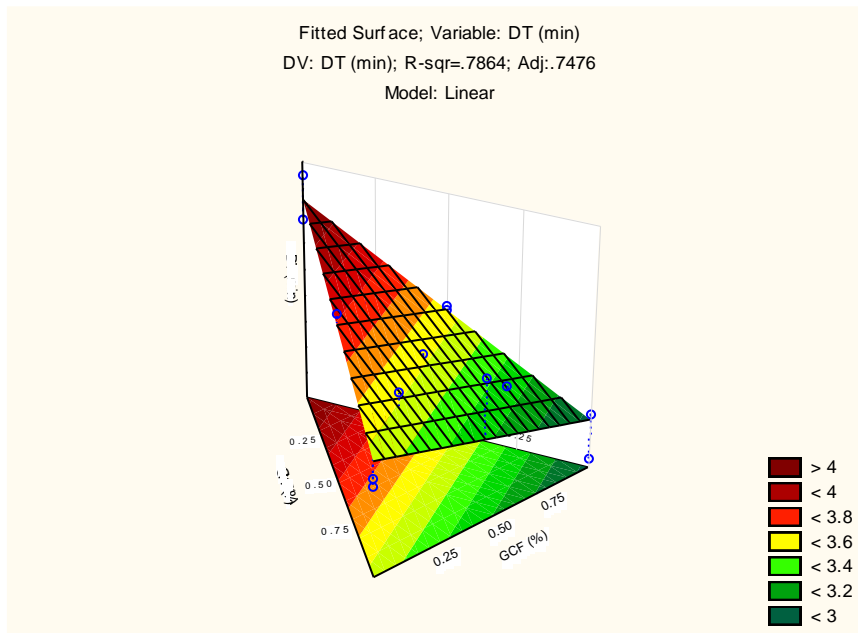


Figura 9: Gráfico de superficie de respuesta y contorno para el tiempo de desarrollo de la masa.

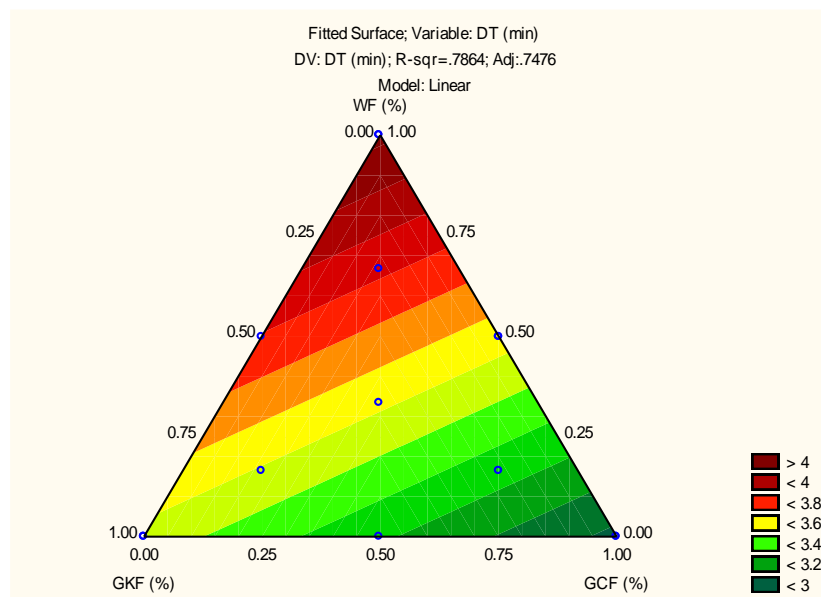


Figura 10: Gráfico contorno para el tiempo de desarrollo de la masa.

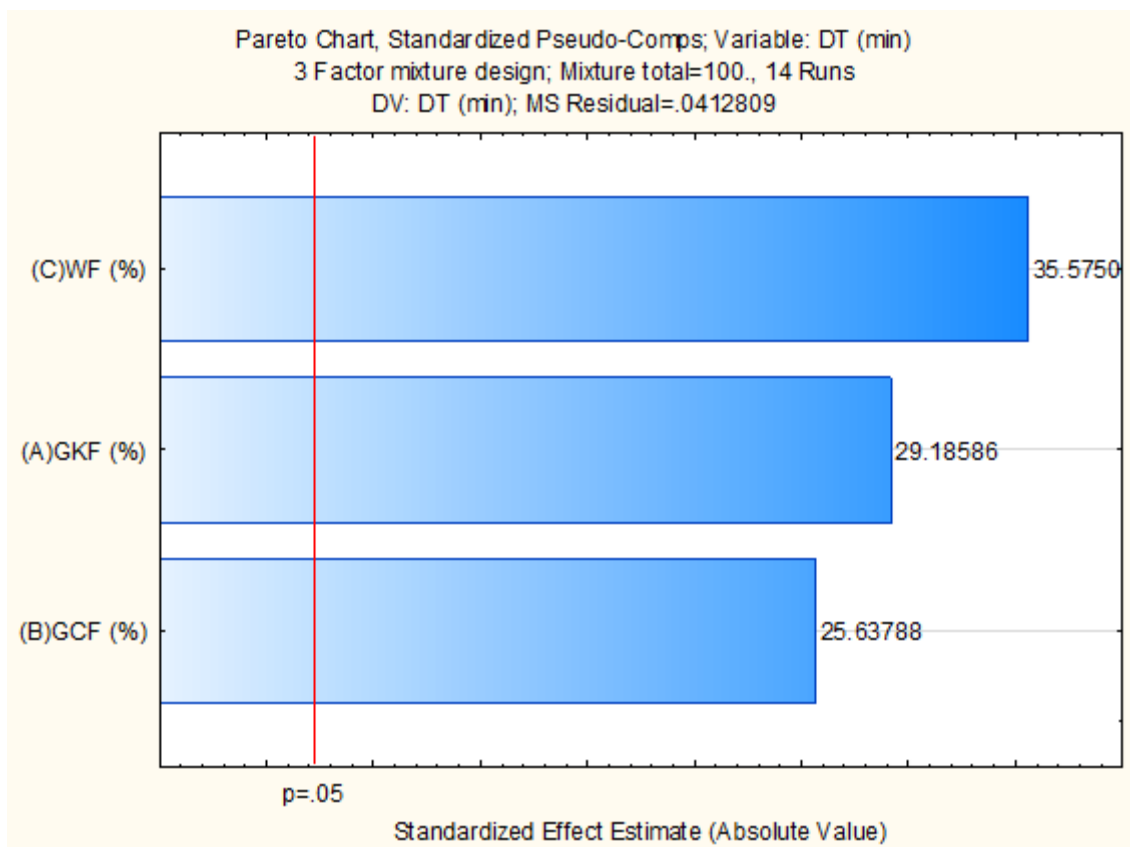


Figura 11: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para el tiempo de desarrollo de la masa.

En el gráfico de superficie de respuesta y de contorno (Figura 9 y 10), se puede notar que al aumentar el porcentaje de harina de trigo y disminuir el porcentaje en harina de cañihua y kiwicha germinada, se incrementa el DT de la masa. Por el contrario, un incremento sobre el contenido en harina de cañihua y kiwicha germinada, se ve reflejada en una disminución del DT de la masa. El tiempo de desarrollo de las 14 muestras analizadas oscila entre 2.67 y 4.3 min. Lescano (2010) observó un DT promedio de 4.5 min para masas de harina de trigo, un tiempo relativamente mayor, a las muestras analizadas. La sustitución parcial de la harina de trigo por harina de granos andinos germinados disminuye el porcentaje de gluten en la masa lo que puede explicar el menor DT observado en las masas de formulaciones con mayores niveles de sustitución de la harina de trigo. Por otro lado, en un estudio de Wang *et al.* (2017) se demostró que harinas de trigo con granulometría fina resultaron en un menor DT y mayor estabilidad lo que se asoció a la formación de una red de gluten más fuerte en la masa. Este

estudio puede explicar nuestros resultados acerca del menor tiempo de desarrollo de las muestras y posiblemente una red más fuerte de gluten.

El análisis de la varianza (Anexo 8 – Cuadro 8E) de los modelos de regresión que explican el comportamiento de la S en base a los porcentajes de GKF, GCF y WF, indicó que los modelos de tipo lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico, tienen valores $p = 0.00002, 0.9296, 0.1973,$ y 0.4281 y un R de $0.85, 0.86, 0.89$ y 0.92 respectivamente. El modelo elegido fue el lineal, por tener el efecto estadístico significativo con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$). Los parámetros lineales individuales resultaron estadísticamente significativos (Anexo 8 – Cuadro 8F), quedando el modelo expresado de la siguiente manera:

$$S = + 3.80 * \text{GKF} (\%) + 3.60 * \text{GCF} (\%) + 4.91 * \text{WF} (\%) + 0$$

En la Figura 12 y 13 se representa el comportamiento de la estabilidad en la masa en función del porcentaje de harina de trigo, kiwicha y cañihua germinada. En la Figura 14, se presenta el gráfico de Pareto, mostrando la significancia de los parámetros lineales sobre el modelo.

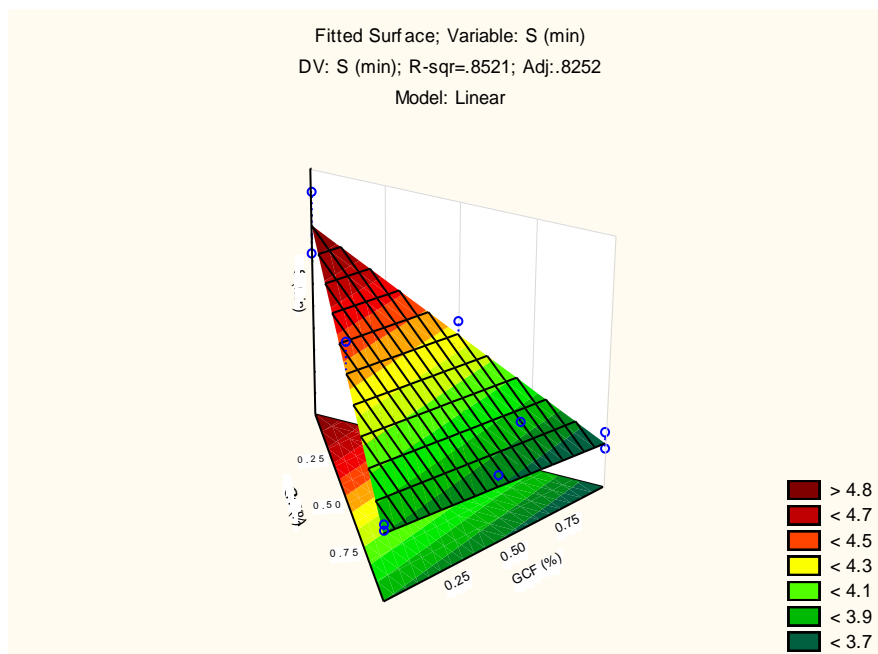


Figura 12: Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la estabilidad de la masa.

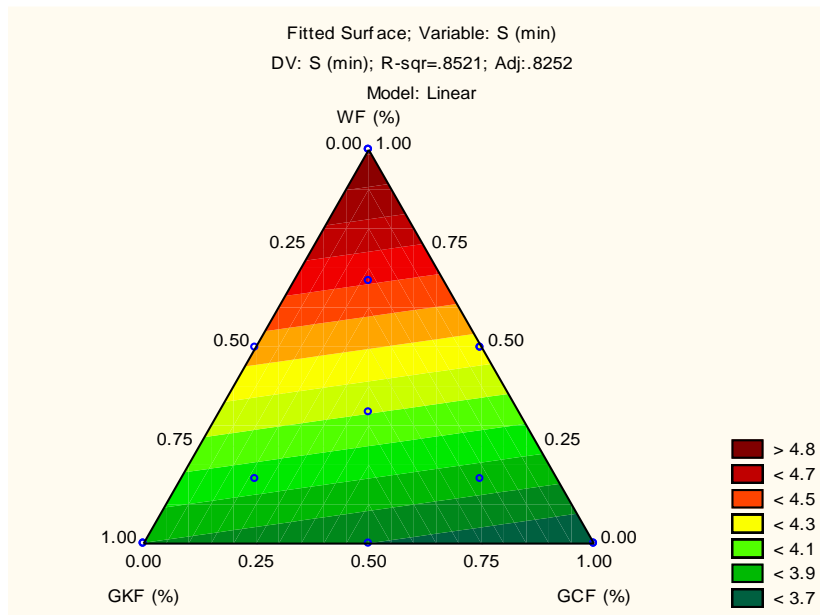


Figura 13: Gráfico contorno para la estabilidad de la masa.

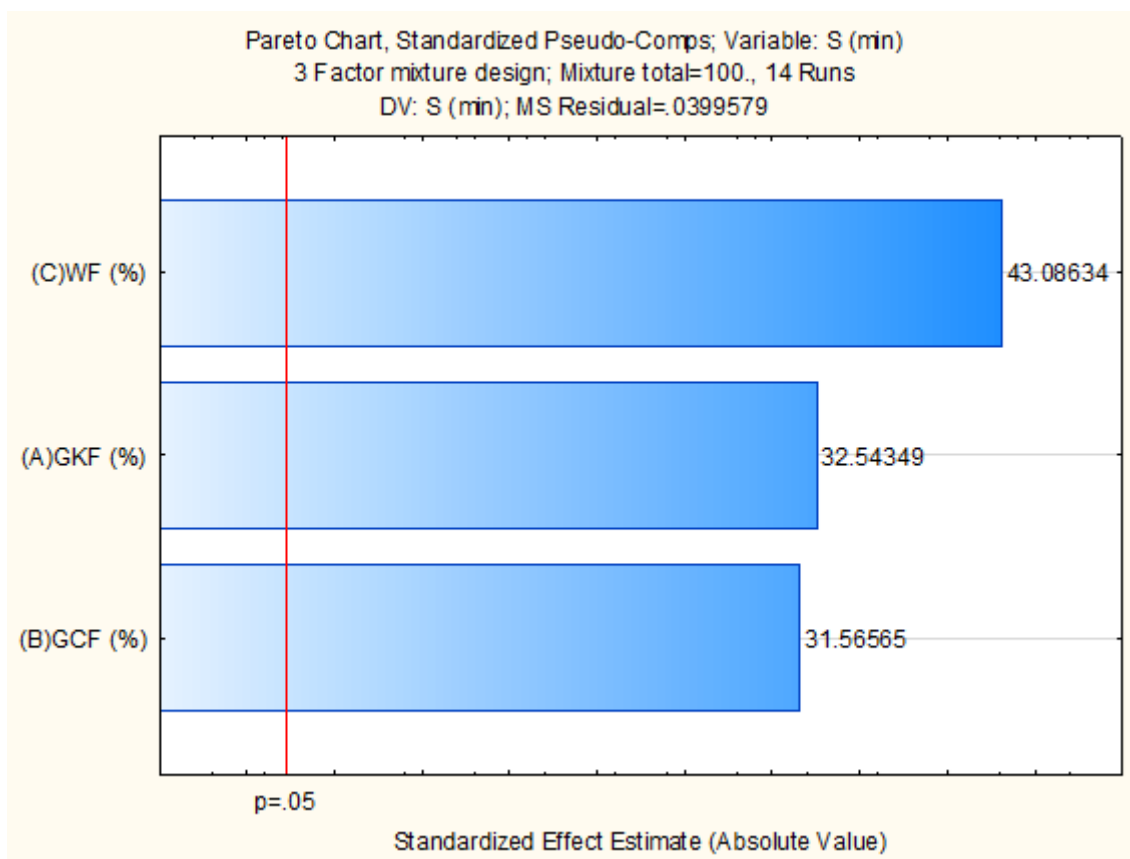


Figura 14: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para la estabilidad de la masa.

Al aumentar el porcentaje de harina de trigo y disminuir el porcentaje de harina cañihua y de kiwicha germinada, se incrementa la estabilidad de la masa (Figuras 12 y 13). Por el contrario, un incremento del contenido de harina de cañihua y kiwicha germinada se refleja en una disminución de la estabilidad de la masa. La estabilidad de las masas analizadas osciló entre 3.55 a 5.2 min, valores menores a los reportados para la harina de trigo (8.58 min) (Rodríguez-Sandoval et al. 2012). El bajo tiempo de estabilidad durante el periodo de mezcla es un indicativo de la debilidad estructural de la red de gluten en la masa (Park & Morita, 2005). De hecho, Morita *et al.* (2001), realizó una evaluación de la estabilidad de la harina de trigo, encontrando que la estabilidad de la masa en el farinógrafo decrece a medida que se aumenta la sustitución de la harina de quinua de 7,5 a 20%, resultados similares a los encontrados en nuestro estudio.

El análisis de la varianza (Anexo 8 – Cuadro 8G) de los modelos de regresión que explican el comportamiento de la C, en base a los porcentajes de harina de GKF, GCF y WF, indicó que los modelos de tipo lineal, cuadrático, cubico especial y cúbico tienen valores p = 0.0101, 0.9980, 0.4854, y 0.3168 y un R de 0.57, 0.57, 0.59 y 0.75 respectivamente. El modelo lineal fue elegido por tener el efecto estadístico significativo con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$). Los parámetros lineales individuales fueron estadísticamente significativos (Anexo 8 – Cuadro 8H) expresándose el modelo de la siguiente manera:

$$C = + 833.01 * \text{GKF (\%)} + 838.63 * \text{GCF (\%)} + 769.23 * \text{WF (\%)}$$

En el gráfico de superficie de respuesta y de contorno (Figura 15 y 16), se observa que el porcentaje de harinas germinadas de cañihua y kiwicha, afecta significativamente a la consistencia de la masa, siendo la influencia del porcentaje de harinas de granos germinados en la masa mayor que la de la harina de trigo (Figura 17). Así, al disminuir el porcentaje de harina de trigo y aumentar el porcentaje de harina de cañihua y kiwicha germinada se incrementa la consistencia de la masa. Por el contrario, una disminución del porcentaje de estas harinas reduce la consistencia en la masa.

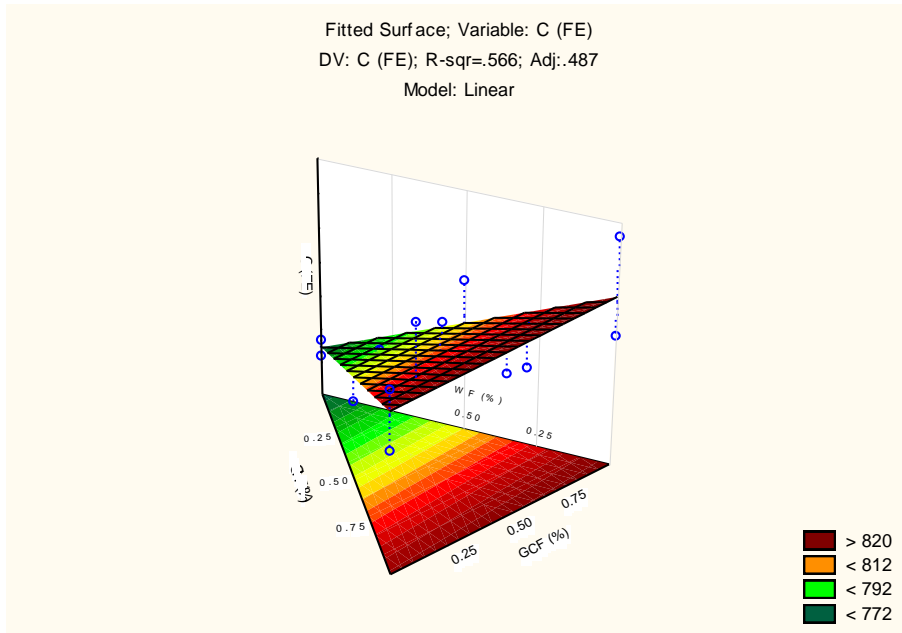


Figura 15: Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la consistencia de la masa.

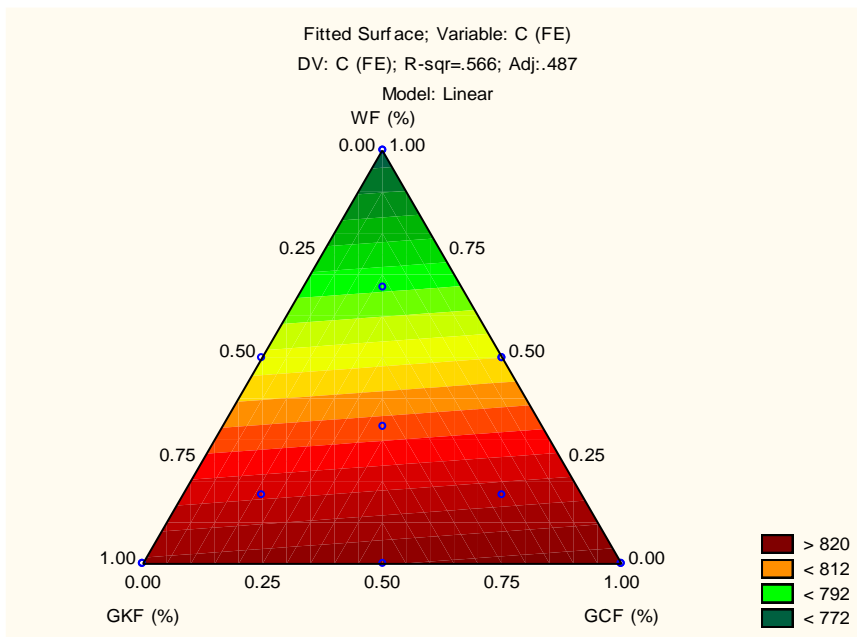


Figura 16: Gráfico Contorno para la consistencia de la masa.

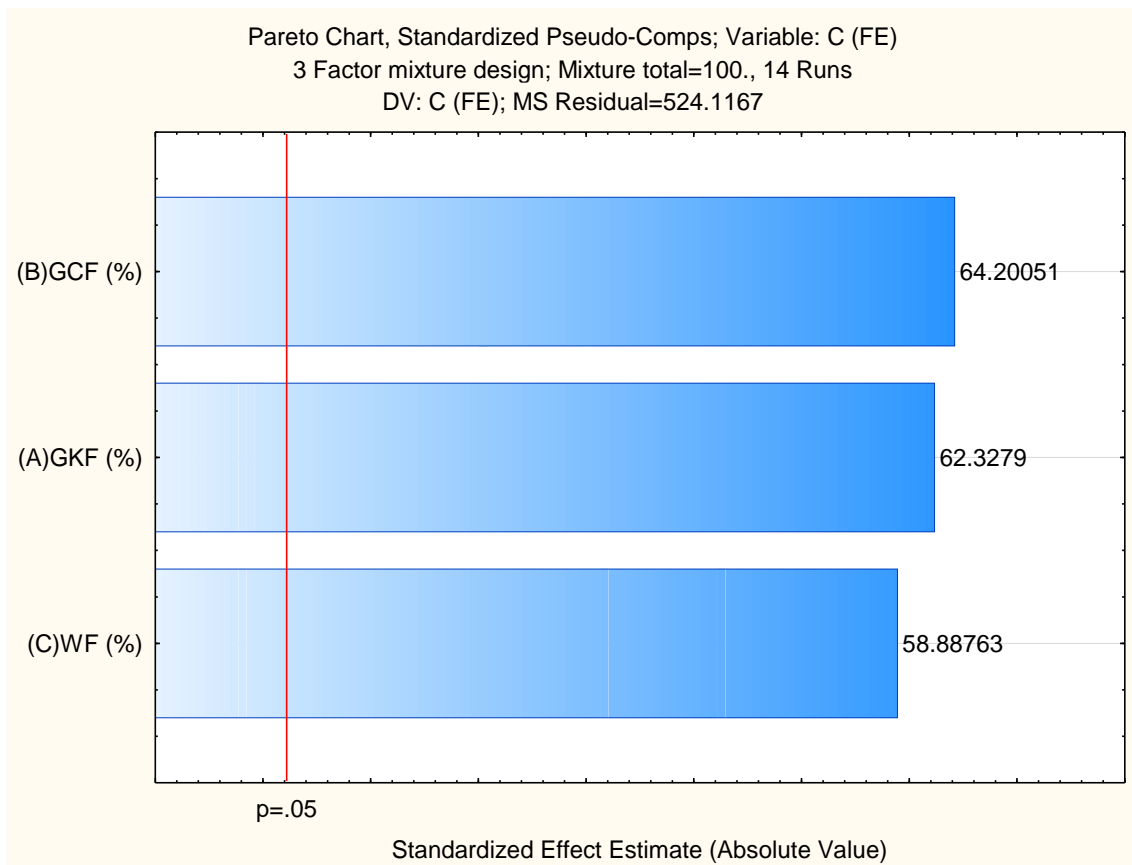


Figura 17: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para la consistencia de la masa.

El análisis de varianza (Anexo 8 – Cuadro 8I) de los modelos de regresión que explican el comportamiento de GT en base a los porcentajes de harina de GKF, GCF y WF, reportó que los modelos de tipo lineal, cuadrático, cubico especial y cúbico tienen valores de $p > 0.05$, lo que indica que los modelos no son estadísticamente significativos, dichos modelos presentan un R de 0.18, 0.40, 0.43 y 0.43 respectivamente, siendo valores relativamente bajos, sin embargo, el modelo seleccionado para analizar los resultados de la extensibilidad (GT), es el cubico especial fue elegido por tener el efecto estadístico significativo más próximo al valor del nivel de confianza del 95% ($p = 0.05$). Los términos lineales, cuadráticos y cúbicos del modelo no fueron estadísticamente significativos (Anexo 8 – Cuadro 8J) quedando la ecuación expresada de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 \text{GT} = & + 79.30 * \text{GKF} (\%) + 81.85 * \text{GCF} (\%) + 81.98 * \text{WF} (\%) + 0.94 * \\
 & \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) + 14.54 * \text{GKF} (\%) * \text{WF} (\%) + 5.28 * \text{GCF} (\%) * \text{WF} \\
 & (\%) - 132.22 * \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) * \text{WF} (\%) + 0
 \end{aligned}$$

En el gráfico de superficie de respuesta y de contorno (Figura 18 y 19), se puede notar el comportamiento de GT en función de la harina de trigo, harina cañihua germinada y harina de kiwicha germinada, sin embargo, el modelo matemático no es estadísticamente significativo respecto a la variable respuesta (GT) no pudiendo explicar la variabilidad de los resultados ni la predominancia de los efectos (Figura 20). Los valores de GT de las masas de las 14 formulaciones oscilaron en un rango de temperaturas 76.1 a 85.6 °C. Montoya *et al.* (2012), realizó una caracterización física de la harina de trigo encontrando una temperatura de inicio de gelatinización de 74.85 °C, siendo una temperatura un tanto menor a la reportada en esta investigación. La mayor temperatura de gelatinización de las muestras analizadas en comparación con lo reportado por Montoya *et al.* (2012), genera un mayor poder de hinchamiento, solubilidad y de absorción. Por lo que, debido a las altas temperaturas de gelatinización las muestras de harinas analizadas serán factibles de ser empleadas en la elaboración de productos sometidos a altas temperaturas.

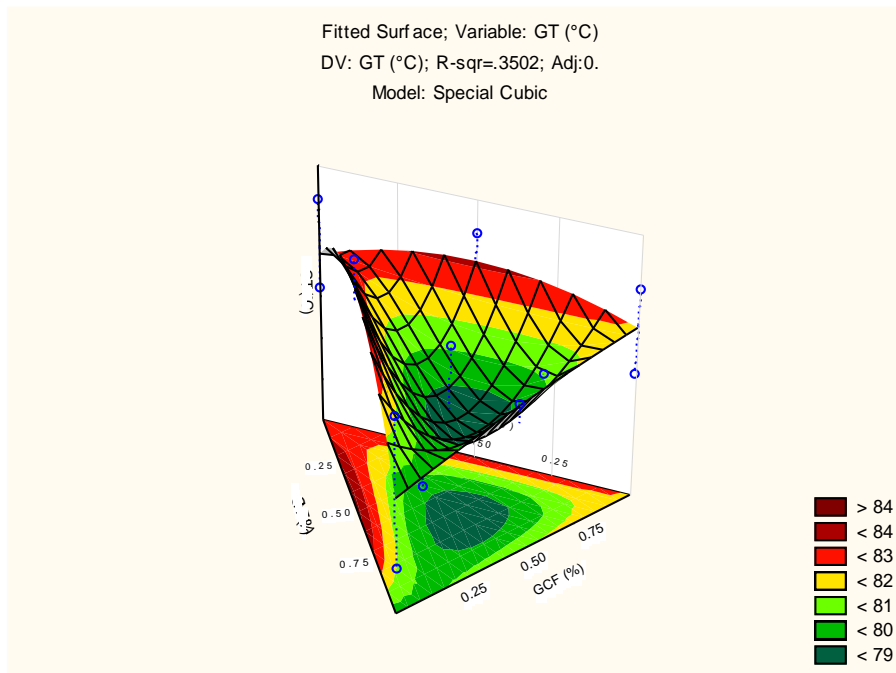


Figura 18: Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la temperatura de gelatinización de la masa.

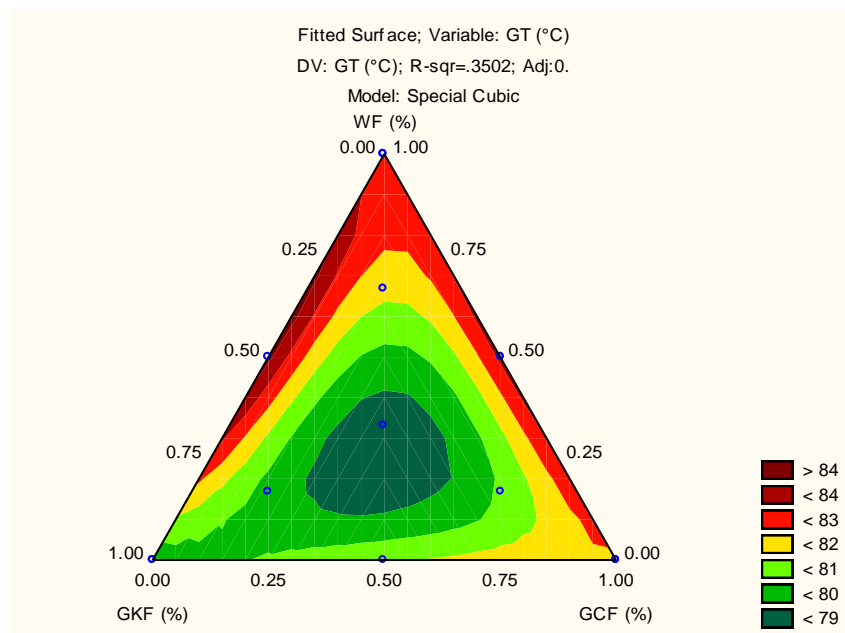


Figura 19: Gráfico de contorno para la temperatura de gelatinización de la masa.

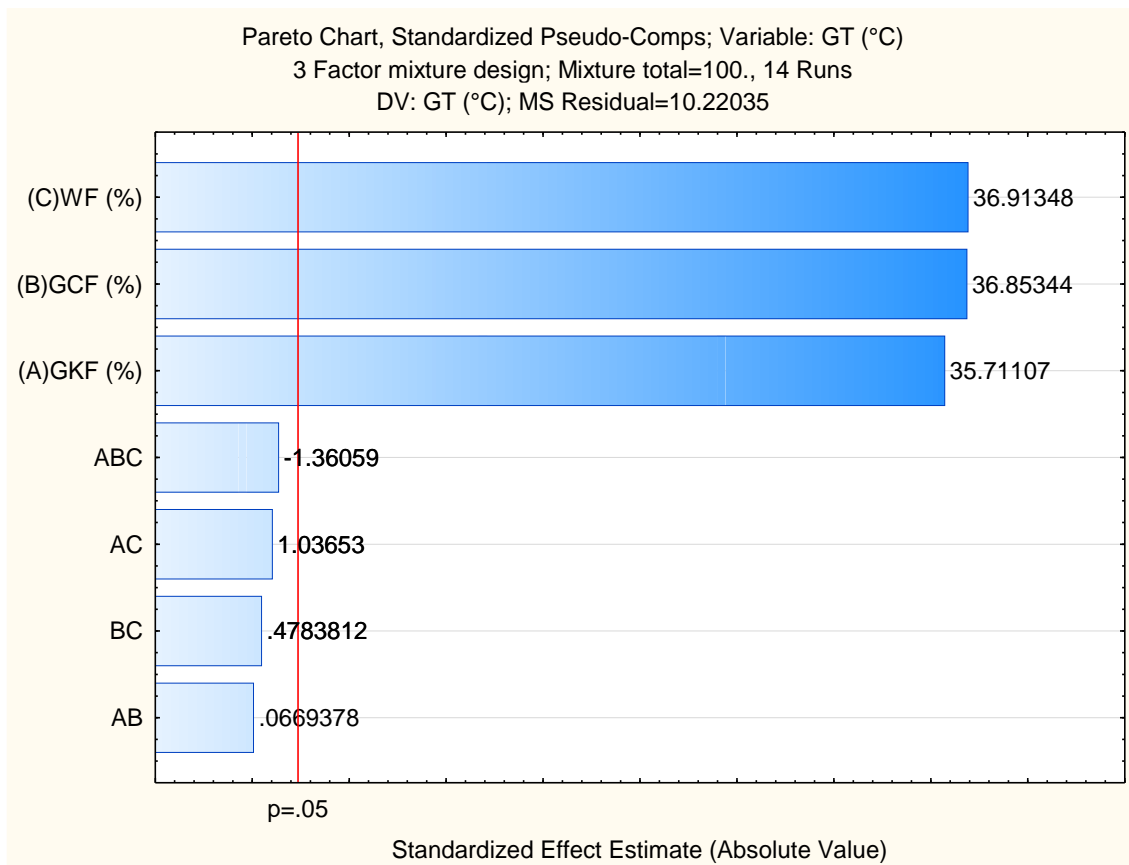


Figura 20: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos para la consistencia de la masa.

El análisis de varianza (Anexo 8 – Cuadro 8K), de los modelos de regresión que explican el comportamiento de GM en base a los porcentajes de GKF, GCF y WF, reportó que los modelos de tipo lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico tienen valores p de 0.0000, 0.071, 0.6822, 0.8537 y un R de 0.95, 0.98, 0.98, 0.98 respectivamente. Por ello, el modelo elegido fue el tipo lineal, por tener el efecto estadístico significativo, con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$). Además, con respecto a los parámetros lineales individuales, son estadísticamente significativos (Anexo 8 – Cuadro 8L), es por ello que, el modelo matemático que describe la gelatinización máxima fue expresado de la siguiente manera:

$$\mathbf{GM = + 253.56 * GKF (\%) + 309.62 * GCF (\%) + 421.82 * WF (\%) + 0}$$

En la Figura 21 y 22, se presenta el comportamiento de la gelatinización máxima de la masa debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo. Así en la Figura 23, se presente el gráfico de

Pareto, mostrando la significancia de los parámetros lineales sobre el modelo.

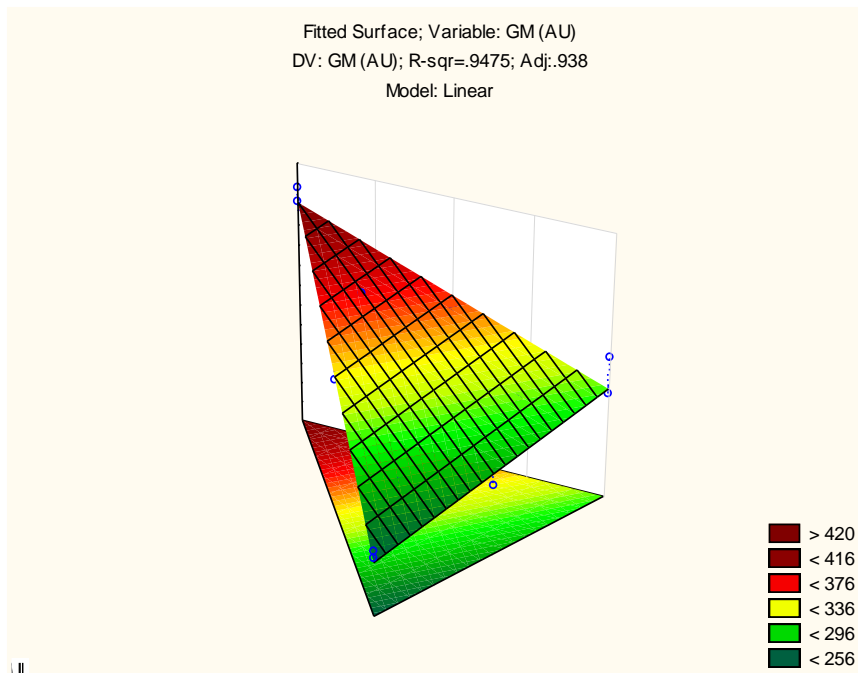


Figura 21: Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la gelatinización máxima de la masa.

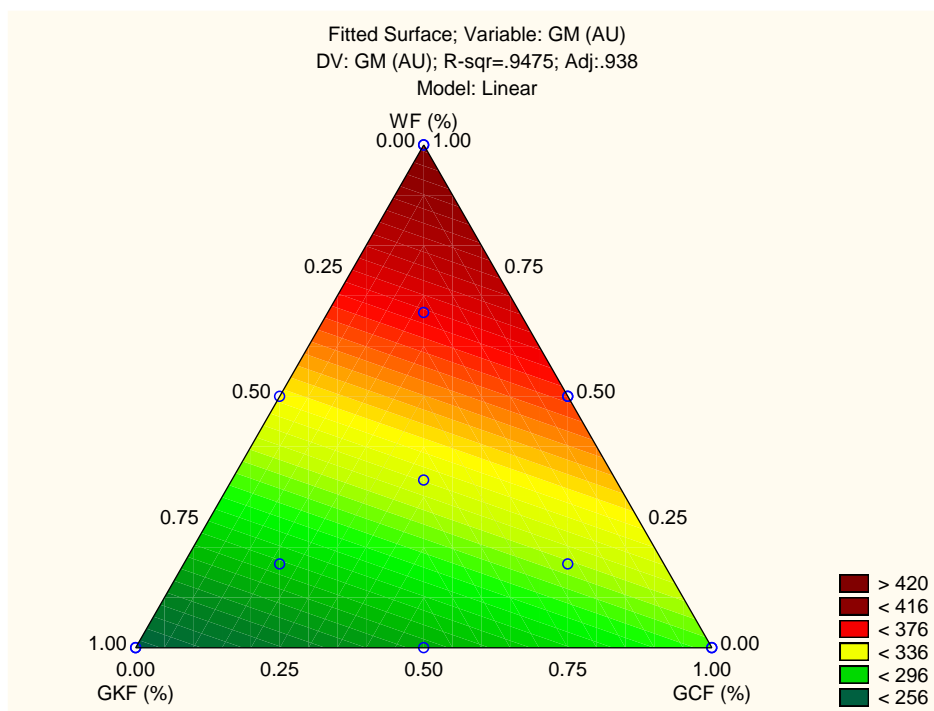


Figura 22: Gráfico de contorno para la gelatinización máxima de la masa.

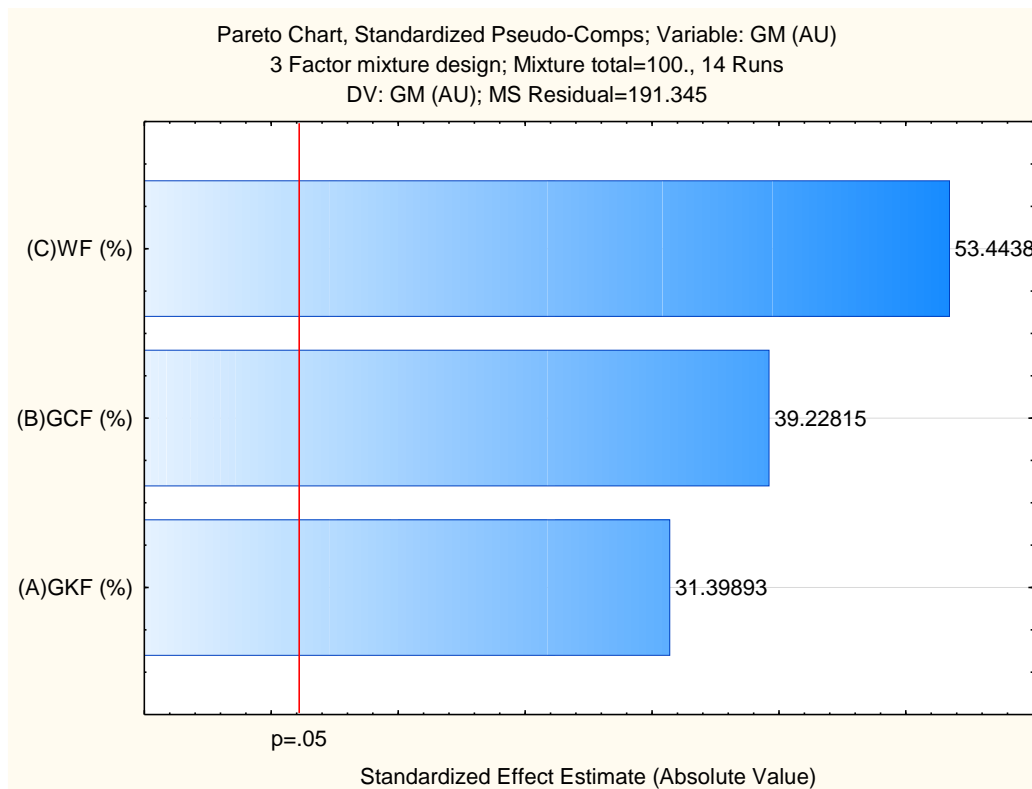


Figura 23: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para la gelatinización máxima de la masa.

En el gráfico de superficie de respuesta y contorno (Figura 21 y 22), se puede notar que el porcentaje de harinas germinadas de cañihua y kiwicha y de harina de trigo, afectan significativamente la gelatinización máxima de la masa. Así, al aumentar el porcentaje de harina de trigo y disminuir el porcentaje de harina cañihua y kiwicha germinada se incrementa la gelatinización máxima. Por el contrario, un aumento del contenido de harina de cañihua y kiwicha germinada, refleja una disminución de la gelatinización máxima de la masa. Una de las propiedades fisicoquímicas más importantes para determinar la utilización del almidón en alimentos es la gelatinización (Wang y White, 1994). La temperatura de gelatinización es característica para cada tipo de almidón y depende fundamentalmente de la transición vítrea de la fracción amorfa del almidón (Eerlingen y Delcour, 1995); la cual trae como consecuencia, que los gránulos de almidón pierdan su cristalinidad, así como también una mayor absorción de agua, provocando el aumento de volumen en el gránulo.

Por consiguiente, respecto a la resistencia a la extensión (RE) de la masa, el análisis de varianza, presentado en (Anexo 8 – Cuadro 8M), de los modelos de regresión que explican el comportamiento de la RE, en base a los porcentajes de GKF, GCF y WF, reportó que los modelos de tipo lineal, cuadrático, cubico especial y cúbico tienen valores p de 0.0005, 0.8744, 0.8017, 0.3650 y un R de 0.75, 0.77, 0.77, 0.85 respectivamente. Es así que, el modelo elegido fue de tipo lineal, por tener el efecto estadístico significativo con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$). Además, con respecto a los parámetros lineales individuales, son estadísticamente significativos (Anexo 8 – Cuadro 8N). Así mismo, el modelo matemático que describe la resistencia a la extensión fue expresado de la siguiente manera:

$$RE = + 735.94 * GKF (\%) + 997.27 * GCF (\%) + 1209.47 * WF (\%) + 0$$

En la Figura 24 y 25, se presenta el comportamiento de la RE de la masa debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo. Así mismo, en la Figura 26 se presenta el gráfico de Pareto, mostrando la significancia de los parámetros lineales sobre el modelo.

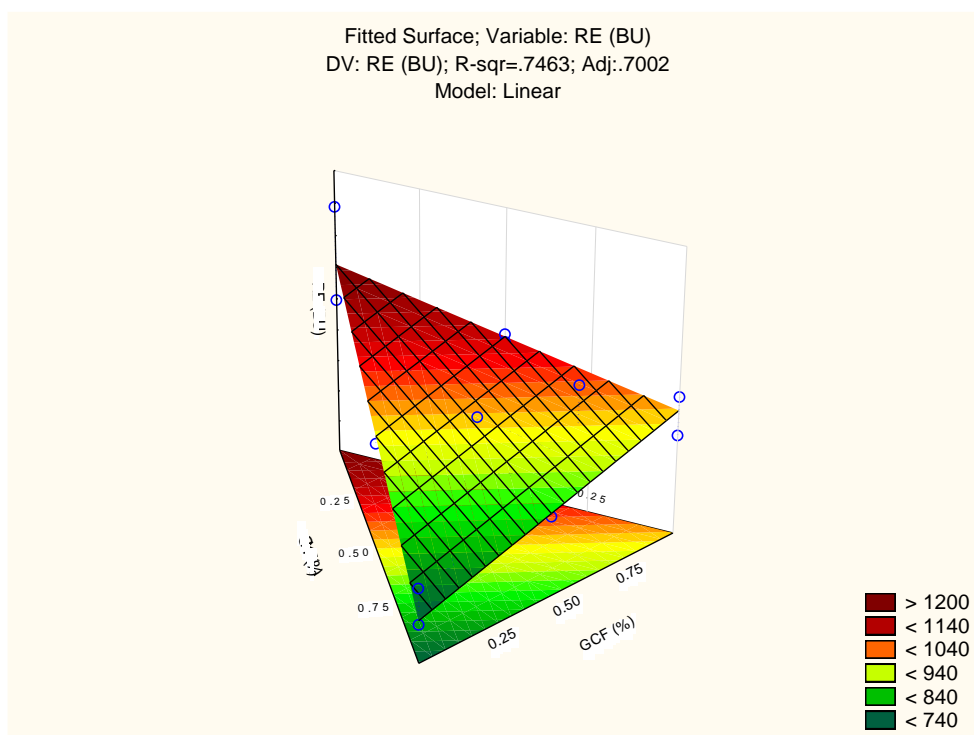


Figura 24: Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la resistencia a la extensión de la masa.

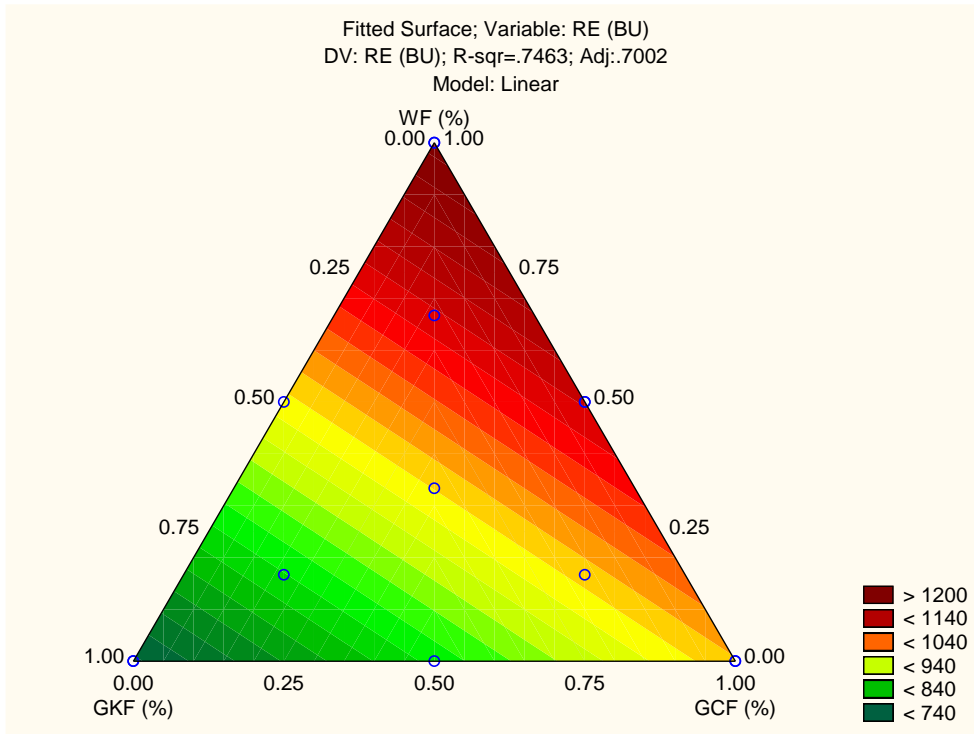


Figura 25: Gráfico de contorno para la resistencia a la extensión de la masa.

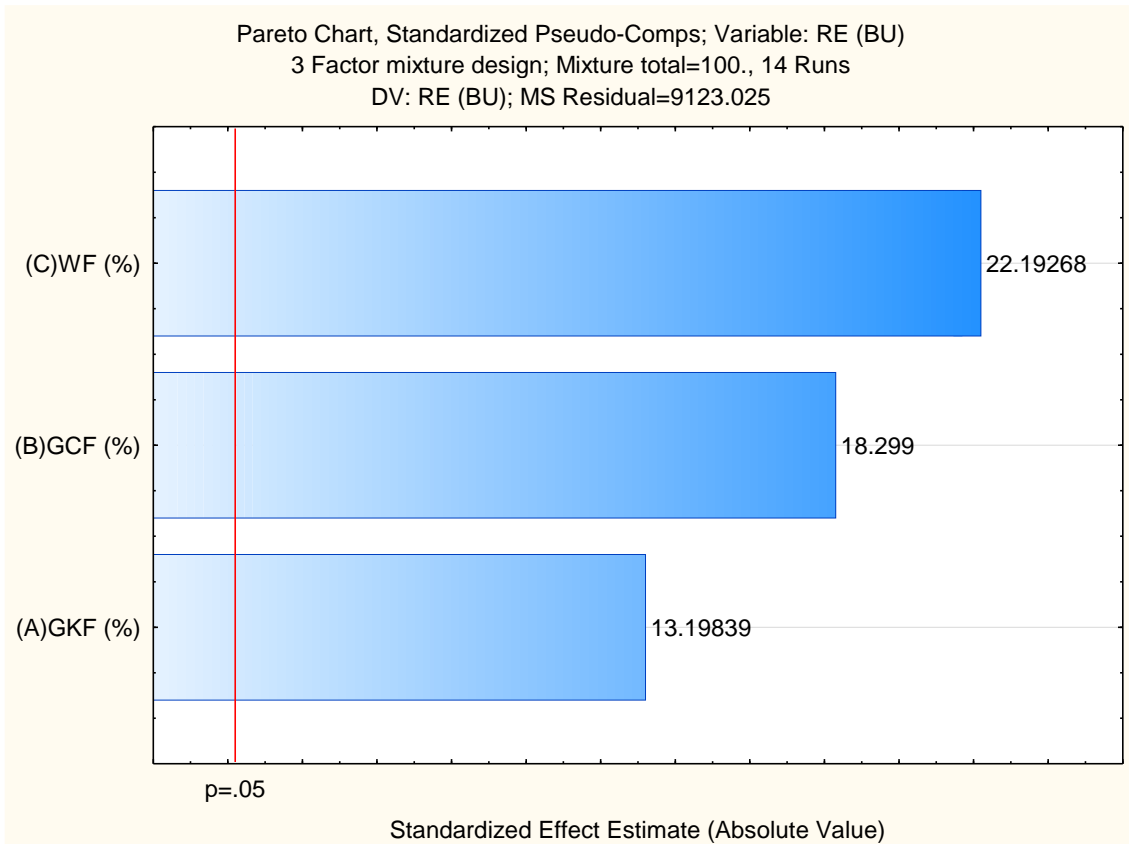


Figura 26: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para la resistencia a la extensión de la masa.

El gráfico de superficie de respuesta y de contorno (Figura 24 y 25), nos indica que el porcentaje de harinas germinadas de kiwicha y de harina de trigo afectan significativamente la resistencia a la extensión de la masa. Al aumentar el porcentaje de harina de trigo y disminuir el porcentaje de harina de kiwicha germinada, se incrementa la resistencia a la extensión. Por el contrario, un aumento del contenido de harina de kiwicha germinada se refleja en una disminución de resistencia a la extensión de la masa. Las masas evaluadas presentaron un rango de RE de la masa de 723 a 1388 BU, siendo las formulaciones 15%:5%:80% y 5%:5%:90% de GKF, GCF y WF las que presentaron mayores valores para este parámetro. Las gluteninas, aparentemente, proporcionan a la masa la propiedad de resistencia a la extensión. Las gluteninas son un grupo heterogéneo de proteínas resistentes y gomosas, pero propensas a la ruptura. Se caracterizan por su solubilidad en ácidos y álcalis diluidos. Son de cadena múltiple y peso molecular variable (de 10,000 Da a varios millones de Da), que comprenden a gluteninas de bajo y elevado peso molecular (Hoseney, 1994).

El análisis de varianza (Anexo 8 – Cuadro 8Ñ), de los modelos de regresión que explican el comportamiento de E, en base a los porcentajes de GKF, GCF y WF, reportó que los modelos de tipo lineal, cuadrático, cubico especial y cúbico tienen valores de $p > 0.05$, lo que indica que los modelos no son estadísticamente significativos, dichos modelos presentan un R de 0.18, 0.40, 0.43 y 0.43 respectivamente, siendo valores relativamente bajos, sin embargo, el modelo seleccionado para analizar los resultados de la extensibilidad (E), es el cubico especial. Respecto a los parámetros lineales individuales son estadísticamente significativos sobre el modelo, mientras que los parámetros cuadráticos y cúbicos, no son estadísticamente significativos (Anexo 8 – Cuadro 8O). Es por ello que, el modelo matemático que describe la extensibilidad fue expresado de la siguiente manera:

$$E = + 83.25 * \text{GKF} (\%) + 71.00 * \text{GCF} (\%) + 80.14 * \text{WF} (\%) - 22.51 * \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) - 27.65 * \text{GKF} (\%) * \text{WF} (\%) + 28.27 * \text{GCF} (\%) * \text{WF} (\%) + 151.93 * \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) * \text{WF} (\%) + 0$$

En la Figura 27 y 28, se presenta el comportamiento de la extensibilidad de la masa, debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo. Por lo que, en la Figura 29, se presenta el gráfico de Pareto, mostrando el grado de significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos sobre el modelo, siendo solo los lineales de carácter significativo.

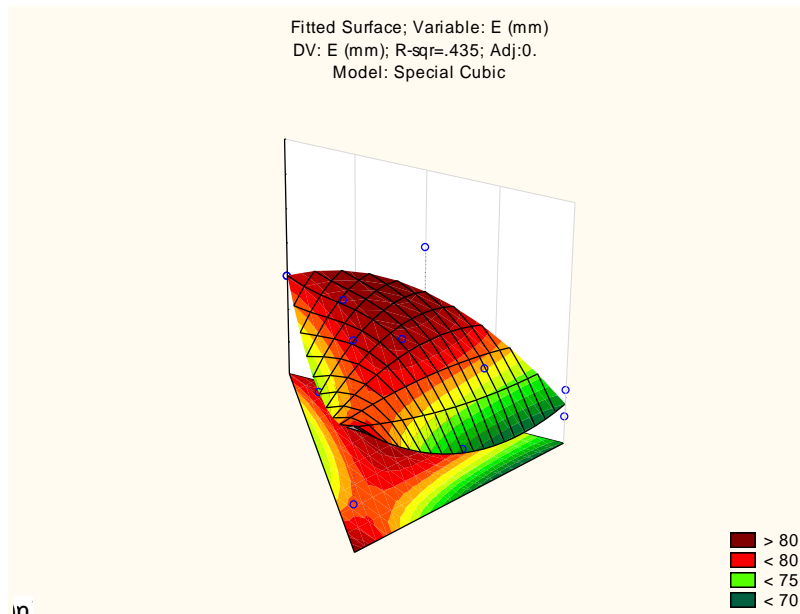


Figura 27: Gráfico de superficie de respuesta y contorno para la extensibilidad de la masa.

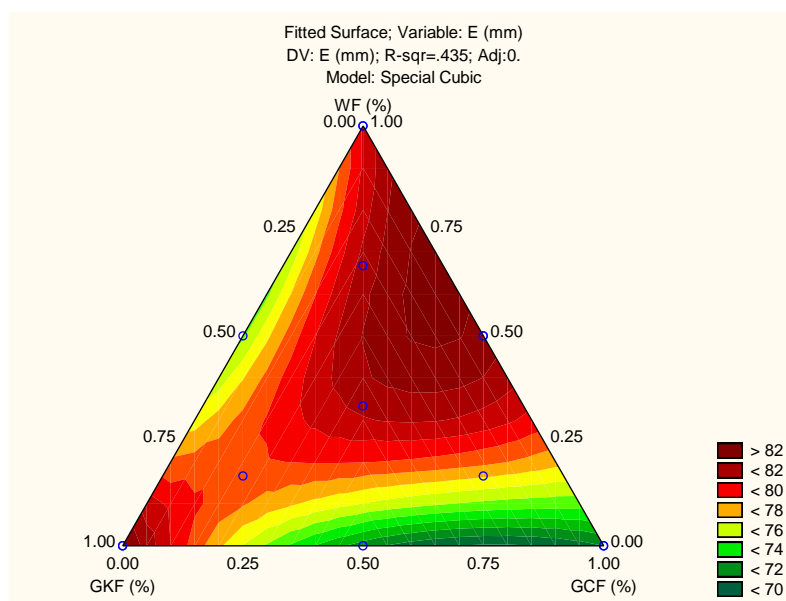


Figura 28: Gráfico de contorno para la extensibilidad de la masa.

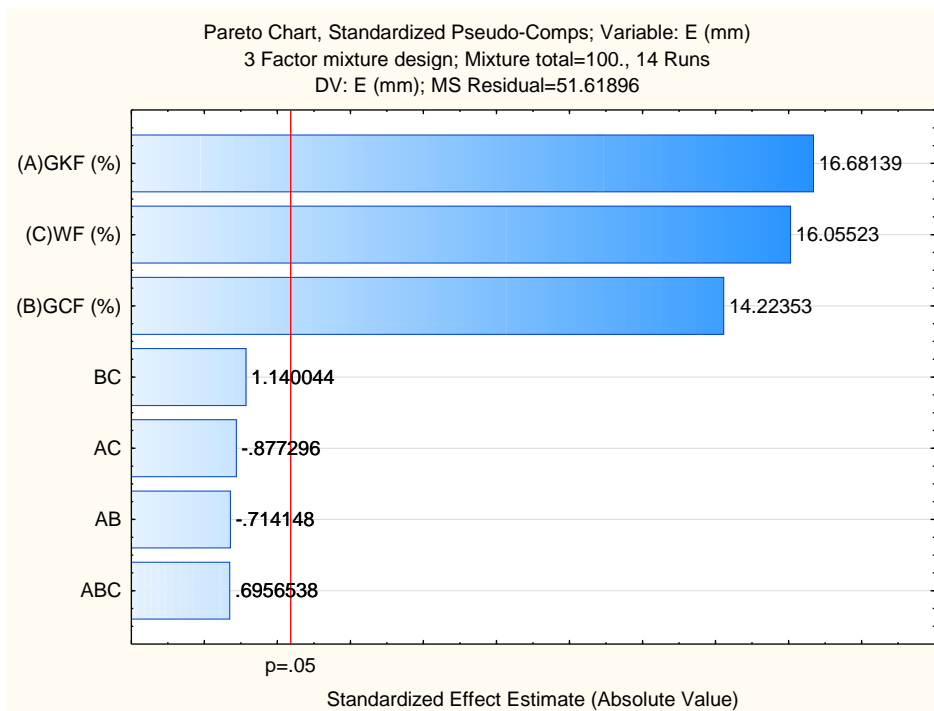


Figura 29: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos para la resistencia a la extensión de la masa.

En el gráfico de superficie de respuesta y de contorno (Figura 27 y 28), se puede notar el comportamiento de la extensibilidad en función de la harina de trigo, harina de cañihua y kiwicha germinada. La disminución del porcentaje de kiwicha, permite un incremento de la extensibilidad de la masa; sin embargo, el modelo matemático no es estadísticamente significativo respecto a la variable de respuesta (E). Pérez y García (2013), evaluó la extensibilidad en dos harinas de trigo de diferentes marcas, cuyos resultados fueron de 64.25 mm para la primera y de 94.5 mm para la segunda. Estos valores son semejantes a los reportados en esta investigación, por lo que se puede decir que, respecto a la propiedad de extensibilidad, las muestras tienen una extensibilidad similar a harinas comerciales.

La interacción entre la gliadina y glutenina en presencia de agua y energía forman el glúten, la combinación de estos dos elementos, confiere diferentes propiedades reológicas de la masa, luego de haberse formado la red de gluten. Se conoce que la gliadina contribuye a la extensibilidad, mientras que la glutenina contribuye a la elasticidad. El aumento en la

resistencia a la extensión y reducción de la extensibilidad de la masa se asocian al aumento del grado de sustitución, estableciéndose que las masas de mezcla se tornan más duras y cortas que la masa de harina de trigo, debido principalmente a la reducción de la proporción de gluten (Iram, 2010).

Todos los resultados de cada una de las variables respuesta: AA, DT, S, C, GT, GM, RE y E se incluyeron posteriormente para la identificación de la formulación óptima utilizando la función de deseabilidad del software design-expert 7.0. Para ejecutar la opción de optimización, fue necesario definir el peso de cada variable (para la presente investigación se consideró el mismo peso para cada variable) y el objeto de la variable respuesta (maximizar o minimizar). De acuerdo con el análisis de la reología de las masas realizado anteriormente, se estableció que, lo que se busca de las variables: AA, S, C, GT, GM, RE, E es su maximización y de la variable DT es la minimización; todo esto con la finalidad de encontrar la mezcla óptima de harinas que presenten las mejores características reológicas. El método de optimización conjunta presenta más de una solución, las cuales se muestran en el Cuadro 14, siendo la mejor solución, aquella que presenta un valor de la función de deseabilidad más cercano a 1.

Cuadro 14: Soluciones para la optimización conjunta de parámetros reológicos.

Soluciones	Formulación de la masa			Parámetros Reológicos								FD	
	GKF (%)	GCF (%)	WF (%)	AA (%)	DT (min)	S (min)	C (FE)	GT (°C)	GM (AU)	RE (BU)	E (mm)		
1	5.00	8.95	86.05	62.71	3.67	4.40	796.64	81.24	377.50	1125.65	78.46	0.48	Selected
2	8.23	5.00	86.77	62.71	3.91	4.55	789.82	81.24	367.49	1056.57	81.52	0.45	

GKF: Harina de kiwicha germinada, GCF: Harina de cañihua germinada, WF: Harina de trigo, AA: Absorción de Agua, DT: Tiempo de Desarrollo, S: Estabilidad, C: Consistencia, GT: Temperatura de Gelatinización, GM: Máxima Gelatinización, RE: Resistencia a la extensión, E: Extensibilidad, FE: Unidades Farinográficas, AU: Unidades Amilográficas, BU: Unidades Brabend, FD: Función de deseabilidad.

4.4. OPTIMIZACIÓN DE LA SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TRIGO POR HARINA DE GRANOS GERMINADOS DE KIWICHA (*Amaranthus caudatus*) Y CAÑIHUA (*Chenopodium pallidicaule*) EN FUNCIÓN A SUS ATRIBUTOS FÍSICOQUÍMICOS, SENSORIALES Y NUTRICIONALES, RELACIONADOS CON LA CALIDAD DEL PAN DE MOLDE Y GALLETA

Elaboración del pan de molde:

Para la elaboración de pan de molde se siguió las operaciones indicadas en la Figura 30, donde se muestra el diagrama de bloques, para la elaboración del pan de molde. En el Anexo 9 se muestra imágenes del proceso de elaboración de pan de molde.

Recepción de insumos. - Los insumos se dividen son clasificados en primarios, tales como Harina de Cañihua (*Chenopodium pallidicaule* var. Illpa) y Kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. Centenario) germinados; y secundarios como mejorador enzimático, anti-moho, sal, azúcar rubia, agua, levadura, aceite vegetal y emulsionantes.

Pesado. - Para esta etapa del proceso se pesaron los insumos en base a 5 kg de harina para cada uno de los 14 tratamientos más el control. Esta etapa duró un aproximadamente. de 30 min. Los porcentajes de las harinas germinadas de cañihua, kiwicha y trigo se incorporaron conforme a el Cuadro 6, los demás componentes de la mezcla permanecieron constantes, mejorador (1%); anti-moho (0.3%); sal (2%); azúcar (8%); agua (50%); levadura (2%) y aceite (7.5%).

Primer Mezclado. - Los primeros insumos que corresponden a esta etapa fueron incorporados al amasador (harina de trigo, kiwicha y cañihua; mejorador; anti-moho; levadura instantánea y emulsionante). Luego se procedió a poner en marcha el equipo, en primera velocidad hasta obtener un mezclado homogéneo. Esta etapa tuvo una duración de 5 min aproximadamente.

Segundo Mezclado y Amasado. - Después del primer mezclado se agregó la solución constituida por agua, azúcar y sal, dando inicio al segundo amasado a primera velocidad durante un tiempo de 5 min.

Tercer mezclado. - En este último mezclado se agregó el aceite y el emulsionante para continuar con la segunda velocidad durante un tiempo de 7 minutos. En esta etapa se realizó la prueba de elasticidad de la Masa obtenida.

Pesado y Boleado de la Masa. - La masa obtenida se dividió en porciones de 650 gr cada uno, luego de un breve reposo, se realizó el boleado manual dándole a la masa una forma ovalada.

Acondicionamiento y Fermentación. - Con la ayuda de un rodillo se procedió a laminar manualmente las masas, para luego ser colocadas en los moldes y continuar con la etapa de fermentación durante un tiempo aproximado de 2 h.

Horneado. - Al finalizar las 2 h de fermentación, se retiraron los panes del fermentador y se procedió al horneado, en un horno rotatorio por un tiempo de 45 min y una temperatura de 140 °C.

Enfriado y Empacado. - Con la ayuda de unos guantes de calor, se retiró el carro del horno y se procedió a retirar el pan de sus moldes para luego ser puestos en la mesa para su enfriado a temperatura ambiente, durante un tiempo de 3 h, finalmente fueron empacados en bolsas de polipropileno.

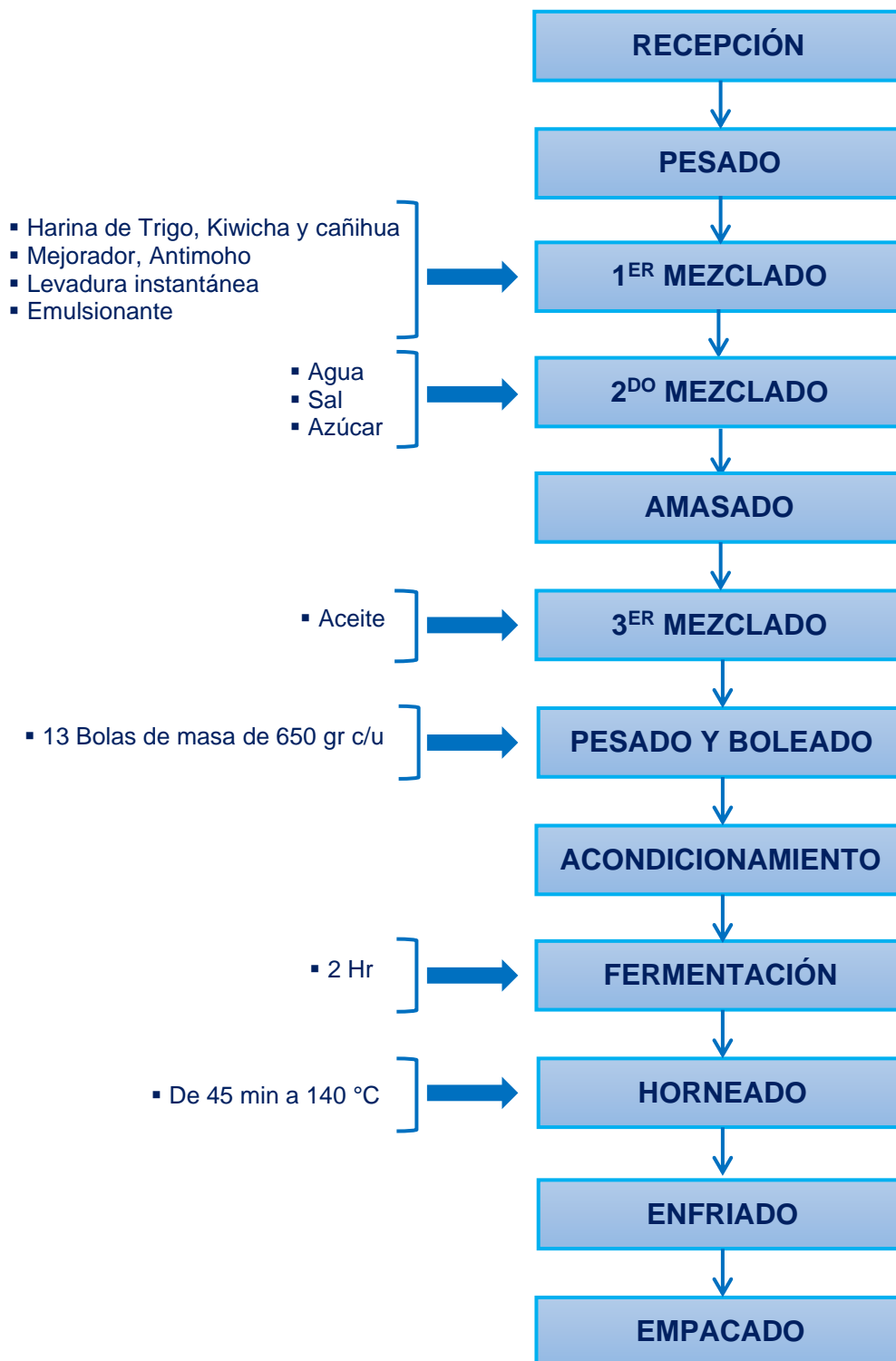


Figura 30: Proceso para la elaboración de pan de molde a partir de harinas germinadas en kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule*).

Análisis Físicoquímicos de los panes de molde obtenidos para las diferentes formulaciones evaluadas

Para las 14 muestras de pan de molde, se evaluaron diferentes parámetros físicoquímicos como: Actividad de agua (Aw), Humedad (H), Volumen Especifico (Ve), Análisis de Textura – Dureza (TXD), Textura – Masticabilidad (TXM), Textura – Cohesividad (TXC), Color de Miga (CM) y Color de Corteza (CC), para lo cual, en el Cuadro 15, se muestra los resultados de los análisis físicoquímicos de cada muestra.

Cuadro 15: Análisis fisicoquímicos de los panes de molde para diferentes formulaciones.

Formulaciones	Formulación de la masa			Análisis Fisicoquímicos										
	GKF (%)	GCF (%)	WF (%)	H (%)	Ve (ml/g)	TXD(N)	TXM (mJ)	TXC	CM			CC		
									L*	a*	b*	L*	a*	b*
F1	8	8	83	38.11 ± 0.68	4.41 ± 0.25	4.49 ± 0.05	35.03 ± 1.25	0.79 ± 0.01	61.62 ± 1.11	5.38 ± 0.12	13.97 ± 0.16	37.44 ± 2.62	14.67 ± 0.67	22.08 ± 1.84
F2	15	5	80	37.46 ± 0.58	3.95 ± 0.13	3.63 ± 0.04	26.99 ± 1.54	0.79 ± 0.01	61.40 ± 1.07	6.05 ± 0.07	15.39 ± 0.33	40.94 ± 2.31	15.35 ± 1.13	19.88 ± 1.68
F3	10	10	80	37.62 ± 0.26	3.92 ± 0.05	4.89 ± 0.04	36.05 ± 1.97	0.80 ± 0.01	58.96 ± 0.93	5.32 ± 0.55	17.38 ± 0.93	40.35 ± 0.69	15.98 ± 1.27	20.61 ± 0.31
F4	5	15	80	36.7 ± 1.37	3.62 ± 0.28	5.12 ± 0.07	41.48 ± 1.17	0.81 ± 0.00	59.72 ± 1.20	6.36 ± 0.68	15.97 ± 1.28	38.44 ± 2.48	17.08 ± 1.20	21.10 ± 1.62
F5	5	15	80	37.11 ± 0.67	4.19 ± 0.04	5.78 ± 0.05	43.07 ± 1.80	0.80 ± 0.01	58.87 ± 1.89	5.67 ± 0.03	16.61 ± 0.56	39.25 ± 1.72	16.92 ± 1.31	19.96 ± 1.37
F6	5	10	85	39.82 ± 0.62	4.73 ± 0.22	7.04 ± 0.05	33.74 ± 2.29	0.57 ± 0.01	61.82 ± 1.60	4.14 ± 0.28	17.49 ± 0.75	41.60 ± 2.27	15.92 ± 1.34	20.17 ± 1.43
F7	7	12	82	40.16 ± 0.42	4.19 ± 0.23	9.19 ± 0.04	46.15 ± 1.12	0.53 ± 0.01	60.86 ± 0.42	4.43 ± 0.34	18.26 ± 0.34	42.26 ± 2.47	15.62 ± 0.92	23.80 ± 0.66
F8	5	5	90	39.48 ± 0.36	4.47 ± 0.12	3.72 ± 0.06	20.63 ± 1.64	0.61 ± 0.01	58.12 ± 1.06	5.90 ± 0.67	17.92 ± 0.75	40.95 ± 1.30	15.02 ± 1.12	20.63 ± 1.24
F9	15	5	80	39.93 ± 0.23	3.90 ± 0.16	9.04 ± 0.04	38.64 ± 1.35	0.51 ± 0.00	59.21 ± 1.42	4.91 ± 0.11	17.58 ± 0.56	38.68 ± 1.45	16.06 ± 1.33	21.74 ± 1.85
F10	10	5	85	39.31 ± 0.67	4.44 ± 0.13	3.89 ± 0.08	19.40 ± 1.14	0.60 ± 0.01	61.57 ± 0.98	4.75 ± 0.32	15.75 ± 1.14	41.92 ± 1.97	14.47 ± 1.06	25.04 ± 0.05
F11	7	7	87	40.2 ± 0.75	4.36 ± 0.17	5.45 ± 0.07	28.68 ± 1.58	0.59 ± 0.00	63.87 ± 1.39	5.4 ± 0.39	13.81 ± 0.39	39.03 ± 1.27	14.77 ± 1.88	24.13 ± 0.73
F12	5	10	85	39.97 ± 0.14	4.40 ± 0.07	6.36 ± 0.04	28.23 ± 1.21	0.55 ± 0.01	58.34 ± 1.24	5.38 ± 0.09	13.72 ± 0.32	40.65 ± 2.41	17.80 ± 1.16	22.03 ± 1.07
F13	12	7	82	39.63 ± 0.11	3.61 ± 0.07	8.69 ± 0.04	33.86 ± 1.76	0.52 ± 0.01	58.30 ± 2.04	5.80 ± 0.11	16.74 ± 0.64	40.21 ± 2.41	16.50 ± 1.21	19.85 ± 0.86
F14	5	5	90	40.05 ± 0.13	4.57 ± 0.06	4.01 ± 0.06	20.10 ± 1.59	0.56 ± 0.01	62.96 ± 0.95	4.35 ± 0.55	14.98 ± 0.17	39.44 ± 0.99	14.67 ± 0.67	21.41 ± 1.47

GKF: Harina de kiwicha germinada, GCF: Harina de cañihua germinada, WF: Harina de trigo, Aw: Actividad de agua, H: Humedad, Ve: Volumen específico, TXD: Textura-Dureza, TXM: Textura-Masticabilidad, TXC: Textura-Cohesividad, CM: color de miga, CC: Color corteza.

Volumen específico del pan de molde. -

En las Figuras 31, 32 y 33; se muestran rebanadas de cada uno de los panes de molde para los 14 tratamientos, con la finalidad de comparar los tamaños que presenta cada uno de ellos. Los panes que presentaron menor desarrollo fueron los de la fórmula F9 que tenía el mayor % de harina de kiwicha germinada (15%) y la F13 constituida también por un alto porcentaje de sustitución de la harina de kiwicha germinada (12%). los demás panes tienen un tamaño próximo a los panes de molde comerciales (10 cm). Hassan *et al.* (2011) manifestaron que una adición superior al 10% como sucedáneo de la harina de trigo, promueve una reducción significativa del volumen en el pan.



Figura 31: Panes de molde elaborados con F1, F2, F3, F4 y F5.



Figura 32: Panes de molde elaborados con F6, F7, F8, F9 y F10.



Figura 33: Panes de molde elaborados con F11, F12, F13 y F14.

El ANOVA (Anexo 10 – Cuadro 10A) de los modelos de regresión que explican el comportamiento del V_e , en base a los porcentajes de GKF, GCF y WF mostró que los modelos de tipo lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico tienen valores $p = 0.0087, 0.443, 0.7156, 0.4511$ respectivamente. El modelo lineal estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$). Los parámetros lineales individuales fueron estadísticamente significativos (Anexo 10 – Cuadro 10B) quedando el modelo matemático que describe el volumen específico representado con la siguiente ecuación:

$$V_e = + 3.86 * \mathbf{GKF (\%)} + 4.032 * \mathbf{GCF (\%)} + 4.66 * \mathbf{WF (\%)} + 0$$

En la Figura 34 y 35, se presenta el comportamiento del V_e del pan de molde, debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo, empleado en su elaboración. En la Figura 36, se presenta el gráfico de Pareto, mostrando la significancia de los parámetros lineales sobre el modelo.

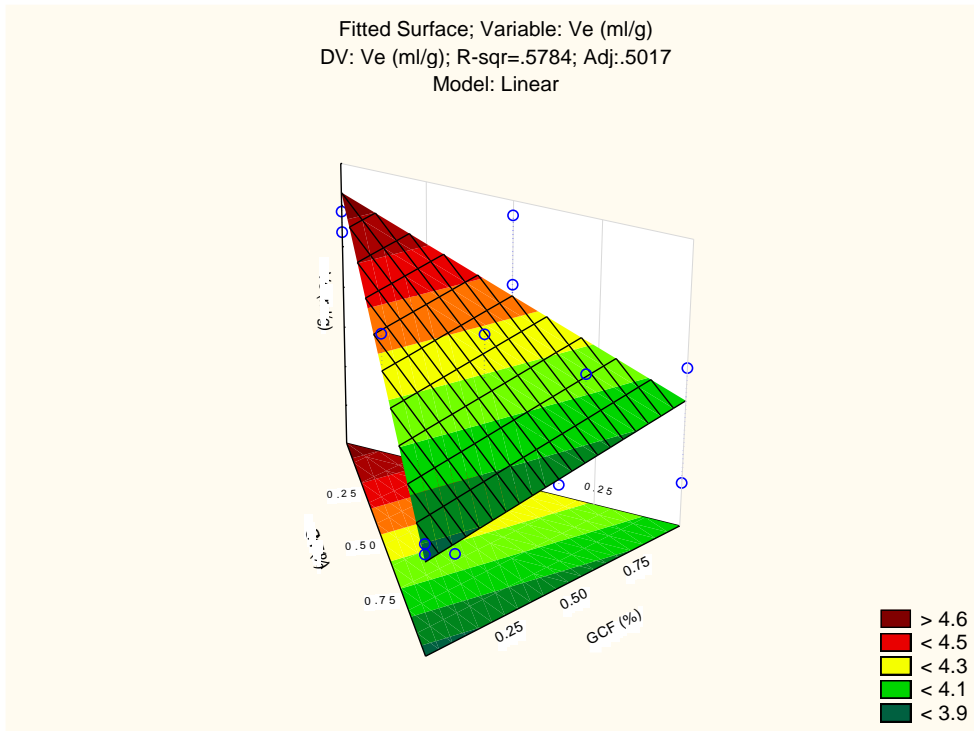


Figura 34: Gráfico de superficie de respuesta para el volumen específico del pan de molde.

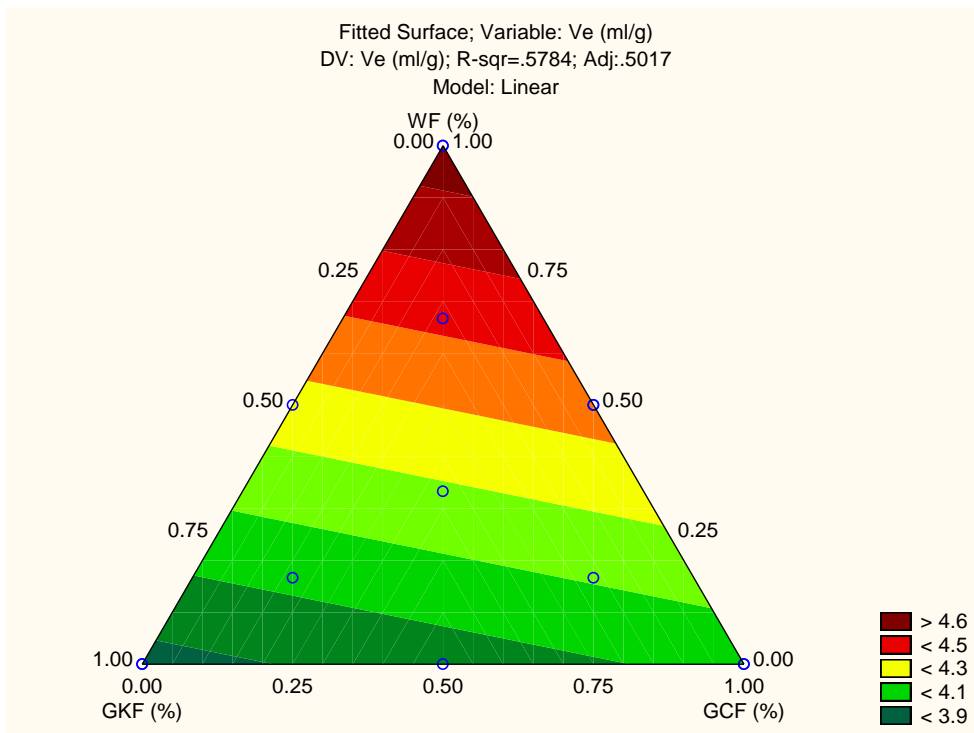


Figura 35: Gráfico de contorno para el volumen específico del pan de molde.

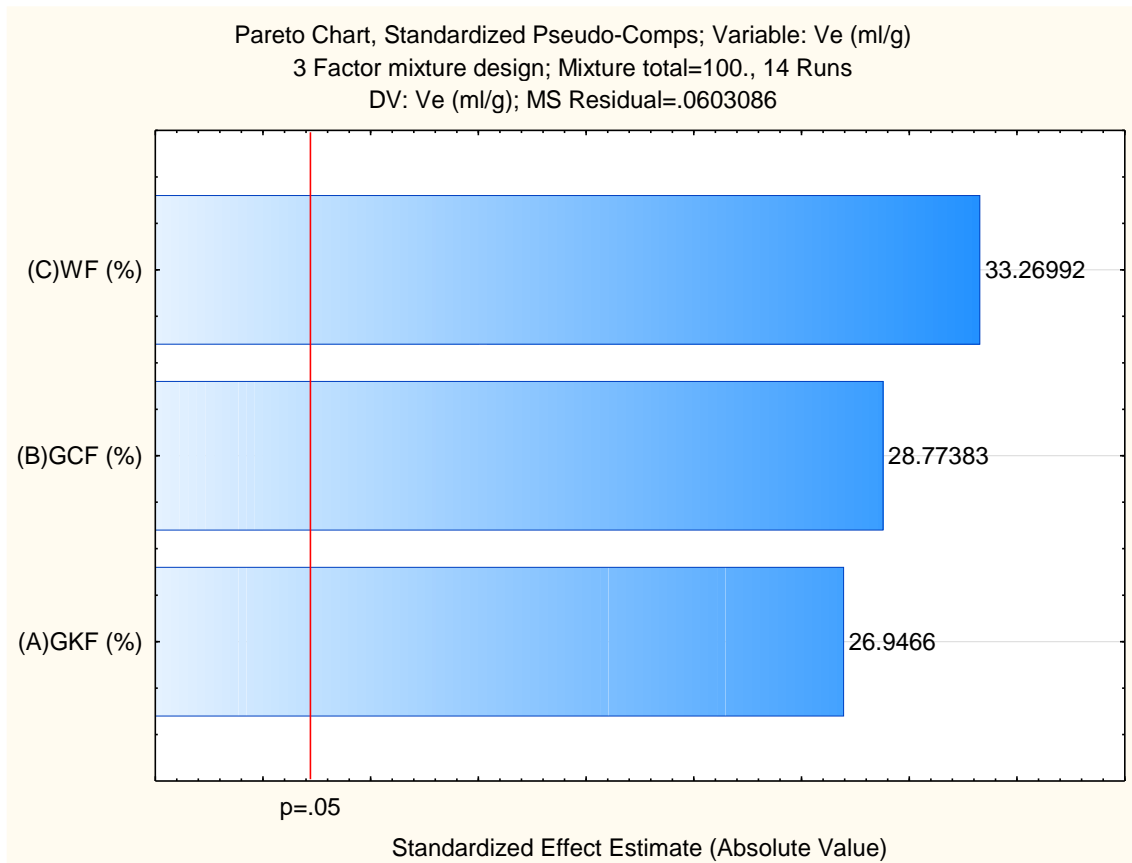


Figura 36: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para el volumen específico del pan de molde.

En el gráfico de superficie de respuesta y de contorno (Figura 34 y 35), se muestra que el porcentaje de harina germinada de kiwicha, cañihua y de harina de trigo afecta significativamente al volumen específico del pan de molde (Figura 36) de modo que una variación del porcentaje de las harinas modifica el volumen específico. Al aumentar el porcentaje de harina de trigo y disminuir el porcentaje de harina de kiwicha germinada y harina de cañihua germinada, se incrementa el volumen específico del pan de molde. Por el contrario, un aumento del contenido de harina de kiwicha y cañihua germinada da lugar a una disminución del volumen específico. Los valores de V_e obtenidos en esta investigación fluctúan entre 3.61 a 4.73 cm^3/g los cuales no han alcanzado el valor ideal de 6 cm^3/g establecido para el pan blanco por Kim *et al.* (2005). Esto es debido posiblemente a la dificultada de la fermentación derivada por la presencia de harina de kiwicha y cañihua germinada que disminuyen el contenido total de gluten en la masa, disminuyendo la elasticidad de esta y, por lo tanto, un menor desarrollo del

Ve del pan de molde. Es por ello que, Paucar-Menacho *et al.* (2009), indicó que en la preparación de panes de molde con harina de torta de soya (“okara”) se obtuvo una reducción intensa en el Ve, con una adición superior al 10% en la mezcla de harina. En línea con los resultados de este estudio, Gamonpilas *et al.* (2014) reportó valores de Ve entre 1,85 a 2,84 cm³/g en panes libres de gluten.

Humedad del pan de molde. -

El ANOVA (Anexo 10 – Cuadro 10C) de los modelos de regresión que explican el comportamiento de la H, en base a los porcentajes de GKF, GCF y WF empleadas en su preparación estimó que los modelos de tipo lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico tienen valores $p = 0.0500$, 0.3351 , 0.9909 , 0.7294 respectivamente. Siendo, elegido el modelo lineal, por tener el efecto estadístico más próximo al nivel de confianza del 95%. Con respecto a los parámetros lineales individuales fueron estadísticamente significativos sobre el modelo (Anexo 10 – Cuadro 10D) obteniéndose la siguiente ecuación para el modelo de regresión lineal:

$$H = + 38.78 * \mathbf{GKF (\%)} + 37.74 * \mathbf{GCF (\%)} + 40.37 * \mathbf{WF (\%)} + 0$$

En la Figura 37 y 38, se presenta el comportamiento de la humedad del pan de molde debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo empleado en su elaboración. En el Figura 39, se presenta el gráfico de Pareto, mostrando la significancia de los parámetros lineales sobre el modelo.

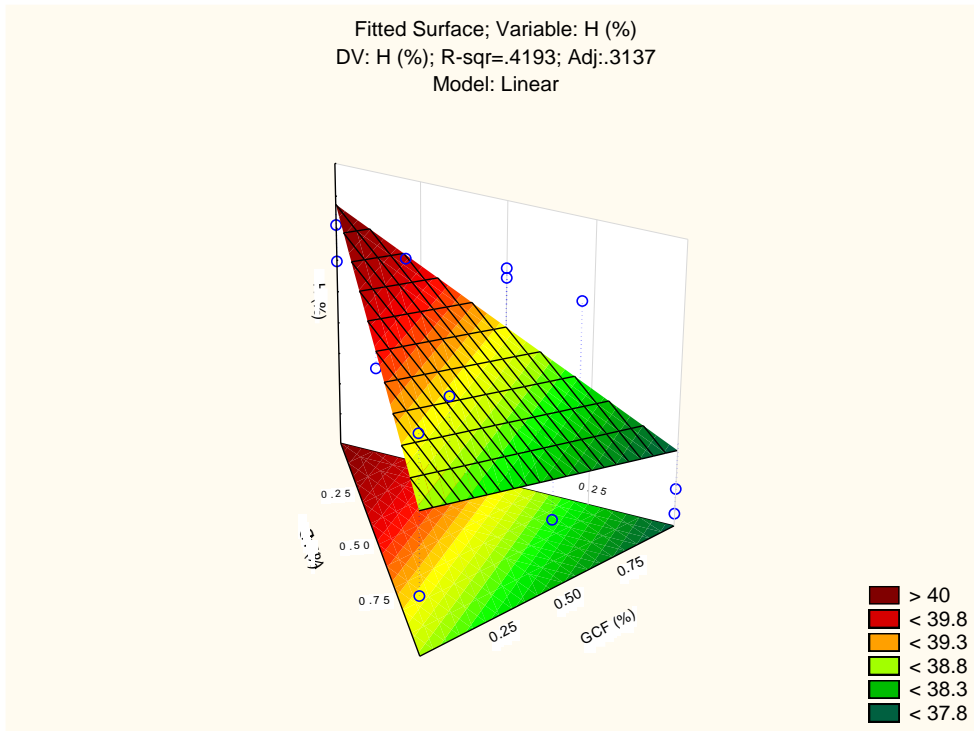


Figura 37: Gráfico de superficie de respuesta para la humedad del pan de molde.

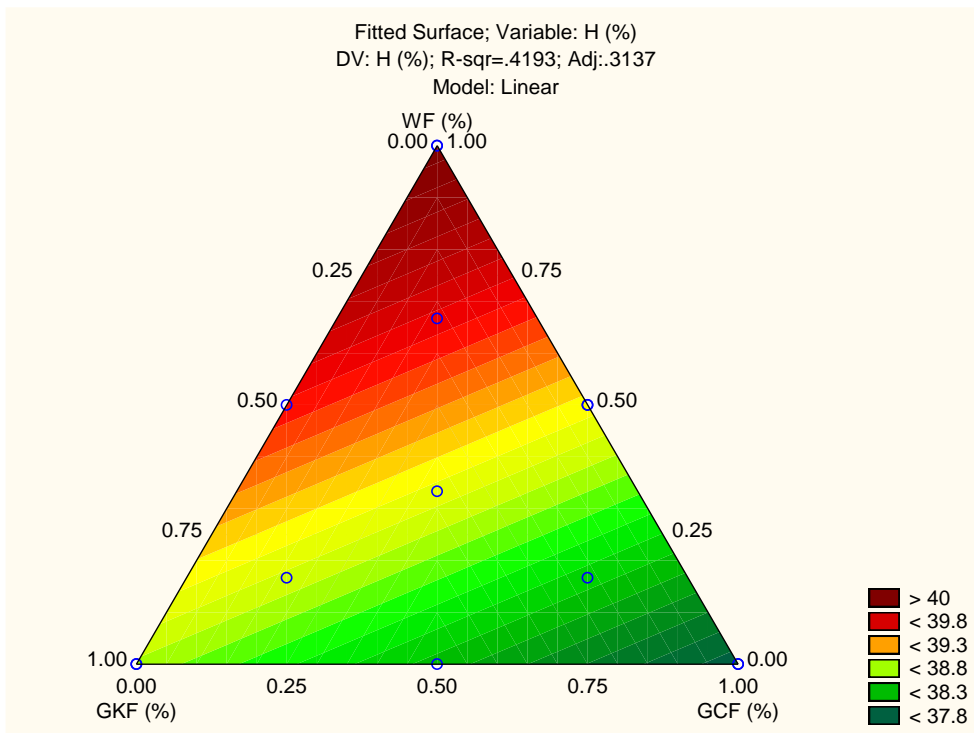


Figura 38: Gráfico de contorno para la humedad del pan de molde.

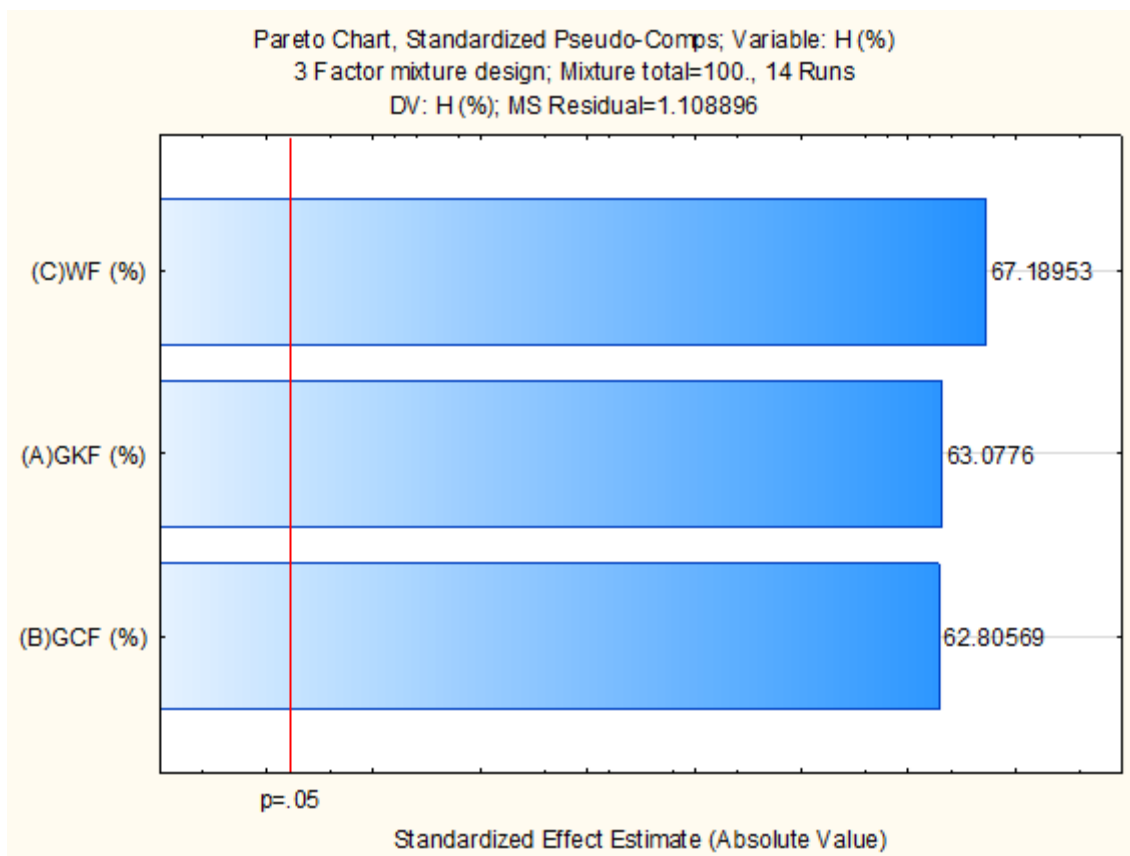


Figura 39: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para la humedad del pan de molde.

En el gráfico de superficie de respuesta y de contorno (Figura 37 y 38), destacó que al aumentar el porcentaje de harina de trigo y disminuir el porcentaje de harina de kiwicha germinada y harina de cañihua germinada, se incrementa el porcentaje de humedad del pan de molde. Sin embargo, un aumento del contenido de harina de kiwicha y cañihua germinada, refleja una disminución del porcentaje de humedad. Esto nos indica que el porcentaje de harinas germinadas de kiwicha, cañihua y de harina de trigo, afecta al contenido de humedad del pan de molde; es por ello que, una variación del porcentaje de las harinas influye en la humedad del pan. En relación a ello, los valores de humedad obtenidos en esta investigación, fluctuaron entre 36.7% a 40.2%. Según NTS N° 088-MINSA/DIGESA – V.01 y su modificatoria mediante Resolución Ministerial N° 225-2016-MINSA, establece que la humedad máxima de los panes de molde es de 40%. En la presente investigación, de las 14 muestras elaboradas solo 3 sobrepasaron el límite máximo por un margen corto (40.16%, 40.2% y

40.05% para F7, F11 y F14, respectivamente). Socolovsky (2009) considera que el pan de molde es un alimento con un elevado porcentaje de humedad llegando a valores del 38%, valores similares a los obtenidos en el presente estudio. Siendo estos valores, los que otorgan condiciones propicias para la aparición de mohos y levaduras en el pan. Un elevado contenido de humedad favorece el crecimiento de microorganismos causando la reducción del tiempo de vida útil de los alimentos. Además, valores de actividad de agua de entre 0,98 – 0,93 implican que todos los microorganismos causantes de toxiinfecciones alimentarias pueden multiplicarse (Raimondo, 2013).

Textura – Dureza del pan de molde. -

El ANOVA (Anexo 10 – Cuadro 10E) de los modelos de regresión que explican el comportamiento de la TXD en base a los porcentajes de GKF, GCF y WF, empleadas en su elaboración indicó que los modelos de tipo lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico tienen valores $p > 0.05$, lo que indicó que los modelos no son estadísticamente significativos. Además, dichos modelos presentaron un pobre ajuste ($R = 0.149, 0.317, 0.336$ y 0.431 respectivamente). Para analizar los resultados obtenidos de la Textura – Dureza (TXD) de las diferentes muestras se seleccionó el modelo cúbico por tener un mayor valor de R. Además, con respecto a los parámetros lineales individuales son estadísticamente significativo sobre el modelo (GKF y GCF), mientras que los parámetros cuadráticos y cúbicos no fueron estadísticamente significativos (Anexo 10 – Cuadro 10F). El modelo matemático que describió la Textura – Dureza, fue expresado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{TXD} = & + 6.47 * \text{GKF} (\%) + 5.58 * \text{GCF} (\%) + 4.00 * \text{WF} (\%) - 2.43 * \text{GKF} \\ & (\%) * \text{GCF} (\%) - 3.26 * \text{GKF} (\%) * \text{WF} (\%) + 8.70 * \text{GCF} (\%) * \text{WF} (\%) + \\ & 31.95 * \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) * \text{WF} (\%) - 16.95 * \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) * \\ & (\text{GKF} (\%) - \text{GCF} (\%)) + 34.86 * \text{GKF} (\%) * \text{WF} (\%) * (\text{GKF} (\%) - \text{WF} (\%)) \end{aligned}$$

En la Figura 40 y 41, se presenta el comportamiento de la Textura - Dureza del pan de molde, debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo empleado en su elaboración. De esta manera, en la Figura 42, se presenta el gráfico de Pareto, mostrando el grado de

significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos sobre el modelo, siendo solo los lineales significativos (GKF y GCF).

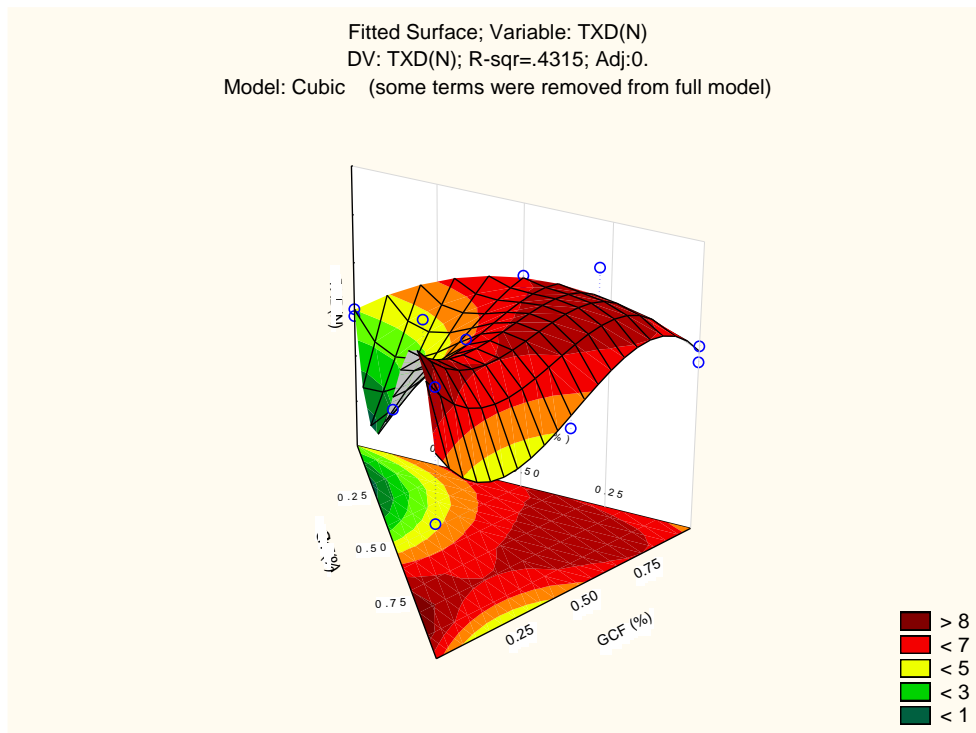


Figura 40: Gráfico de superficie de respuesta para la Textura – Dureza del pan de molde.

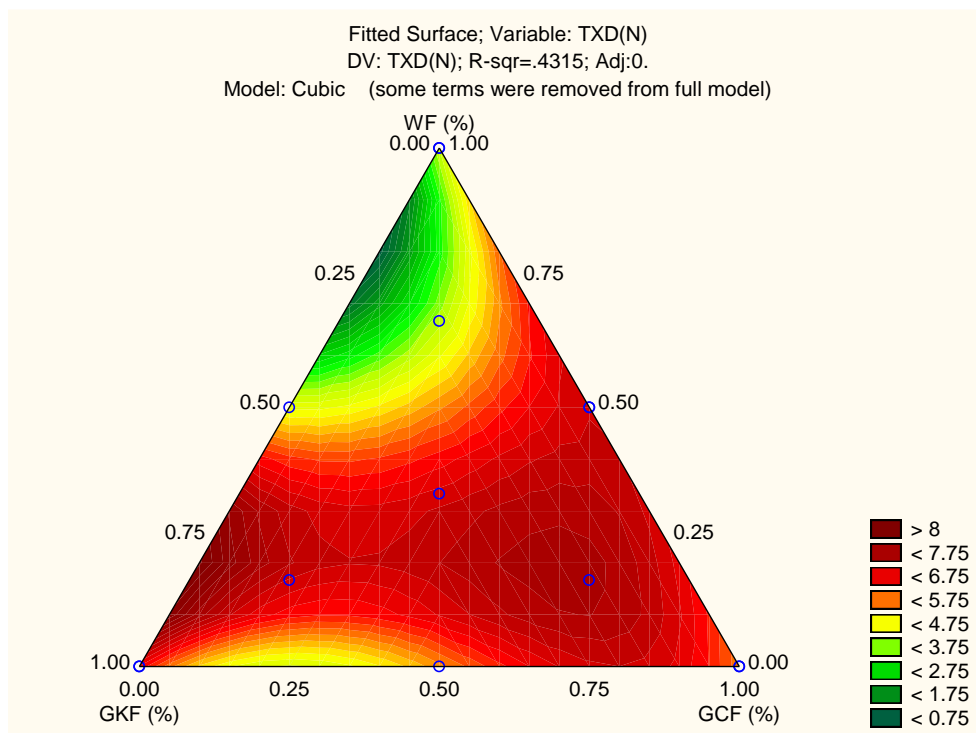


Figura 41: Gráfico de contorno para la Textura – Dureza del pan de molde.

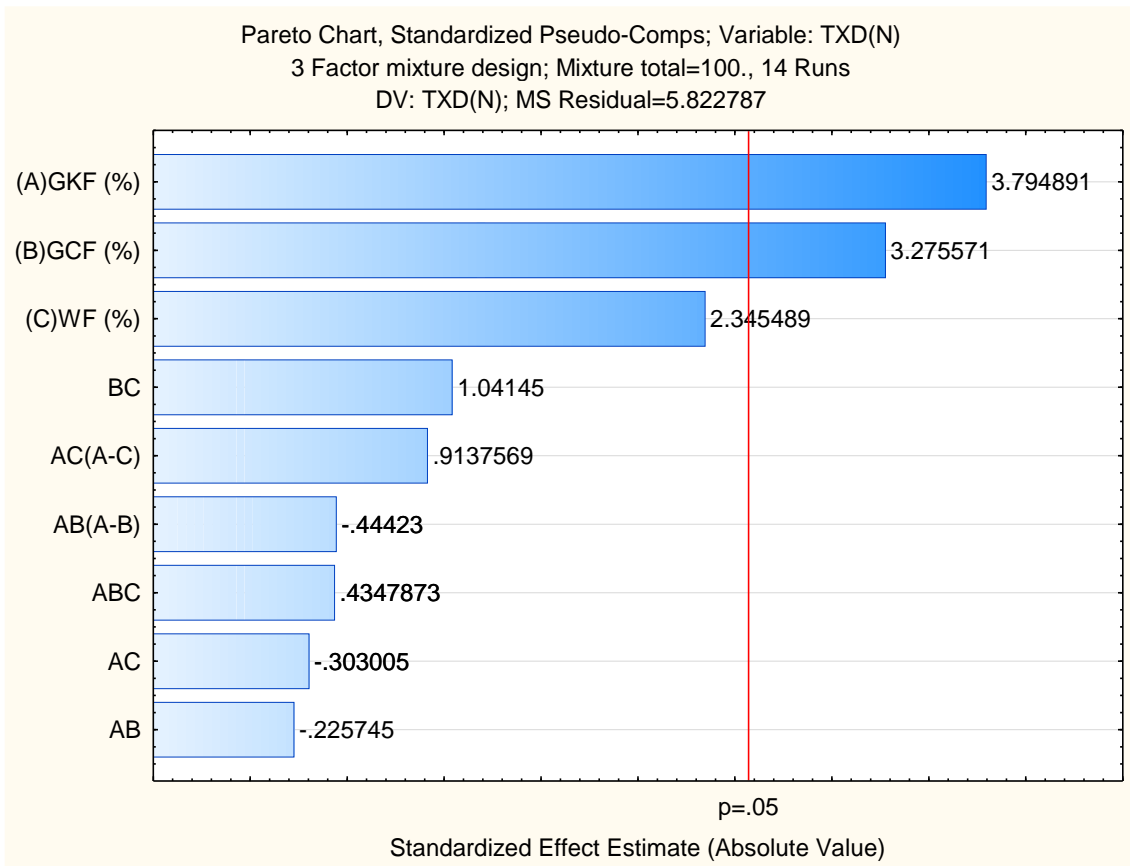


Figura 42: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos para la Textura – Dureza del pan molde.

En el gráfico de superficie de respuesta y de contorno (Figura 40 y 41), se observaron dos zonas con un mayor nivel de dureza: la primera cuando aumenta el nivel de harina de cañihua germinada y disminuye el nivel de harina de trigo, y una segunda región cuando se incrementa el nivel de harina de kiwicha germinada y se disminuye el porcentaje de harina de trigo. Los valores de Textura – Dureza obtenidos en la presente investigación, variaron entre 3.63 N y 9.19 N, siendo la formulación F2, la que presenta la menor dureza y la formulación F7, la de mayor dureza. Benavides (2017), reportó que la dureza promedio de un pan de molde blanco de trigo es de 4.072 N, valor similar al de la dureza de la formulación F14 de esta investigación. Por el contrario, la mayoría de las formulaciones están por encima de estos valores. Igualmente, Vásquez *et al.* (2017) reportó valores similares de dureza a la presente investigación en panes de molde, con una sustitución parcial de la harina de trigo por harina de avena (4.82-6.71 N), maíz (4.78-7.28 N) y sorgo (8.2-10.51 N). Por otro lado,

Bajaña y Setti (2015), reportó un incremento de la dureza en pan de molde cuando incremento el porcentaje de sustitución de la harina de trigo por harina de banano alcanzando los 4.86 N, 7.91 N y 15.21 N para un grado de sustitución del 10%, 20% y 30%, respectivamente. En la presente investigación se muestra una mayor dureza en la mayoría de las muestras, respecto al promedio de la dureza de un pan de molde sin sustitución, esto se debe posiblemente a que la dureza del pan está determinada por las interacciones de los componentes del pan (almidón-agua-gluten) a través de la formación de puentes de hidrógeno entre los gránulos del almidón y la red de gluten. Es por ello que, al realizar una sustitución de la harina de trigo por una harina de bajo gluten, queda una gran cantidad de agua sin utilizar que entra en contacto con el aire se da la formación de nuevos puentes de hidrogeno dando el endurecimiento del pan.

Textura – Masticabilidad del pan de molde. -

El ANOVA (Anexo 10 – Cuadro 10G), de los modelos de regresión que explican el comportamiento de la TXM en base a los porcentajes de GKF, GCF y WF, empleadas en su preparación, se reportó que los modelos de tipo lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico tienen valores $p = 0.000$, 0.7654 , 0.0773 , 0.7260 , respectivamente. Siendo, el modelo lineal el elegido, por tener el efecto estadístico significativo con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$). Los parámetros lineales individuales fueron estadísticamente significativos (Anexo 10 – Cuadro 10H), quedando el modelo matemático que describe la Textura – Masticabilidad expresado de la siguiente manera:

$$\text{TXM} = + 32.35 * \text{GKF} (\%) + 44.44 * \text{GCF} (\%) + 20.09 * \text{WF} (\%) + 0$$

En la Figura 43 y 44, se presenta el comportamiento de la Textura – Masticabilidad del pan de molde, debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo empleado en su elaboración. Es así que, en la Figura 45, se presenta el gráfico de Pareto, mostrando la significancia de los parámetros lineales sobre el modelo.

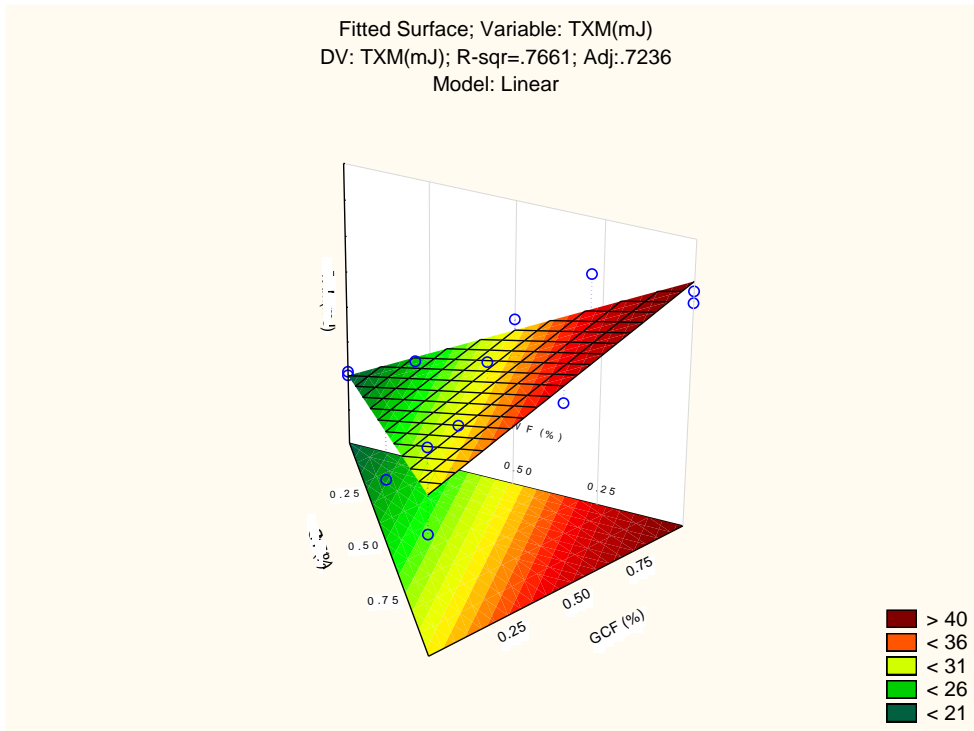


Figura 43: Gráfico de superficie de respuesta para la Textura – Masticabilidad del pan de molde.

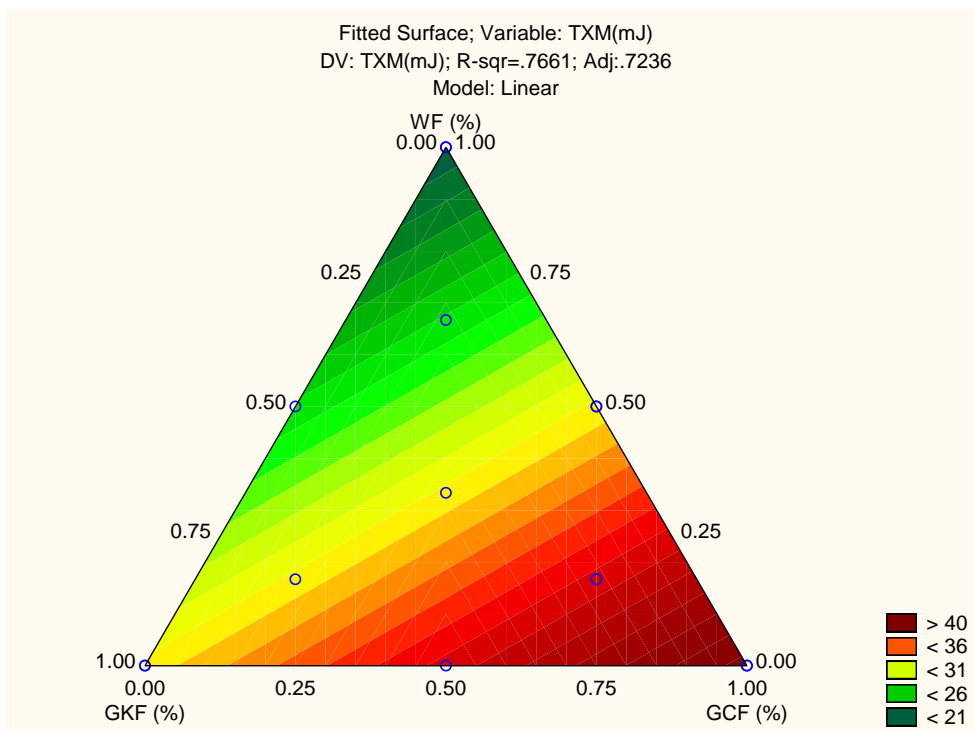


Figura 44: Gráfico de contorno para la Textura – Masticabilidad del pan de molde.

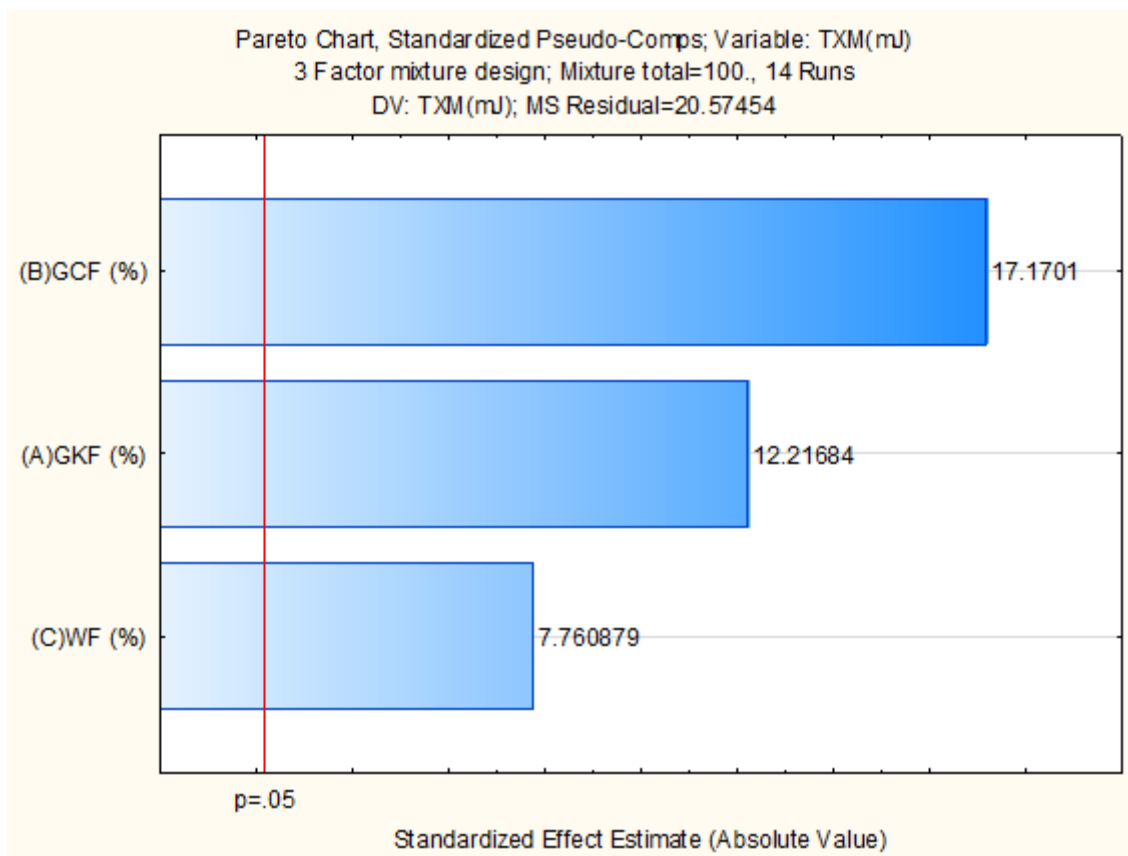


Figura 45: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos para la Textura – Masticabilidad del pan molde.

Del gráfico de superficie de respuesta y de contorno (Figura 43 y 44), se deduce que el incremento del porcentaje de harina de cañihua germinada, incrementa la masticabilidad. Es por ello que, los valores de Textura – Masticabilidad, en la presente investigación varían entre 19.4 mJ a 46.15 mJ, siendo la formulación F10 la que presenta la menor masticabilidad y la formulación F7, la de mayor masticabilidad. Benavides (2017) reportó un nivel de masticabilidad promedio de 19 mJ para el pan blanco de trigo, valor similar a la muestra F10 con 19.4 mJ, reportado en esta investigación. Así mismo, las demás formulaciones estuvieron por encima de este valor. Bajaña y Setti (2015) también reportaron un incremento de la masticabilidad en el pan de molde, cuando incrementó el porcentaje de sustitución de trigo por harina de banano alcanzándose los 15.05 N, 24.89 N y 47.22 N para los grados de sustitución del 10%, 20% y 30% respectivamente. Los valores de masticabilidad para un grado de sustitución de 20% y 30% del estudio de Bjana y Setti (2015) fueron similares a los reportados en esta

investigación cuyo grado de sustitución fue de entre 10% y 20%. La masticabilidad (mJ) se define como el producto de la cohesividad, la elasticidad y la dureza, y representa la cantidad de energía necesaria para desintegrar un alimento para poder tragarlo (Lin *et al.* 2012). Al aumentar la cohesividad, la elasticidad y la dureza, se espera un aumento de la masticabilidad del pan de molde. Esto se puede evidenciar en la presente investigación, notándose una mayor masticabilidad en aquellas formulaciones que presentan una mayor dureza, sabiendo que la dureza se incrementó cuanto mayor fue el grado de sustitución, por lo tanto un mayor grado de masticabilidad se podría deber, a la sustitución de la harina de trigo por harinas libres de gluten que dejan una gran cantidad de agua sin utilizar que al entrar en contacto con el aire, se forman nuevos puentes de hidrogeno, que resultan en el endurecimiento del pan y aumento de la masticabilidad.

Textura – Cohesividad del pan de molde. -

El ANOVA (Anexo 10 – Cuadro 10I) de los modelos de regresión que explican el comportamiento de la TXC, en base a los porcentajes de GKF, GCF y WF, empleadas en su elaboración dio lugar a valores de $p > 0.05$ lo que indicó que los modelos de tipo lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico no son estadísticamente significativos. Por otro lado, los coeficientes de determinación R fueron relativamente bajos (0.270, 0.410, 0.415 y 0.518 respectivamente). No obstante, se seleccionó el modelo cúbico por tener un mayor valor de R para analizar los resultados obtenidos de la Textura – Cohesividad (TXC) de las diferentes muestras. Los parámetros lineales individuales fueron estadísticamente significativos mientras que los parámetros cuadráticos y cúbicos no fueron estadísticamente significativos (Anexo 10 – Cuadro 10J) quedando el modelo matemático que describe la Textura – Cohesividad expresado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{TXC} = & + 0.64 * \text{GKF} (\%) + 0.80 * \text{GCF} (\%) + 0.58 * \text{WF} (\%) + 0.19 * \text{GKF} \\ & (\%) * \text{GCF} (\%) - 0.17 * \text{GKF} (\%) * \text{WF} (\%) - 0.57 * \text{GCF} (\%) * \text{WF} (\%) + \\ & 0.91 * \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) * \text{WF} (\%) + 1.40 * \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) * (\text{GKF} \\ & (\%) - \text{GCF} (\%)) - 2.20 * \text{GKF} (\%) * \text{WF} (\%) * (\text{GKF} (\%) - \text{WF} (\%)) + 0 \end{aligned}$$

En la Figura 46 y 47, se presenta el comportamiento de la Textura – Cohesividad del pan de molde, debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo empleado en su elaboración. En la Figura 48, se presenta el grafico de Pareto, mostrando el grado de significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos sobre el modelo, siendo solo los lineales significativos.

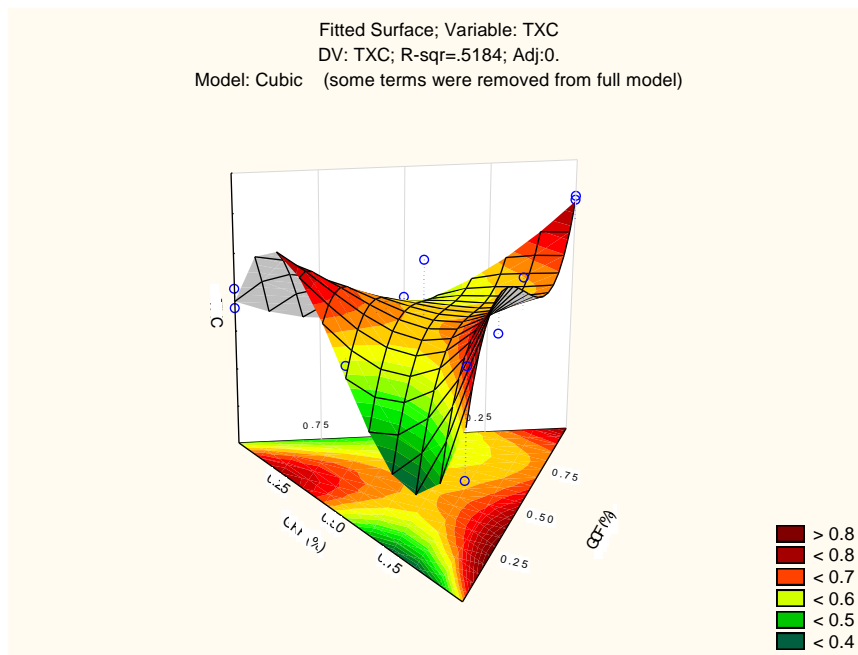


Figura 46: Gráfico de superficie de respuesta para la Textura – Cohesividad del pan de molde.

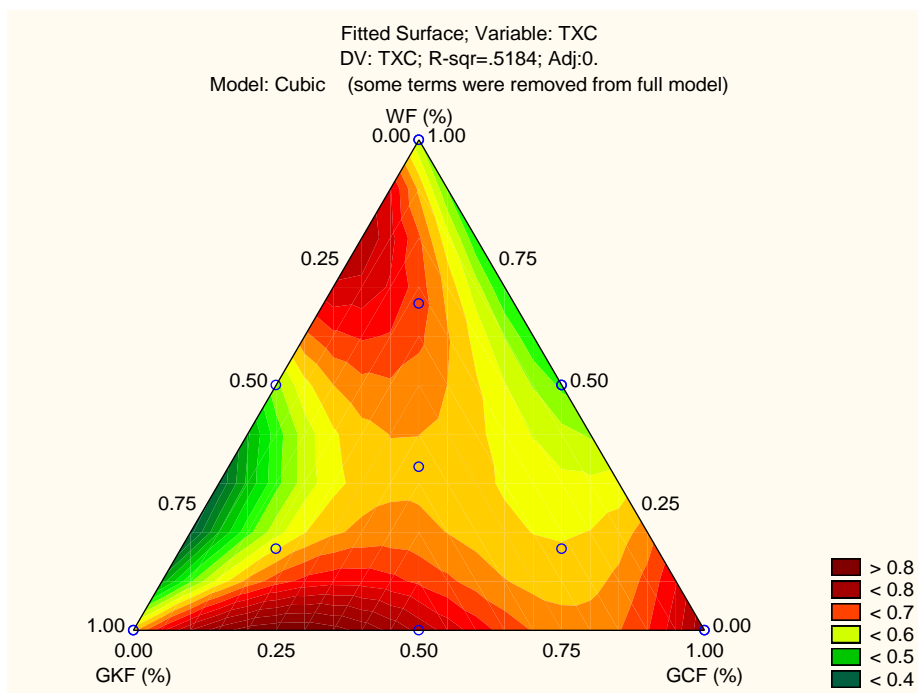


Figura 47: Gráfico de contorno para la Textura – Cohesividad del pan de molde.

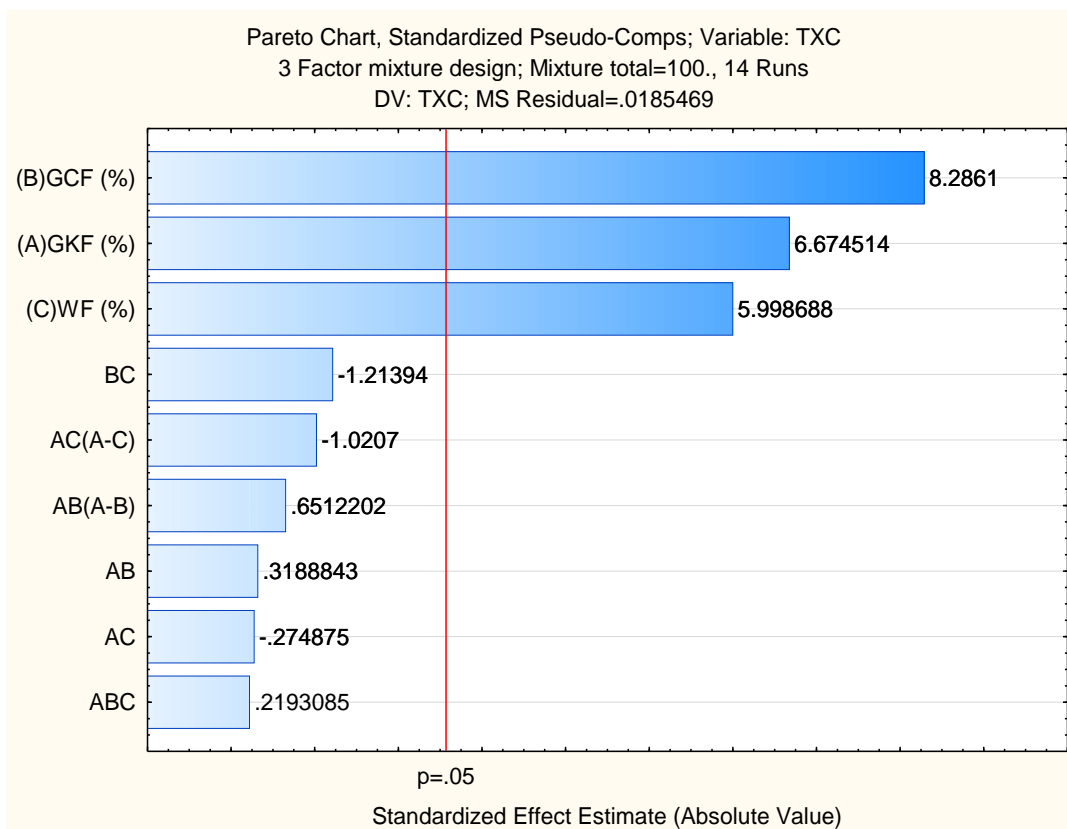


Figura 48: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos para la textura-Cohesividad del pan molde.

En el gráfico de superficie de respuesta y de contorno (Figura 46 y 47), se muestra un área central de menor cohesividad. Así mismo, se observó que los valores de cohesividad obtenidos en la presente investigación varían entre 0.51 a 0.81, siendo la formulación F9, la que presenta la menor cohesividad y la formulación F4, la de mayor cohesividad. La cohesividad es el límite hasta el cual el material se puede deformar antes de romperse, es adimensional (Hleap, 2010). Benavides (2017), reportó que la cohesividad promedio de un pan de molde de trigo es de 0.610 para un día de almacenamiento, siendo este valor similar al encontrado para las formulaciones F10 (0.60), F11 (0.59) y F8 (0.61) de esta investigación. Así mismo, Vásquez *et al.* (2017), reportó los rangos de cohesividad en panes de molde con una sustitución parcial de la harina de trigo por harina de avena (0.92-0.98), maíz (0.94-0.96) y sorgo (0.96-0.98), valores que están por encima de los reportados en la presente investigación. Esta variación

podría deberse a que el análisis, se pudo haber hecho en diferentes tiempos. La disminución en la cohesividad está asociada a la pérdida de interacción molecular de los ingredientes, la pérdida de agua y la tendencia a desmenuzarse por el añejamiento. Durante el desarrollo de la masa se generan enlaces iónicos que mantienen la cohesión y contribuyen a la retención de gases durante la cocción, por ello, durante el almacenamiento estos enlaces sufren cambios (migración de agua, cristalización del almidón), lo que genera un desorden gradual de la estructura (Esteller *et al.* 2004). La disminución de la cohesividad en los panes elaborados en esta investigación se reduce cuando se incrementa el grado de sustitución posiblemente al menor contenido de gluten y mayor contenido de fibra.

Color instrumental de la miga del pan de molde. -

El ANOVA (Anexo 10 – Cuadro 10K) de los modelos de regresión que explican el comportamiento de L* en base a los porcentajes de GKF, GCF y WF, empleadas en su elaboración, se obtuvo que los modelos de tipo lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico tienen valores de $p > 0.05$, lo que indica que los modelos no son estadísticamente significativos sobre la respuesta (L*). Dichos modelos presentaron un $R = 0.130, 0.225, 0.274$ y 0.541 respectivamente, siendo valores relativamente bajos, sin embargo, se seleccionó el cúbico en base a su mayor valor de R para analizar los resultados obtenidos de los valores en L* de las diferentes formulaciones. Los parámetros lineales individuales fueron estadísticamente significativos sobre el modelo ajustado, mientras que los parámetros cuadráticos y cúbicos sobre el modelo ajustado no son estadísticamente significativos (Anexo 10 – Cuadro 10L) de modo que la ecuación de regresión que describe la luminosidad (L*) fue expresada de la siguiente manera:

$$L^* = + 60.31 * \text{GKF} (\%) + 59.30 * \text{GCF} (\%) + 60.55 * \text{WF} (\%) - 3.30 * \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) + 4.66 * \text{GKF} (\%) * \text{WF} (\%) + 0.67 * \text{GCF} (\%) * \text{WF} (\%) + 38.93 * \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) * \text{WF} (\%) - 10.03 * \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) * (\text{GKF} (\%) - \text{GCF} (\%)) - 41.08 * \text{GKF} (\%) * \text{WF} (\%) * (\text{GKF} (\%) - \text{WF} (\%)) + 0$$

En la Figura 49 y 50, se presenta el comportamiento de la luminosidad (L^*) en el pan de molde, debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo empleado en su elaboración. En la Figura 51, se presenta el gráfico de Pareto, mostrando el grado de significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos sobre el modelo ajustado, siendo solo los lineales significativos.

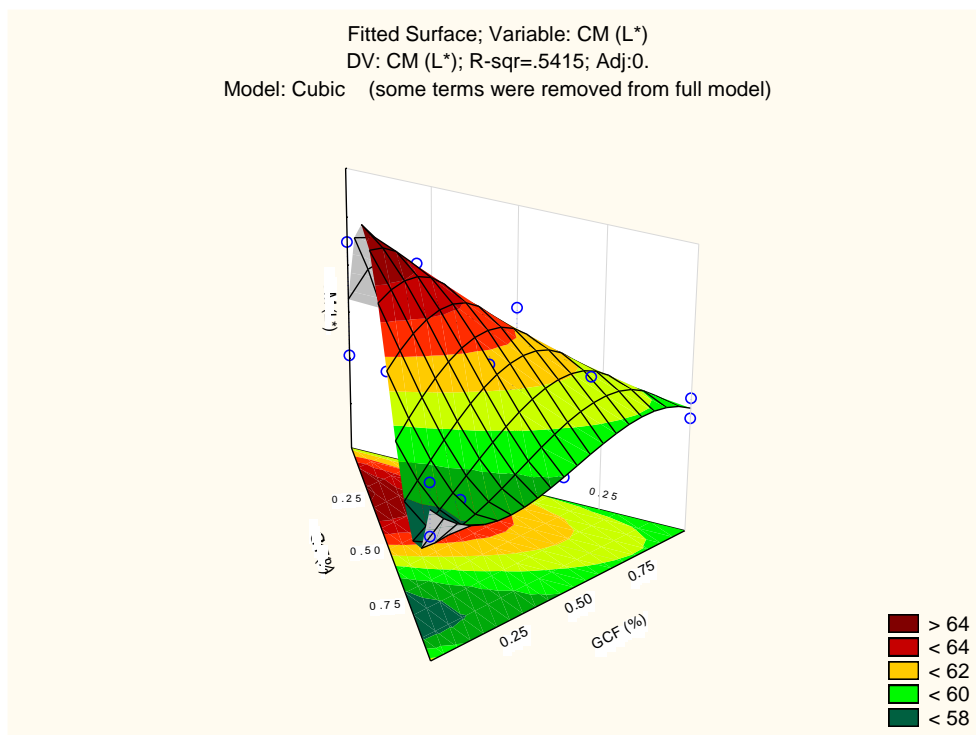


Figura 49: Gráfico de superficie de respuesta para la Luminosidad (L^*) del pan de molde.

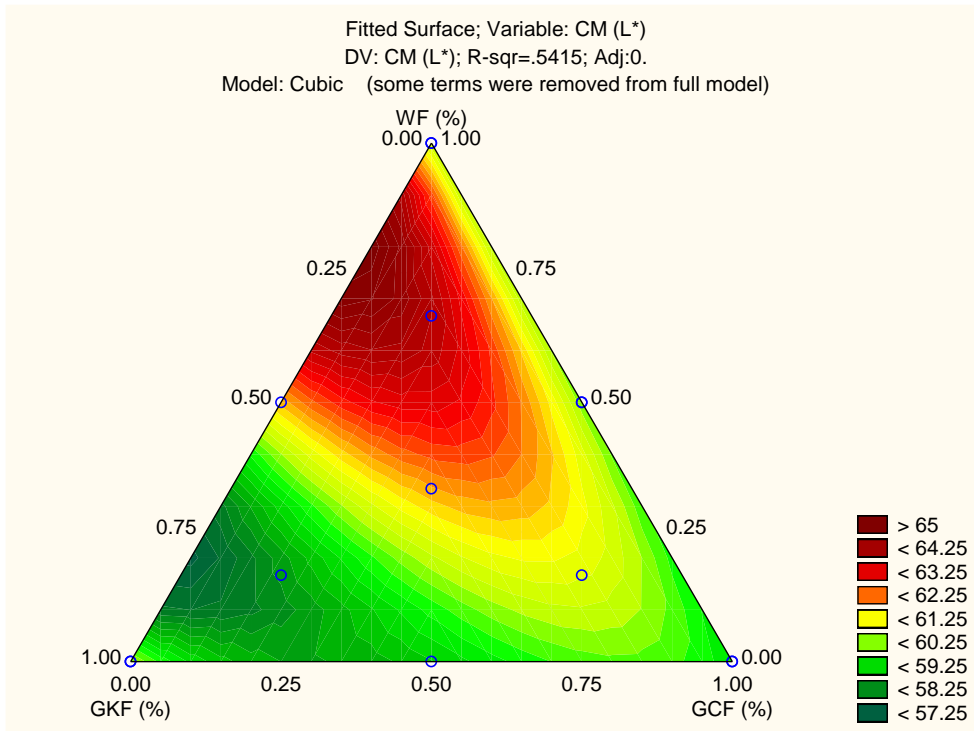


Figura 50: Gráfico de contorno para la Luminosidad (L*) del pan de molde.

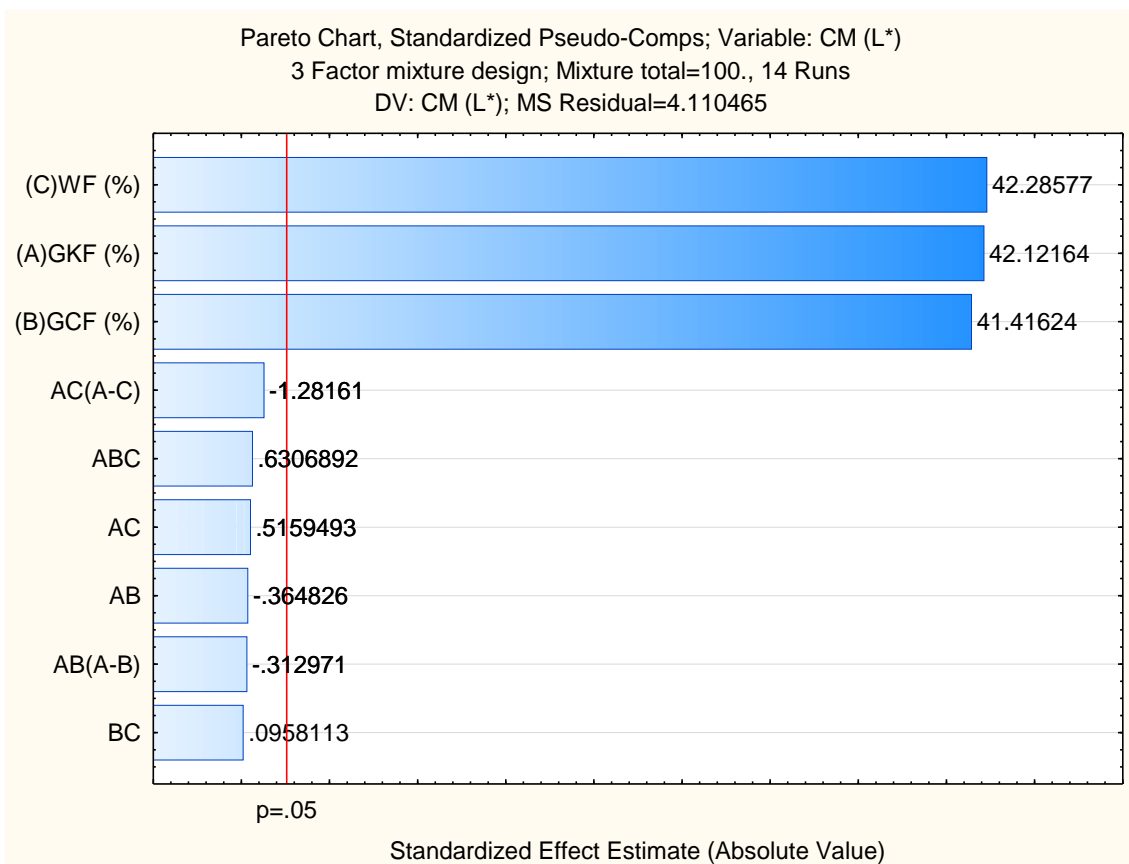


Figura 51: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos para la Luminosidad (L*) del pan molde.

El ANOVA (Anexo 10 – Cuadro 10M) de los modelos de regresión que explican el comportamiento de a^* en base a los porcentajes de GKF, GCF y WF, empleadas en su elaboración indicó que los modelos de tipo lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico no son estadísticamente significativos ($p > 0.05$) y tiene un pobre ajuste ($R = 0.102, 0.251, 0.293$ y 0.515 respectivamente). No obstante, para analizar los resultados obtenidos de los valores de a^* de las diferentes formulaciones se seleccionó el modelo cúbico por su mayor valor de R. Así mismo, solo los parámetros lineales individuales fueron estadísticamente significativos (Anexo 10 – Cuadro 10N quedando el modelo matemático que describe la cromaticidad (a^*) expresado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 a^* = & + 5.48 * \text{GKF} (\%) + 6.01 * \text{GCF} (\%) + 5.12 * \text{WF} (\%) - 1.73 * \text{GKF} \\
 & (\%) * \text{GCF} (\%) - 2.24 * \text{GKF} (\%) * \text{WF} (\%) - 3.25 * \text{GCF} (\%) * \text{WF} (\%) + \\
 & 16.30 * \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) * \text{WF} (\%) + 18.06 * \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) * \\
 & (\text{GKF} (\%) - \text{GCF} (\%)) - 8.16 * \text{GKF} (\%) * \text{WF} (\%) * (\text{GKF} (\%) - \text{WF} (\%)) + \\
 & 0
 \end{aligned}$$

En la Figura 52 y 53, se presenta el comportamiento de la cromaticidad (a^*) del pan de molde, debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo empleado en su elaboración. En la Figura 54, se presenta el gráfico de Pareto, mostrando el grado de significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos sobre el modelo ajustado, siendo solo los lineales significativos.

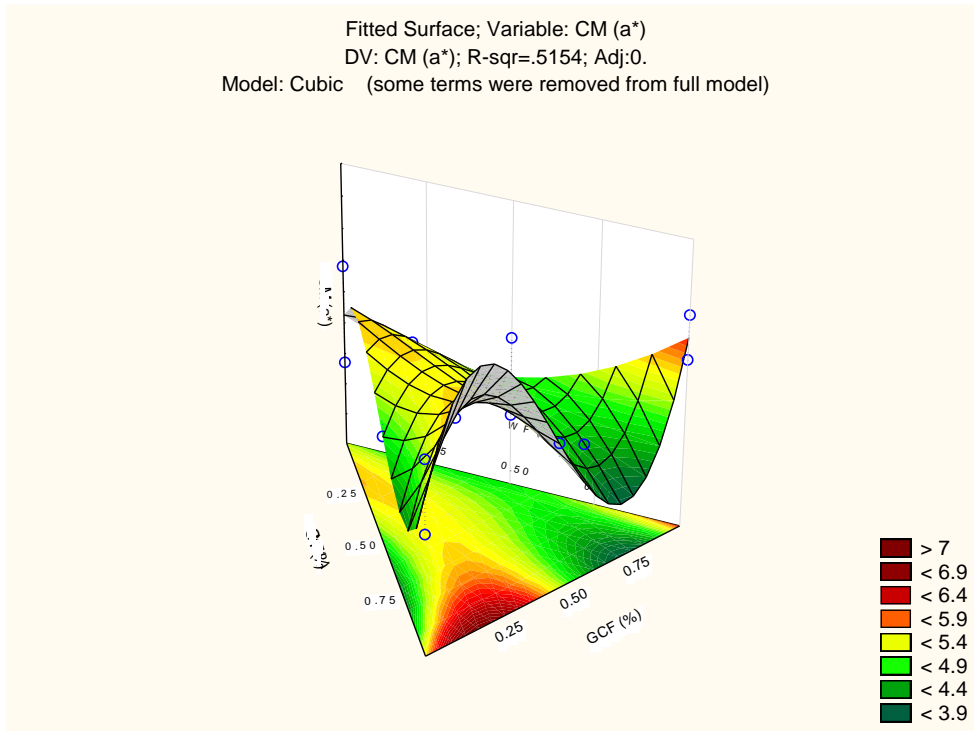


Figura 52: Gráfico de superficie de respuesta para la cromaticidad (a*) del pan de molde.

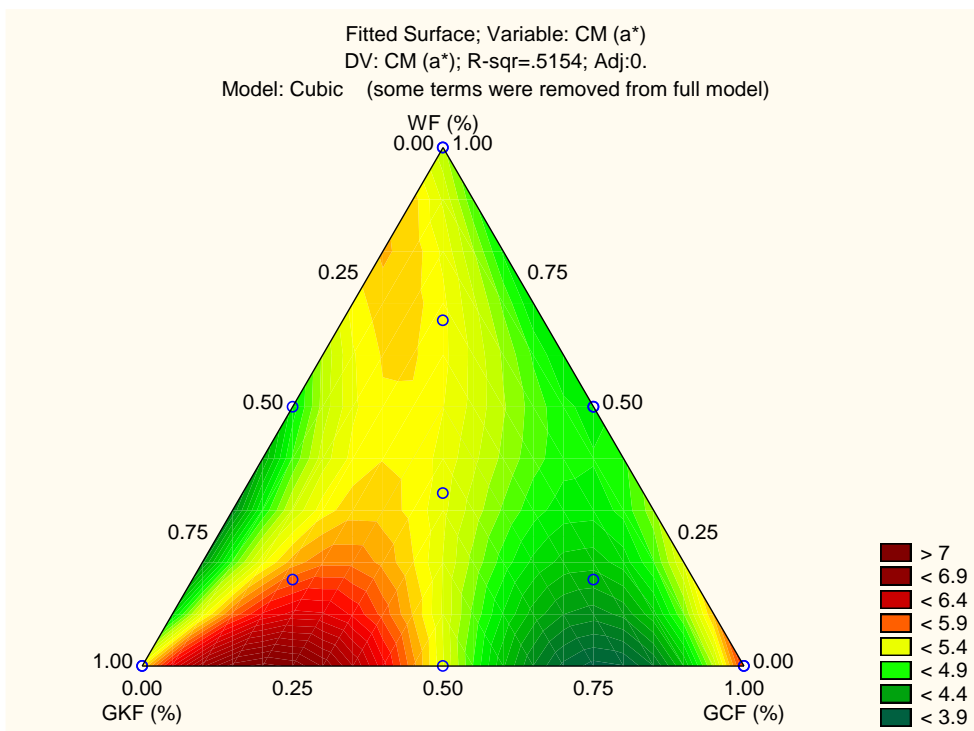


Figura 53: Gráfico de contorno para la cromaticidad (a*) del pan de molde.

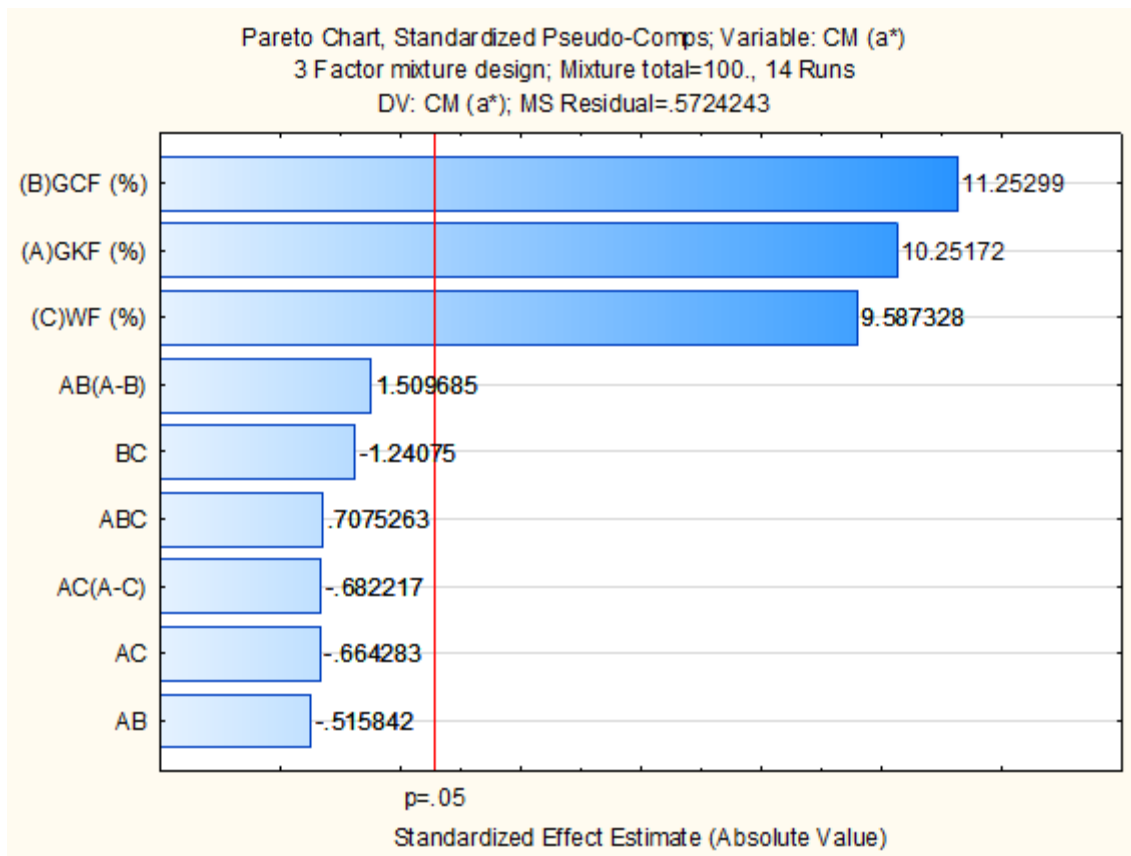


Figura 54: Gráfico de Pareto de la cromaticidad de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos para la cromaticidad (a*) del pan molde.

El ANOVA (Anexo 10 – Cuadro 10Ñ) de los modelos de regresión que explican el comportamiento de b*, en base a los porcentajes de GKF, GCF y WF, empleadas en su elaboración, se obtuvo que los modelos de tipo lineal, cuadrático, cubico especial y cúbico no fueron estadísticamente significativos sobre la respuesta (b*) ($p > 0.05$) y su ajuste fue muy pobre ($R = 0.060, 0.220, 0.278$ y 0.492 , respectivamente) se seleccionó el modelo cúbico (con mayor R) para analizar los resultados obtenidos de los valores de b* de las diferentes formulaciones. Sólo los parámetros lineales individuales fueron estadísticamente significativos (Anexo 10 – Cuadro 10 O). De esta manera, el modelo matemático que describe la cromaticidad (b*) fue expresado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 b^* = & + 16.54 * \text{GKF} (\%) + 16.34 * \text{GCF} (\%) + 16.50 * \text{WF} (\%) + 4.58 * \text{GKF} \\
 & (\%) * \text{GCF} (\%) - 2.26 * \text{GKF} (\%) * \text{WF} (\%) - 2.86 * \text{GCF} (\%) * \text{WF} (\%) - \\
 & 40.85 * \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) * \text{WF} (\%) - 33.76 * \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) * \\
 & (\text{GKF} (\%) - \text{GCF} (\%)) + 37.52 * \text{GKF} (\%) * \text{WF} (\%) * (\text{GKF} (\%) - \text{WF} (\%)) \\
 & + 0
 \end{aligned}$$

En la Figura 55 y 56, se presenta el comportamiento de la cromaticidad (b^*) del pan de molde, respecto al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo, empleado en su elaboración. En la Figura 57, se presente el gráfico de Pareto, mostrando el grado de significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos sobre el modelo ajustado, siendo solo los lineales significativos.

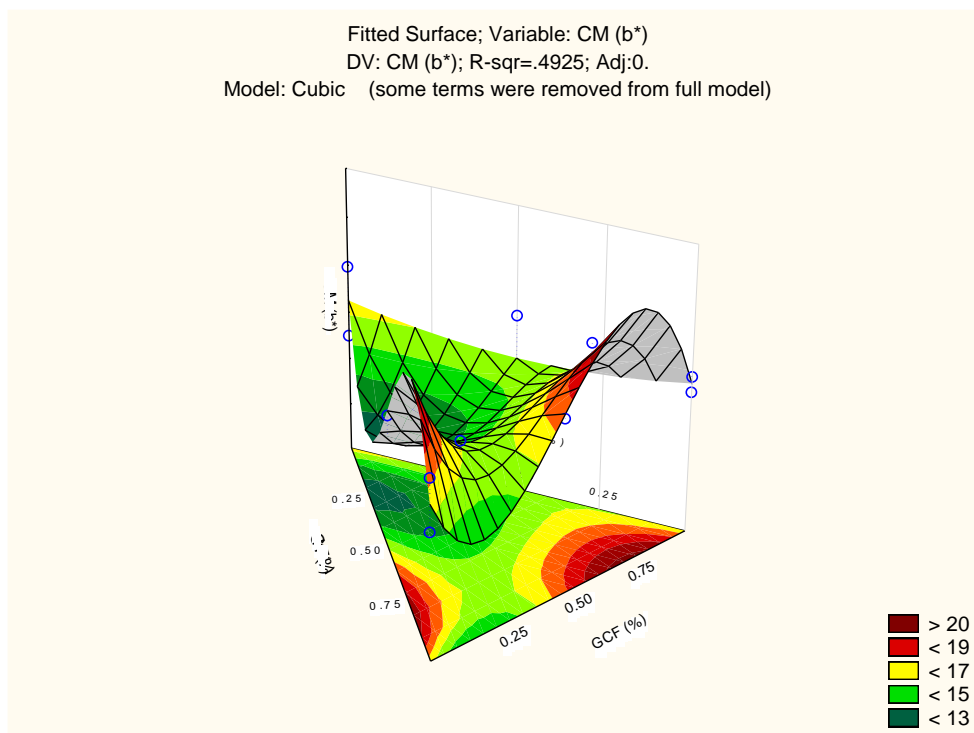


Figura 55: Gráfico de superficie de respuesta para la cromaticidad (b^*) de la miga del pan de molde.

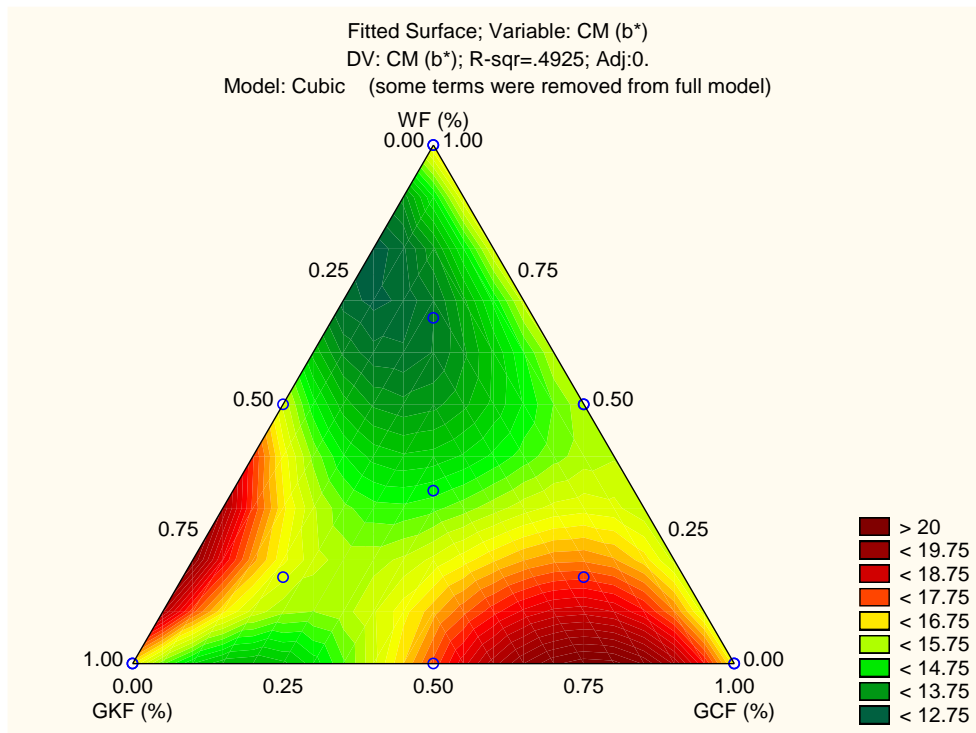


Figura 56: Gráfico de contorno para la cromaticidad (b*) de la miga del pan de molde.

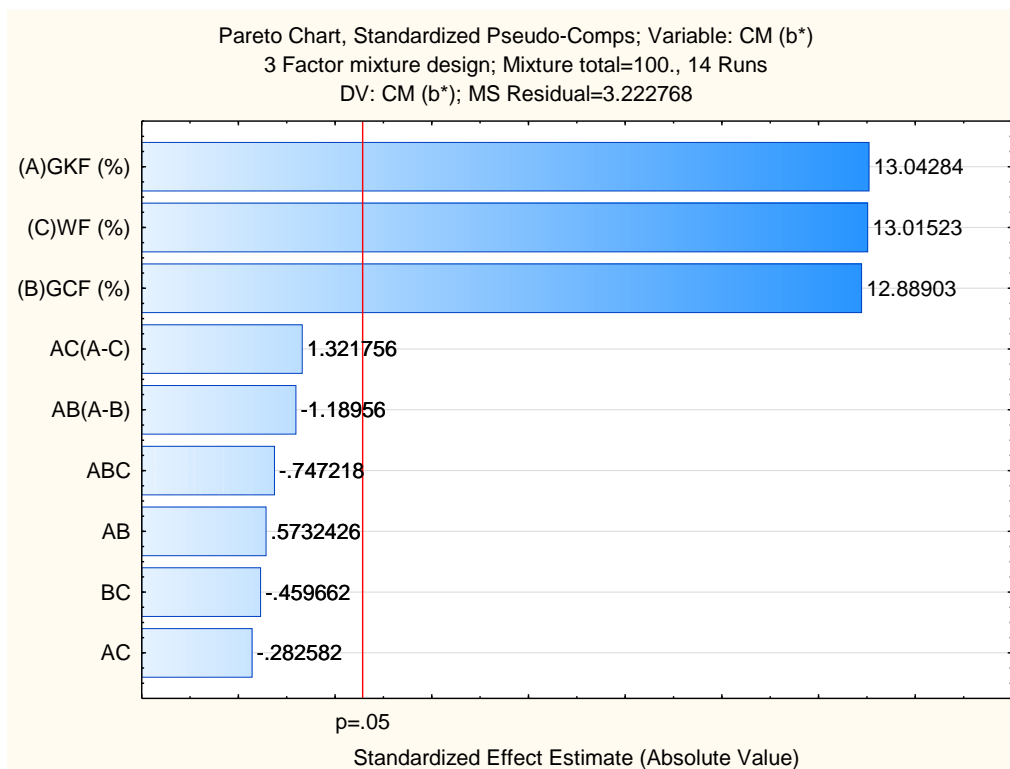


Figura 57: Gráfico de Pareto de la cromaticidad de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos para la cromaticidad (b*) de la miga del pan molde.

En la presente investigación, los valores de L^* (Luminosidad) para la miga del pan de molde oscilaron entre 58.12 y 63.87, siendo el menor valor para la formulación F8 y el mayor para la formulación F11. Guzmán (2015), reportó que el pan de molde sin ningún porcentaje de sustitución del trigo presenta un valor de L^* de 76.90, mientras que Benavides (2017) reportó valores de entre 76.85 hasta 78.82 para panes de molde de pan blanco; siendo, los valores de L^* presentados por ambos investigadores, mayores a los que son dados en esta investigación, es decir, los panes de molde de las diferentes formulaciones de este estudio presentaron una menor luminosidad, debido a la sustitución parcial de la harina de trigo por las harinas de granos germinados (kiwicha y cañihua), que presentan una coloración más oscura. Así mismo, en el estudio de Guzmán (2015), los valores de L^* para la miga de pan de molde con sustitución parcial (4%, 8% y 12%) de la harina de trigo por un ingrediente funcional fueron 67.10, 58.99 y 52.24, respectivamente. Estos resultados evidencian que a mayor grado de sustitución menor luminosidad, siendo valores similares a los reportados en la presente investigación.

Los valores de cromaticidad (a^*) para la miga del pan de molde encontrados en esta investigación oscilaron entre 4.14 a 6.36, siendo el menor valor para la formulación F6 y el mayor valor para la formulación F4. Teniendo en cuenta los valores reportados por Guzmán (2015) donde el pan de molde a base de harina de trigo presenta un valor a^* de 2.44 los panes de molde desarrollados en esta tesis presentan un mayor valor de cromaticidad (a^*) que indica una coloración más roja debido posiblemente a la incorporación de los granos de cañihua. Además, el trabajo de Guzmán (2015) concluyó que la sustitución parcial de la harina de trigo al 4%, 8% y 12% por un ingrediente funcional aumenta la cromaticidad (a^*) hasta 3.85, 5.82 y 7.20 respectivamente, siendo estos valores similares a los reportados en la presente investigación.

Por otro lado, los valores de cromaticidad (b^*) para la miga del pan de molde, reportados en esta investigación, presentaron valores entre 13.72 a 18.26, siendo el menor valor para la formulación F12 y el mayor valor para la formulación F7. El pan de molde sin ningún porcentaje de sustitución del

trigo presenta un valor de b^* de 20.55 de acuerdo a Guzmán (2015), siendo este valor mayor a los observados en nuestra investigación lo que indica que los panes de molde desarrollados presentan una menor cromaticidad (b^*), tendiendo a una coloración más azul debido posiblemente, a la incorporación de los granos andinos germinados. A diferencia de nuestros resultados, Guzmán (2015) observó menor cromaticidad para la miga de pan de molde con sustitución parcial de la harina de trigo al 4%, 8% y 12% por un ingrediente funcional ($b^* = 22.43, 26.43$ y 28.21 , respectivamente), debido posiblemente a que la sustitución se realizó con una harina de color diferente a la empleada en esta investigación.

Color Instrumental de la corteza del pan de molde.-

La ANOVA (Anexo 10 – Cuadro 10P) de los modelos de regresión que explican el comportamiento de L^* , en base a los porcentajes de GKF, GCF y WF empleadas en su elaboración, se reportó que los modelos de tipo lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico no son estadísticamente significativos ($p > 0.05$) ni presentaron buen ajuste ($R^2 = 0.026, 0.081, 0.400$ y 0.696 respectivamente) Se seleccionó el modelo cúbico para analizar el comportamiento de L^* por tener un mayor valor de R^2 . Exclusivamente los parámetros lineales individuales fueron estadísticamente significativos (Anexo 10 – Cuadro 10Q) que dando el modelo de regresión que describe la luminosidad (L^*) expresado de la siguiente manera:

$$L^* = + 39.88 * GKF (\%) + 38.91 * GCF (\%) + 40.26 * WF (\%) + 4.88 * GKF (\%) * GCF (\%) + 8.46 * GKF (\%) * WF (\%) + 6.68 * GCF (\%) * WF (\%) - 88.62 * GKF (\%) * GCF (\%) * WF (\%) - 41.30 * GKF (\%) * GCF (\%) * (GKF (\%) - GCF (\%)) + 34.36 * GKF (\%) * WF (\%) * (GKF (\%) - WF (\%))$$

En la Figura 58 y 59, se presenta el comportamiento de la luminosidad (L^*) de la corteza del molde, debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo, empleado en su elaboración. En la Figura 60, se presenta el gráfico de Pareto, mostrando el grado de significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos sobre el modelo ajustado, siendo el lineal, de carácter significativo.

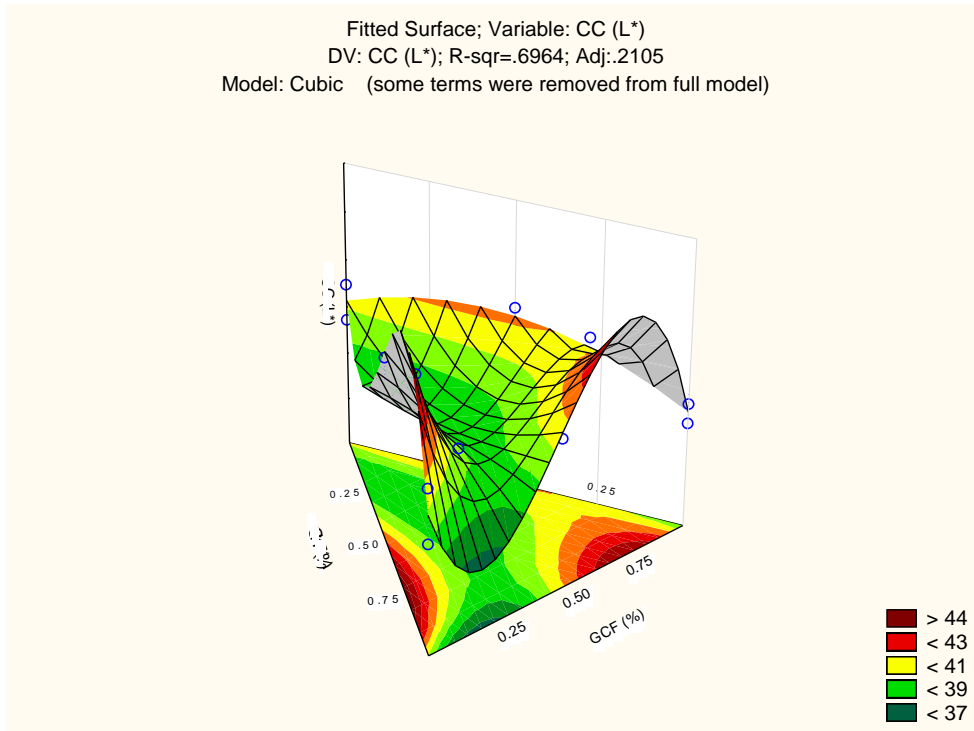


Figura 58: Gráfico de superficie de respuesta para la Luminosidad (L*) de la corteza del pan de molde.

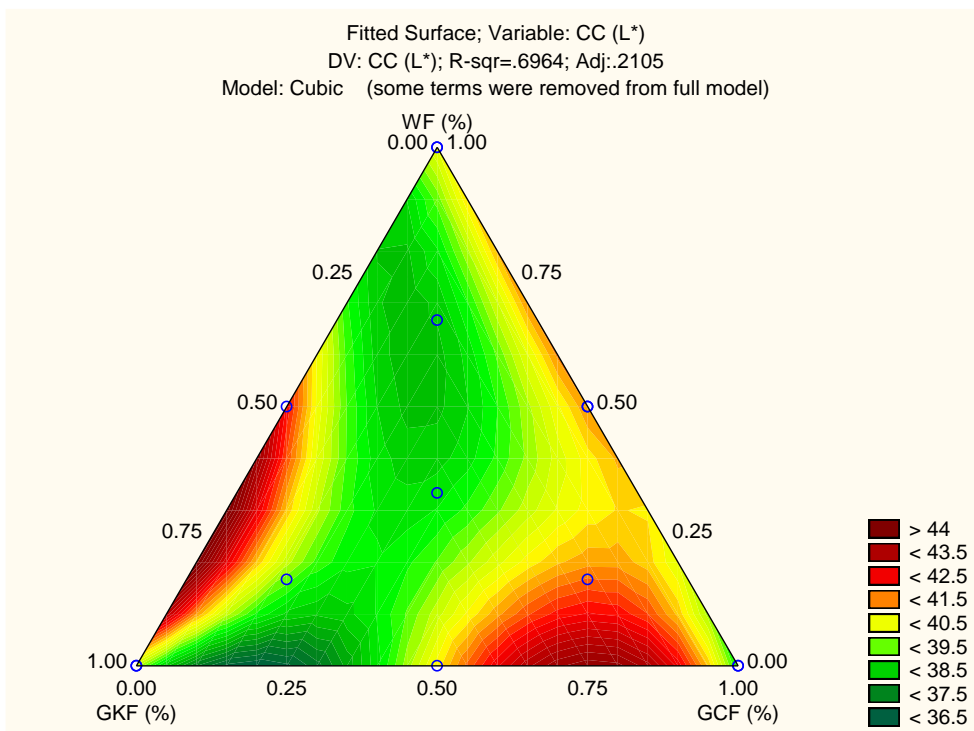


Figura 59: Gráfico de contorno para la Luminosidad (L*) de la corteza del pan de molde.

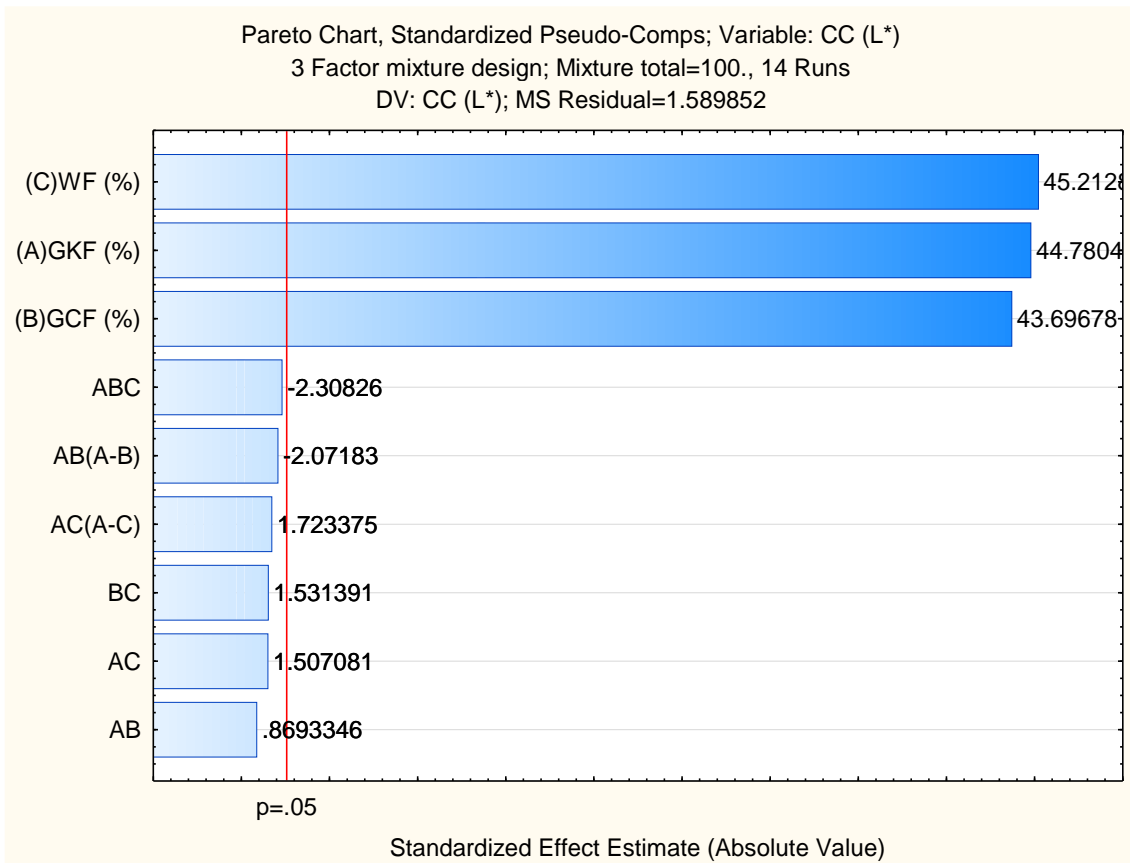


Figura 60: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos para la Luminosidad (L*) de la corteza del pan de molde.

El ANOVA (Anexo 10 – Cuadro 10R) de los modelos de regresión que explican el comportamiento de a^* , en base a los porcentajes de harina de kiwicha germinada (GKF), harina de cañihua germinada (GCF) y harina de trigo (WF) empleadas en su preparación indicó que los modelos de tipo lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico tienen valores $p = 0.033, 0.4100, 0.3438, 0.1899$ respectivamente. Por lo tanto, el modelo lineal fue elegido por tener el efecto estadístico significativo con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$). Además, los parámetros lineales individuales, son estadísticamente significativos sobre el modelo (Anexo 10 – Cuadro 10S). Así, el modelo matemático que describe la cromaticidad fue expresado de la siguiente manera:

$$a^* = + 15.48 * \mathbf{GKF (\%)} + 17.00 * \mathbf{GCF (\%)} + 14.81 * \mathbf{WF (\%)} + 0$$

En la Figura 61 y 62, se presenta el comportamiento de a^* de la corteza del pan de molde, debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y

cañihua y harina de trigo empleado en su elaboración. Además, en la Figura 63, se presenta el gráfico de Pareto, mostrando la significancia de los parámetros lineales sobre el modelo.

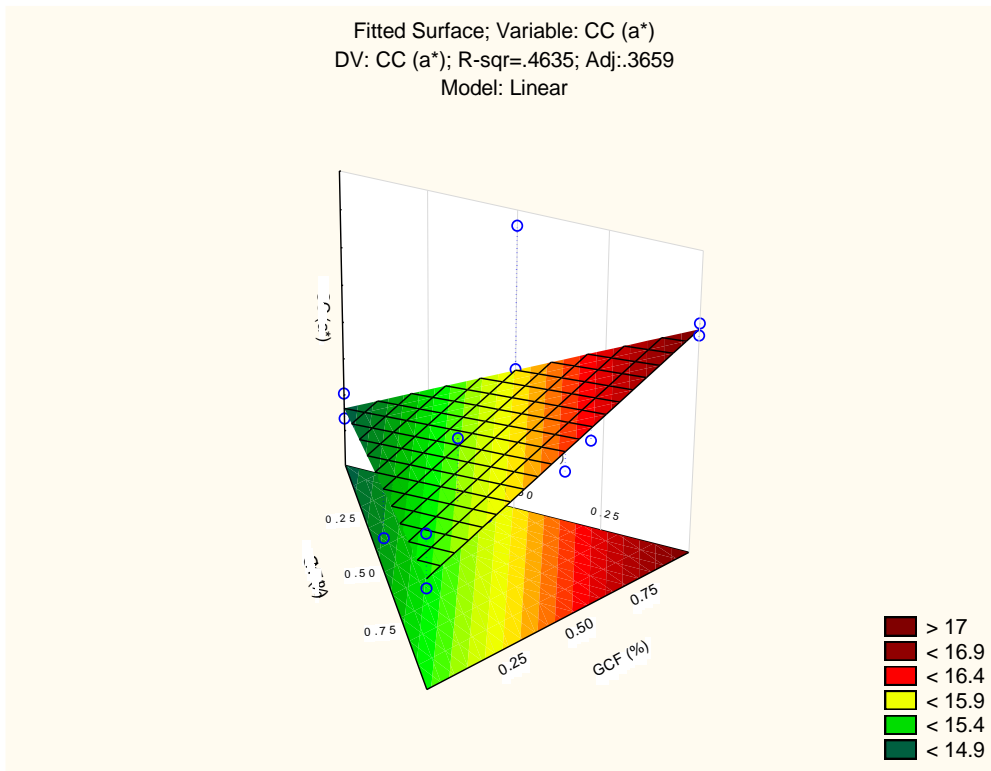


Figura 61: Gráfico de superficie de respuesta para a*, de la corteza del pan de molde.

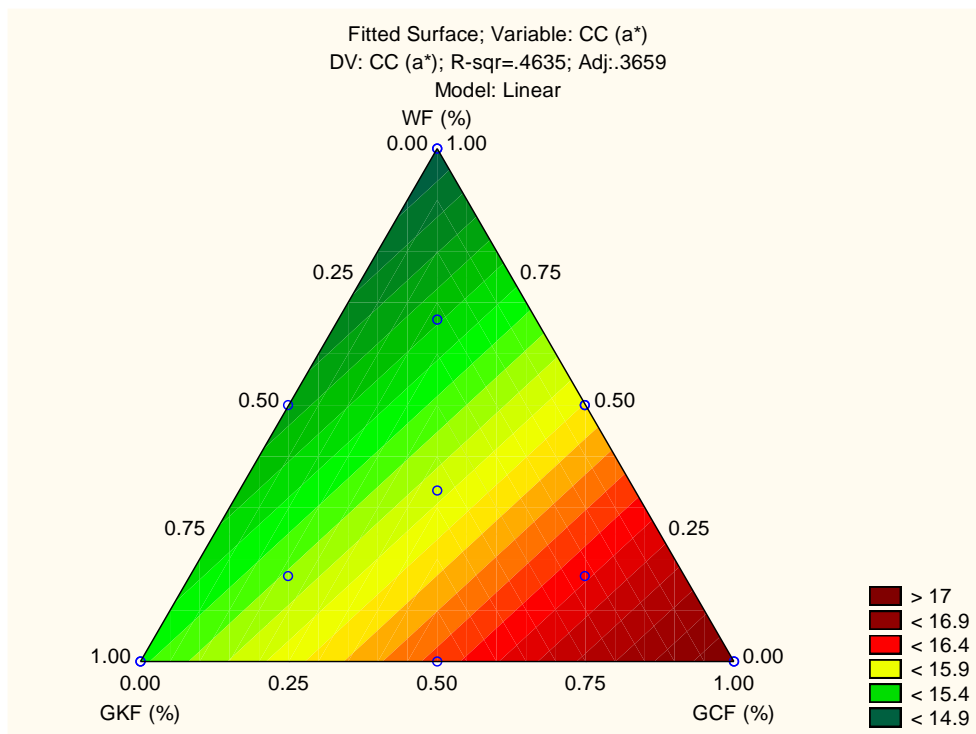


Figura 62: Gráfico de contorno para a* de la corteza del pan de molde.

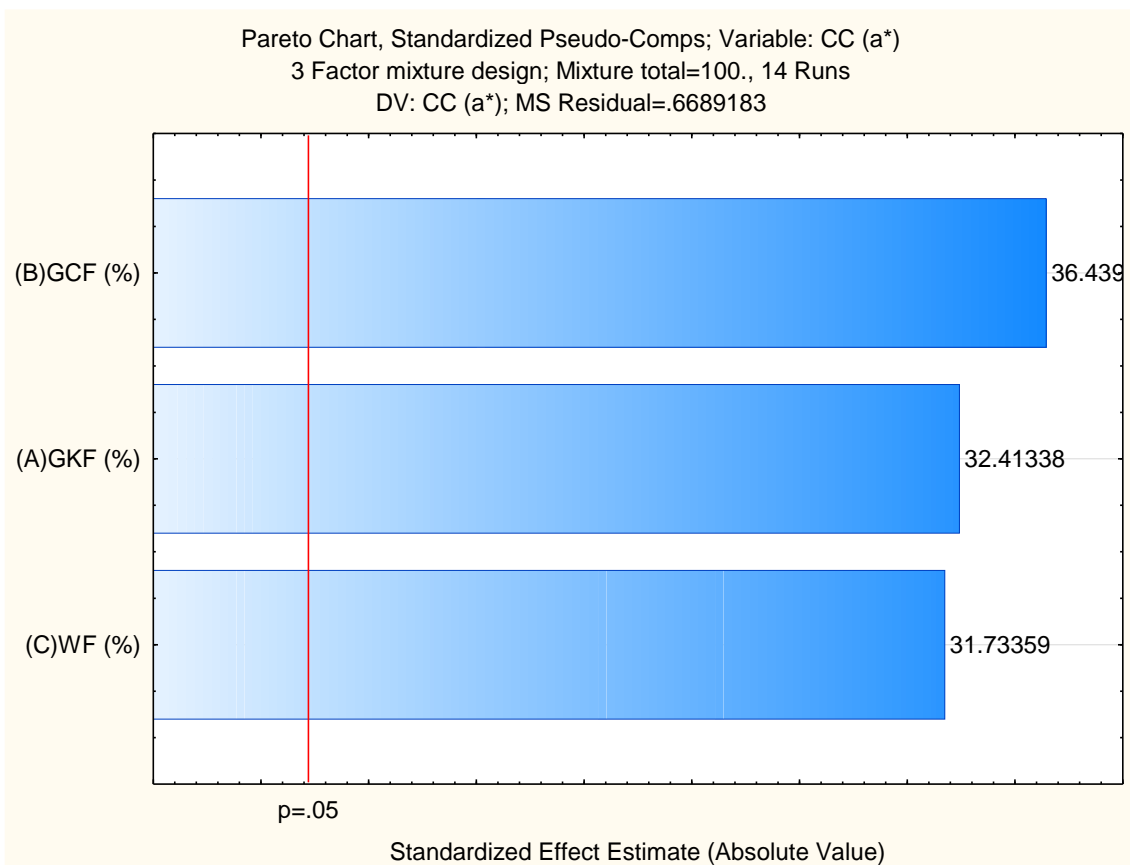


Figura 63: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales, para a^* de la corteza del pan de molde.

El ANOVA (Anexo 10 – Cuadro 10T) de los modelos de regresión que explican el comportamiento de b^* en base a los porcentajes de harina de kiwicha germinada (GKF), harina de cañihua germinada (GCF) y harina de trigo (WF) empleadas en su preparación, estableció que los modelos de tipo lineal, cuadrático, cubico especial y cúbico tienen valores $p = 0.6822, 0.1789, 0.9999, 0.0038$ y un valor de R de $0.0672, 0.4779, 0.4779, 0.8589$ respectivamente. El modelo cúbico fue elegido por tener el efecto estadístico significativo con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$). Con respecto a los parámetros lineales individuales fueron estadísticamente significativos sobre el modelo (Anexo 10 – Cuadro 10U). Siendo, el modelo matemático que describe la cromaticidad (b^*), expresado de la siguiente manera:

$$b^* = + 20.84 * \text{GKF} (\%) + 20.56 * \text{GCF} (\%) + 21.05 * \text{WF} (\%) + 0.12 * \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) + 16.86 * \text{GKF} (\%) * \text{WF} (\%) + 1.42 * \text{GCF} (\%) * \text{WF} (\%) - 6.44 * \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) * \text{WF} (\%) - 40.12 * \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) * (\text{GKF}(\%) - \text{GCF}(\%)) - 16.54 * \text{GKF} (\%) * \text{WF} (\%) * (\text{GKF}(\%) - \text{WF}(\%)) + 0$$

En la Figura 64 y 65, se presenta el comportamiento de b^* , acerca de la corteza del pan de molde debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo empleado en su elaboración. En la Figura 66, se presenta el gráfico de Pareto, mostrando la significancia de los parámetros lineales sobre el modelo.

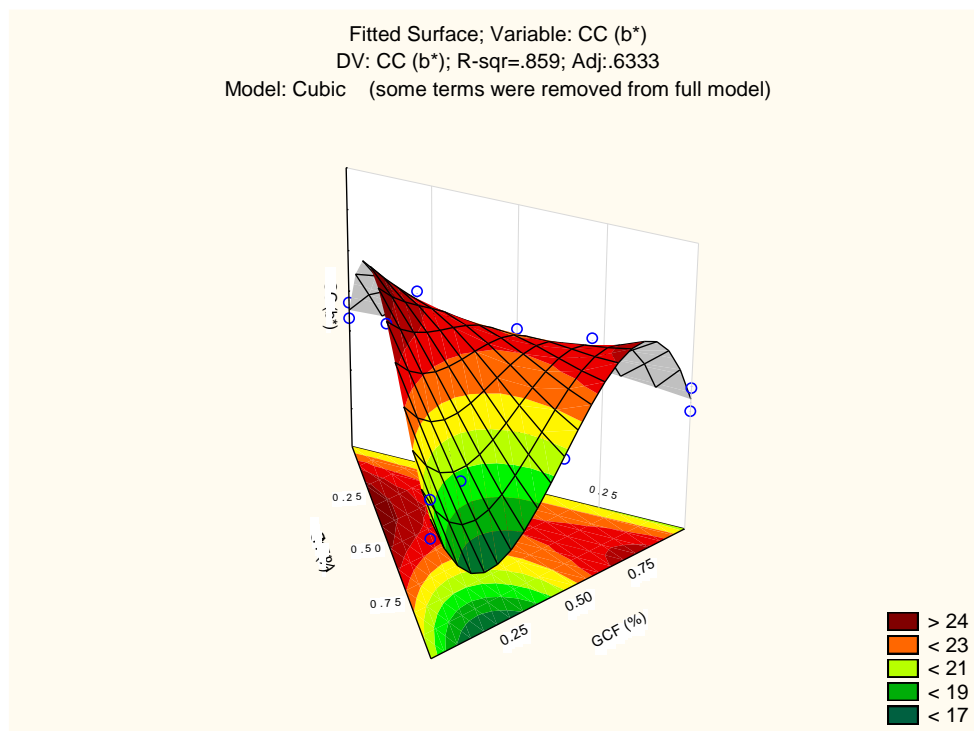


Figura 64: Gráfico de superficie de respuesta para b^* de la corteza del pan de molde.

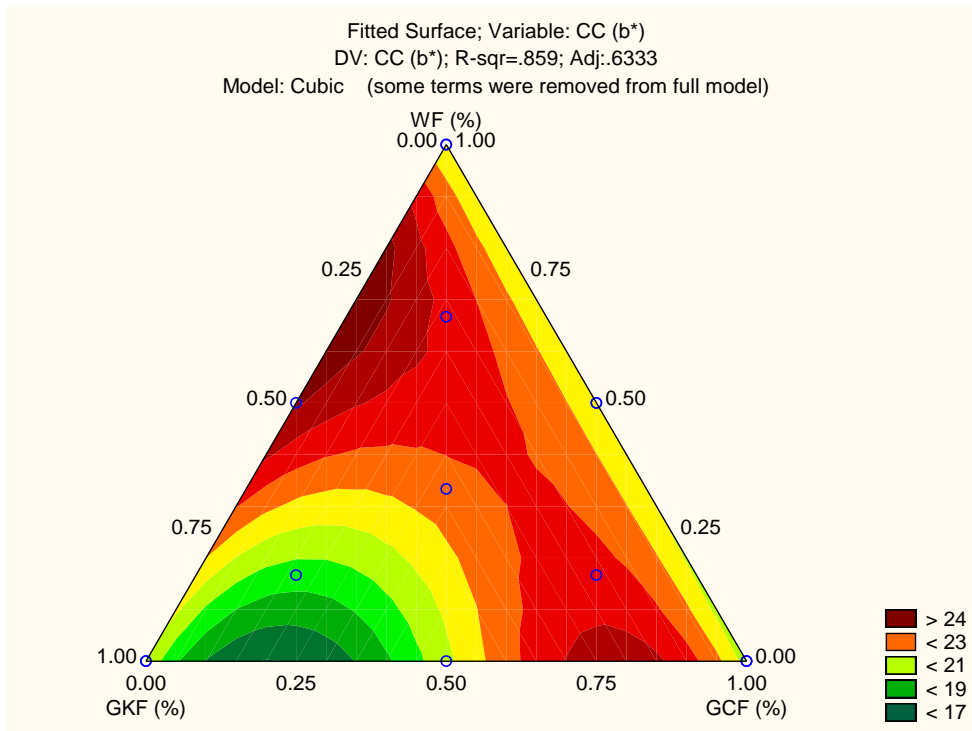


Figura 65: Gráfico de contorno para b* de la corteza del pan de molde.

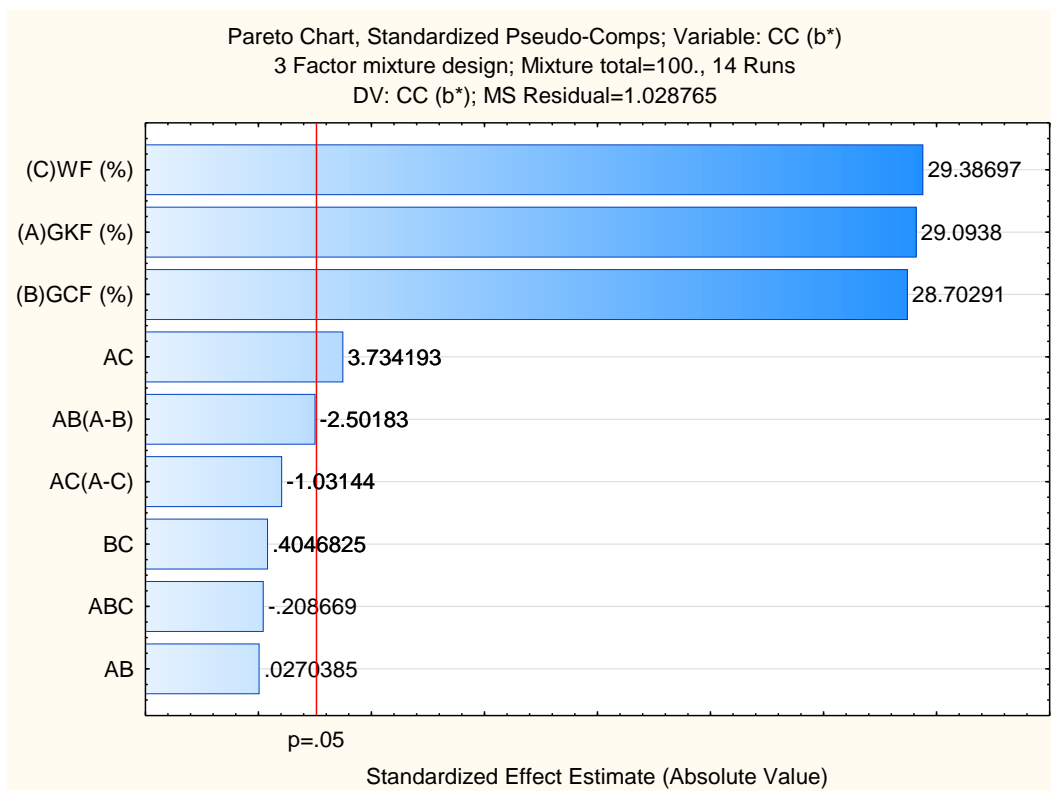


Figura 66: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales, para b* de la corteza del pan de molde.

En esta investigación se reportan valores de L^* (Luminosidad) para la corteza del pan de molde, de entre 37.44 hasta 42.26, siendo el menor valor para la formulación F1 y el mayor valor para la formulación F7. Guzmán (2015) reportó que el pan de molde sin ningún porcentaje de sustitución del trigo presenta un valor de L^* de 45.13. Este valor de L^* fue superior a los encontrados en la presente investigación, lo que indica una menor luminosidad como consecuencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por las harinas de granos germinados (kiwicha y cañihua) de coloración más oscura. De acuerdo con nuestros resultados, Guzmán (2015) también observó menor luminosidad para la corteza de pan de molde con sustitución parcial de la harina de trigo por un ingrediente funcional ($L^* = 42.92, 45.12$ y 38.46 para una sustitución de 4%, 8% y 12%, respectivamente).

Los valores de cromaticidad (a^*) para la corteza del pan de molde, variaron entre 14.47 a 17.80 siendo el menor valor para la formulación F10 y el mayor valor para la formulación F12. Guzmán (2015) reportó que la corteza de pan de molde sin ningún porcentaje de sustitución del trigo presenta un valor de a^* de 15.04, estos valores son similares a la corteza de panes de la formulación F8 con un menor grado de sustitución (10%). Además, Guzmán (2015) observó que la cromaticidad de la corteza de pan de molde variaba con la sustitución parcial de la harina de trigo por un ingrediente funcional, presentando valores de $a^* = 15.96, 14.83$ y 15.00 para una sustitución de 4%, 8% y 12%, respectivamente. Estos valores fueron similares a los reportados en la presente investigación.

Los valores de cromaticidad (b^*) para la corteza del pan de molde, reportados en esta investigación, oscilaron entre 19.85 y 25.04 encontrándose el menor valor para la formulación F13 y el mayor para la formulación F10. Además, Guzmán (2015) reportó que el pan de molde sin ningún porcentaje de sustitución del trigo presenta un valor de b^* de 24.24, valor es similar a los presentados en algunas formulaciones de esta investigación. Estos autores observaron variaciones de b^* para la corteza de pan de molde con sustitución parcial de la harina de trigo por un ingrediente funcional alcanzando valores de 24.96, 25.46 y 20.48 para una

sustitución de 4%, 8% y 12% respectivamente, valores similares a los reportados en la presente investigación.

Análisis sensorial de los panes de molde obtenidos para las diferentes formulaciones evaluadas

Para las 14 muestras de pan de molde se evaluaron diferentes parámetros organolépticos como: olor, color, sabor y textura. Para la evaluación organoléptica se empleó una escala no estructurada desde “0” hasta “10”, donde “0” indica “me disgusta mucho” y “10” indica “me gusta mucho”. En el Cuadro 16, se muestran los resultados del análisis sensorial de cada muestra.

Cuadro 16: Análisis sensorial de los panes de molde para diferentes formulaciones.

Formulaciones	Formulación de la masa			Análisis organoléptico			
	GKF (%)	GCF (%)	WF (%)	OLOR	COLOR	SABOR	TEXTURA
F1	8.00	8.00	83.00	6.68±1.46	7.41±1.20	6.32±1.32	7.32±1.49
F2	15.00	5.00	80.00	6.04±1.15	7.13±1.46	6.48±1.31	7.28±1.25
F3	10.00	10.00	80.00	5.41±1.30	6.95±1.44	5.84±1.57	7.11±1.43
F4	5.00	15.00	80.00	7.01±1.50	7.48±1.19	6.28±1.41	7.41±1.26
F5	5.00	15.00	80.00	7.26±1.38	7.56±1.36	6.14±1.35	7.69±1.20
F6	5.00	10.00	85.00	6.62±1.29	7.13±1.37	7.40±1.30	7.92±1.07
F7	7.00	12.00	82.00	6.42±1.09	7.08±1.23	6.82±1.13	7.15±1.23
F8	5.00	5.00	90.00	7.87±1.38	7.39±1.14	8.53±1.11	7.90±1.30
F9	15.00	5.00	80.00	6.31±1.43	7.24±1.20	6.32±1.20	7.22±1.29
F10	10.00	5.00	85.00	7.56±1.31	7.14±1.19	7.16±1.18	7.45±1.31
F11	7.00	7.00	87.00	7.27±1.20	6.91±1.11	7.67±1.22	7.81±1.53
F12	5.00	10.00	85.00	6.73±1.30	6.90±1.18	7.63±1.16	7.57±1.13
F13	12.00	7.00	82.00	5.90±1.18	7.05±1.21	6.40±1.13	7.21±1.08
F14	5.00	5.00	90.00	7.61±1.29	7.19±1.17	8.26±1.36	8.19±1.18

Olor organoléptico. –

La ANOVA (Anexo 11 – Cuadro 11A) de los modelos de regresión que explican el comportamiento del olor organoléptico en base a los porcentajes de GKF, GCF y WF empleadas en su preparación, mostró que los modelos de tipo lineal, cuadrático, cubico especial y cúbico tienen valores $p = 0.0009, 0.0004, 0.3785, 0.2204$ y R de $0.58, 0.95, 0.96, 0.98$ respectivamente. El modelo cuadrático fue elegido por tener el efecto estadístico significativo con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$) y además por presentar un coeficiente de determinación (R). Con respecto a los parámetros lineales y cuadráticos individuales, estos fueron estadísticamente significativos sobre el modelo ajustado (Anexo 11 – Cuadro 11B). Es por ello que, el modelo matemático que describe la característica organoléptica OLOR fue expresado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{OLOR} = & + 6.12 * \text{GKF} (\%) + 7.15 * \text{GCF} (\%) + 7.74 * \text{WF} (\%) - 4.81 * \\ & \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) + 2.52 * \text{GKF} (\%) * \text{WF} (\%) - 2.79 * \text{GCF} (\%) * \text{WF} \\ & (\%) + 0 \end{aligned}$$

En la Figura 67 y 68 se presenta el comportamiento de la característica organoléptica OLOR, del pan de molde debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo empleado en su elaboración. En la Figura 69, se presenta el gráfico de Pareto, mostrando la significancia de los parámetros lineales sobre el modelo.

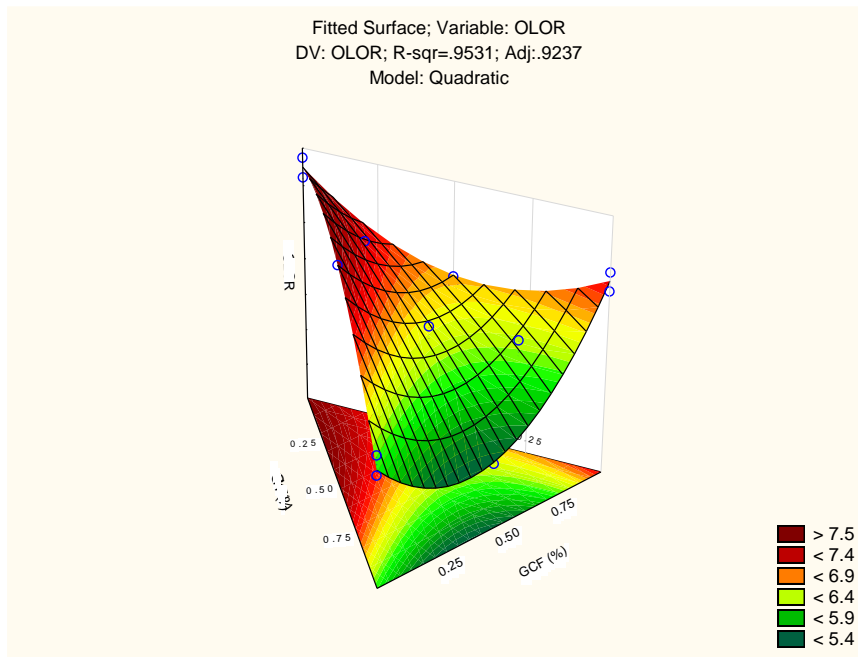


Figura 67: Gráfico de superficie de respuesta para la característica organoléptica olor del pan de molde.

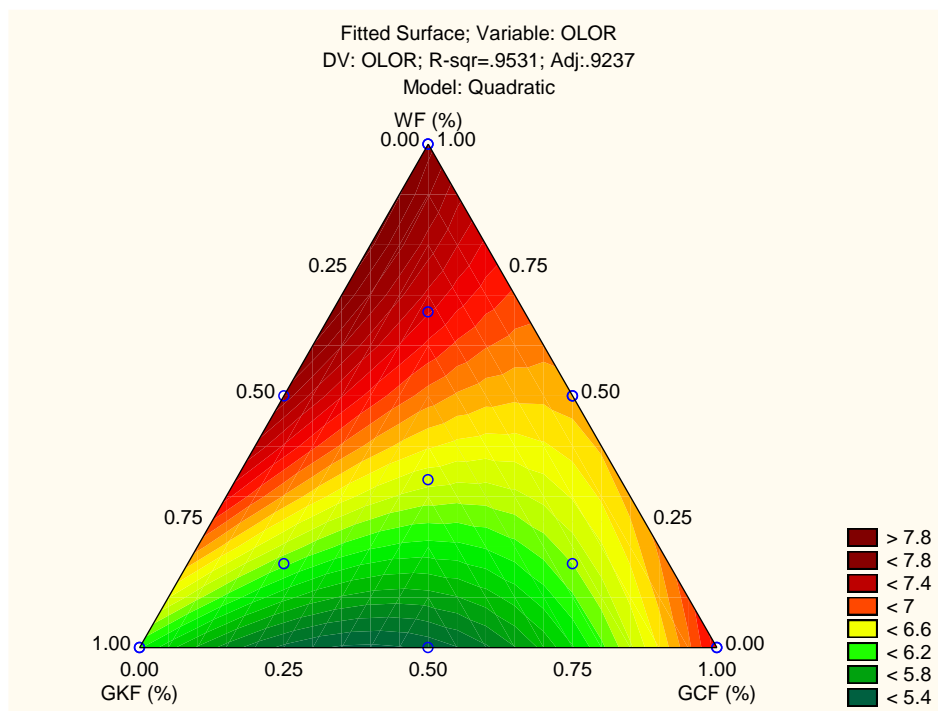


Figura 68: Gráfico de contorno para la característica organoléptica olor del pan de molde.

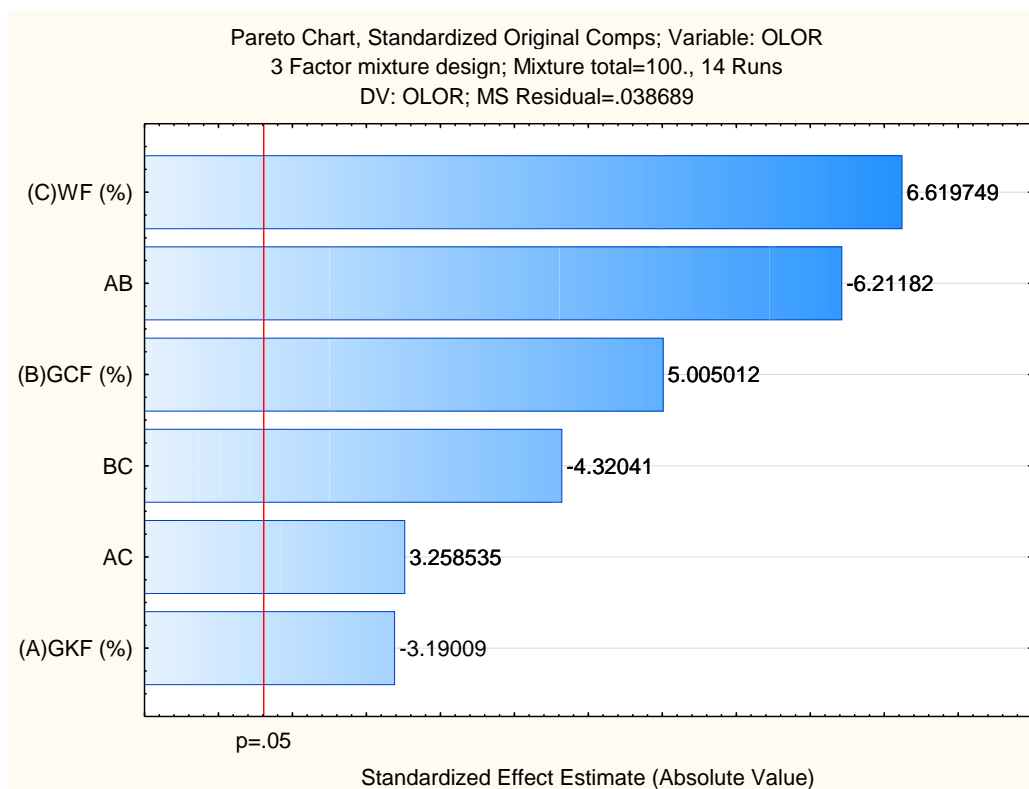


Figura 69: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos para la característica organoléptica olor del pan de molde.

Los resultados sobre la variable olor de las 14 formulaciones de pan de molde con porcentajes diferentes de GKF, GCF y WF, se muestran en el Cuadro 16. Este parámetro varió en el rango de 5.41 a 7.87 de la escala de evaluación de 0 a 10, lo cual sugiere que los niveles porcentuales de GKF, GCF y WF permitieron una exploración completa del análisis del olor del pan de molde, abarcando valores de olor mayores a 7.5 clasificado como una calificación “muy alta” por Aredo *et al.* (2014) para escalas no estructuradas. Entre las formulaciones, la F8 presentó una mayor calificación del olor (7.87) al estar compuesta por una mezcla de 5% de GKF, 5% de GCF y 90% de WF, seguido de la F14 (5% de GKF, 5% de GCF, 90% de WF) y F10 (10% de GKF, 5% de GCF, 85% de WF) con una calificación del olor de 7.61 y 7.56, respectivamente, estas tres formulaciones presentaron en común un porcentaje bajo de cañihua. La composición de estos tratamientos evidenció que en general los niveles menores de GKF, GCF y mayores de WF obtenían una mejor calificación para el atributo olor, es decir, que la interacción de los ingredientes es

positiva cuando disminuye el % de GKF, GCF y aumenta el porcentaje de WF. La Figura 67 y 68 nos da a conocer los rangos de los porcentajes de GKF, GCF y WF que optimizan el olor en el pan de molde, en estos gráficos, se puede comprobar que el ingrediente individual WF presenta una calificación para el olor alta. La región de interés que indica la máxima calificación para este atributo sensorial está representada por la zona de color rojo oscuro. En esta región se observa que la máxima calificación del olor se obtiene cuando se incrementa la WF y se disminuye la GKF junto a GCF.

Color organoléptico. -

La ANOVA (Anexo 11 – Cuadro 11C) de los modelos de regresión que explican el comportamiento del color organoléptico en base a los porcentajes de GKF, GCF y WF empleadas en su elaboración indicó que los modelos de tipo lineal, cuadrático, cubico especial y cúbico no fueron estadísticamente significativos sobre la respuesta (COLOR) ($p > 0.05$) ni presentaron un buen ajuste ($R = 0.119, 0.550, 0.679$ y 0.714 respectivamente). Se seleccionó el modelo cúbico por tener un mayor valor de R para analizar los resultados obtenidos de los valores de color de las diferentes formulaciones. Sólo los parámetros lineales individuales fueron estadísticamente significativos (Anexo 11 – Cuadro 11D) quedando el modelo matemático que describe el color expresado de la siguiente manera:

$$\text{COLOR} = + 7.19 * \text{GKF} (\%) + 7.51 * \text{GCF} (\%) + 7.26 * \text{WF} (\%) - 1.65 * \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) - 0.56 * \text{GKF} (\%) * \text{WF} (\%) - 1.63 * \text{GCF} (\%) * \text{WF} (\%) + 8.27 * \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) * \text{WF} (\%) + 0$$

En la Figura 70 y 71, se presenta el comportamiento de la característica organoléptica color del pan de molde debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo empleado en su elaboración. En la Figura 72, se presenta el gráfico de Pareto, mostrando la significancia de los parámetros lineales sobre el modelo.

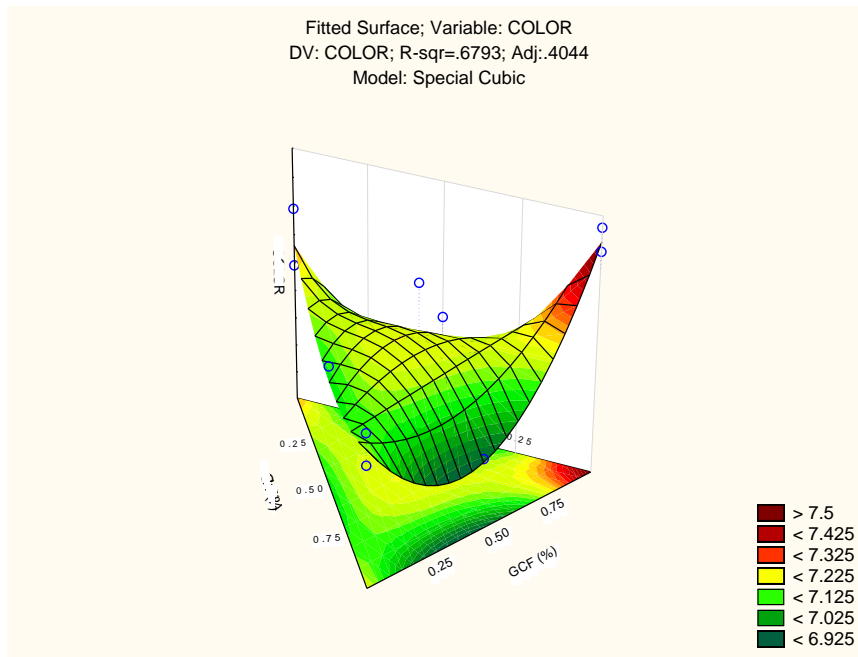


Figura 70: Gráfico de superficie de respuesta para la característica organoléptica color del pan de molde.

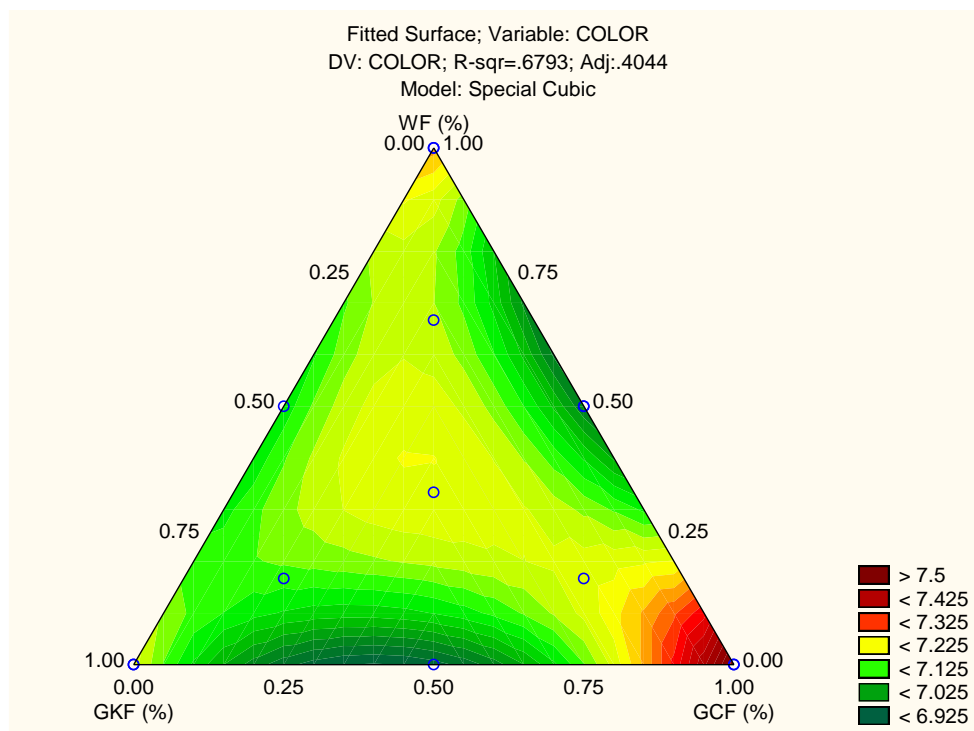


Figura 71: Gráfico de contorno para la característica organoléptica color del pan de molde.

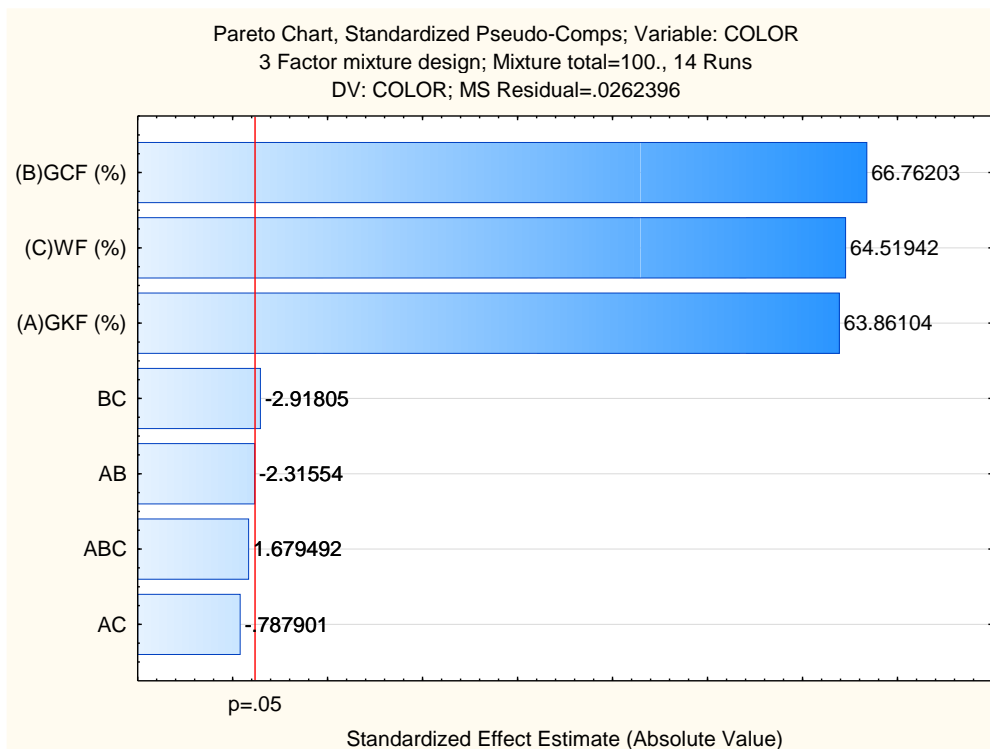


Figura 72: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos para la característica organoléptica color del pan de molde.

En el Cuadro 16 se observa la variación del parámetro color en función del porcentaje de GKF, GCF y WF del pan de molde cuyas calificaciones en la escala de evaluación de 0 a 10 oscilaron desde 6.90 a 7.56 de. Estos resultados sugieren algunas las formulaciones de pan a base de GKF, GCF y WF recibieron una calificación muy alta (> 7.5) de acuerdo a Aredo et al. (2014) para escalas no estructuradas. Comparando las formulaciones, F5 presentó una mayor calificación del color (7.56) al estar compuesto por una mezcla de 5% de GKF, 15% de GCF y 80% de WF, seguido de la F4 (5% de GKF, 15% de GCF y 80% de WF) y F1 (8% de GKF, 8% de GCF y 83% de WF) con una calificación del olor de 7.48 y 7.41, respectivamente, siendo valores próximos a la calificación de la formulación F5. En general, se pudo establecer que los niveles menores de GKF, WF y mayores de GCF generaron una mayor calificación para el color, es decir que la interacción de los ingredientes es positiva cuando disminuye el % de GKF, WF y aumenta el porcentaje de GCF. En la Figura 70 y 71 se identifican los porcentajes de GKF, GCF y WF que optimizan el color en el pan de molde, en estos gráficos, se puede comprobar que el ingrediente individual GCF

genera una calificación de color alta. La región de interés que indica la máxima calificación de color está representada por la zona de color rojo oscuro. Con la lectura de esta región de interés, se observa que los niveles porcentuales de GKF, GCF y WF que optimizan el color son aquellos en los que se incrementa la GCF y se disminuye la GKF y WF.

Sabor organoléptico. -

La ANOVA (Anexo 11 – Cuadro 11C) de los modelos de regresión que explican el comportamiento del color organoléptico en base a los porcentajes de GKF, GCF y WF empleadas en su elaboración indicó que los modelos de tipo lineal, cuadrático, cubico especial y cúbico tienen no fueron estadísticamente significativos sobre la respuesta COLOR) ($p > 0.05$) ni presentaron un buen ajuste ($R = 0.119, 0.550, 0.679$ y 0.714 respectivamente). Se seleccionó el modelo cúbico por tener un mayor valor de R para analizar los resultados obtenidos de los valores de color de las diferentes formulaciones. Sólo los parámetros lineales individuales fueron estadísticamente significativos (Anexo 11 – Cuadro 11D) quedando el modelo matemático que describe el color expresado de la siguiente manera:

$$\text{SABOR} = + 6.16 * \text{GKF (\%)} + 6.21 * \text{GCF (\%)} + 8.39 * \text{WF (\%)} + 0$$

En la Figura 73 y 74 se presenta el comportamiento de la característica organoléptica sabor del pan de molde debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo empleado en su elaboración. En la Figura 75, se presenta el gráfico de Pareto, mostrando la significancia de los parámetros lineales sobre el modelo.

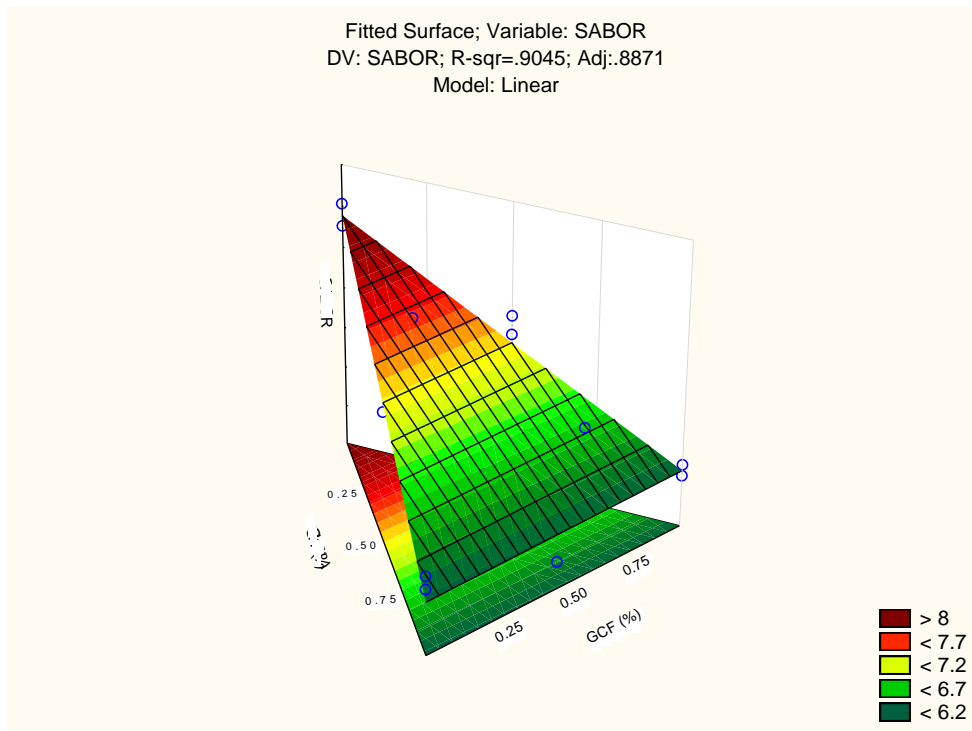


Figura 73: Gráfico de superficie de respuesta para la característica organoléptica sabor del pan de molde.

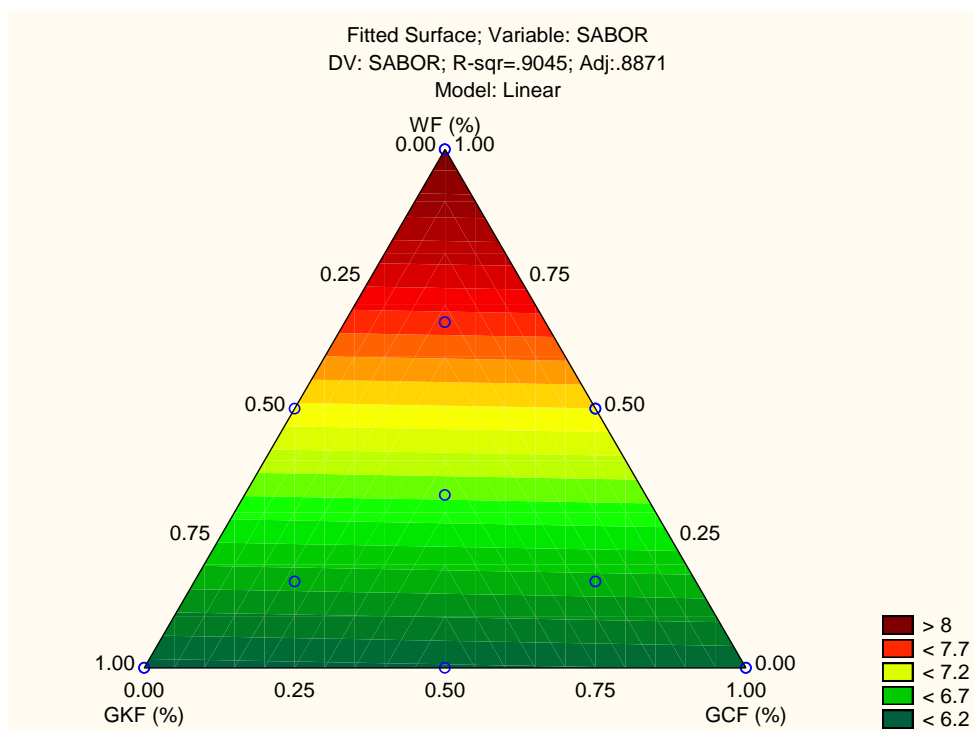


Figura 74: Gráfico de contorno para la característica organoléptica sabor del pan de molde.

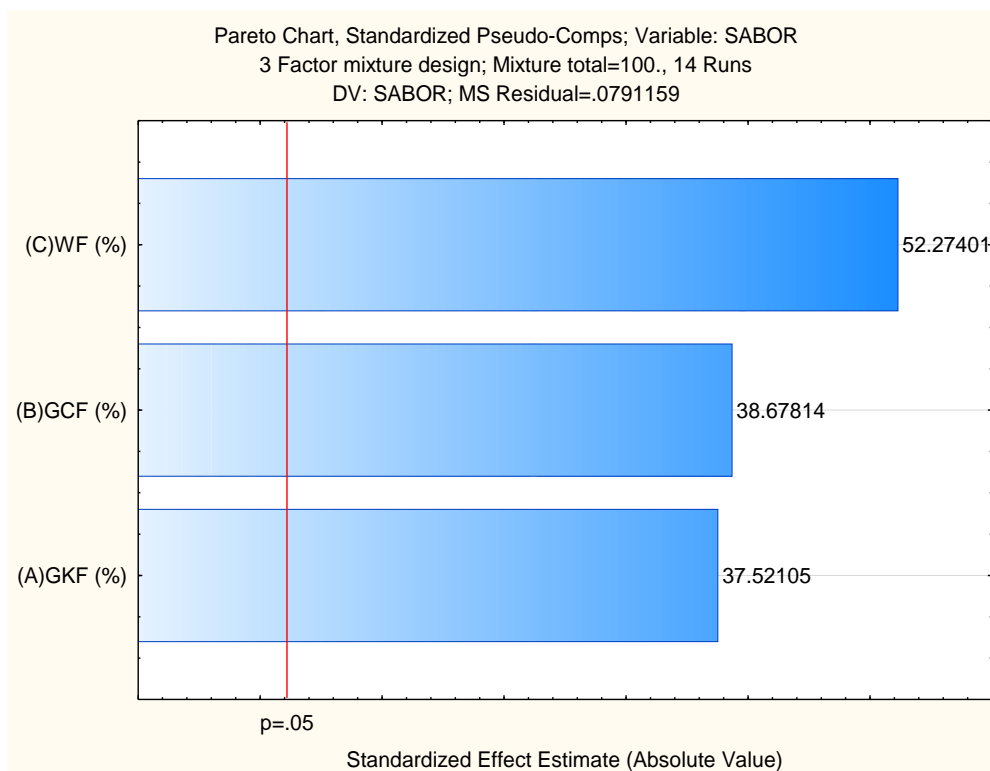


Figura 75: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales, para la característica organoléptica sabor del pan de molde.

Las puntuaciones del atributo sabor de las 14 formulaciones de pan de molde variaron en el rango de 5.84 a 8.53. Teniendo en cuenta que puntuaciones mayores a 7.5 son calificaciones “muy alta” según Aredo *et al.* (2014) para escalas no estructuradas, nuestros resultados sugieren que la formulación F8 (5% de GKF, 5% de GCF y 90% de WF) recibió una muy buena calificación del sabor (8.53) seguido de la F14 (5% de GKF, 5% de GCF y 90% de WF) y F11 (7% de GKF, 7% de GCF y 87% de WF) con una calificación del sabor de 8.26 y 7.67 respectivamente, formulaciones con una buena valoración respecto al sabor. La composición de estos tratamientos evidenció que en general los niveles menores de GKF y GCF y mayores de WF recibían mejores calificaciones para el sabor. En la Figura 73 y 74, se muestran aquellas formulaciones de GKF, GCF y WF que optimizan el sabor en el pan de molde, observándose que el ingrediente individual WF, genera una calificación de sabor alta. La región de interés que indica la máxima calificación de sabor está representada por la zona

de color rojo oscuro quedando representada por formulaciones con mayor proporción de WF y menor de GKF y GCF.

Textura organoléptica. -

La ANOVA (Anexo 11 – Cuadro 11G) de los modelos de regresión que explican el comportamiento de la textura organoléptica en base a los porcentajes de GKF, GCF y WF empleadas en su preparación evidenció que los modelos de tipo lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico tienen valores $p = 0.0008, 0.1435, 0.7326, 0.395$, respectivamente. El modelo lineal fue elegido por tener el efecto estadístico significativo con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$). Los parámetros lineales individuales fueron estadísticamente significativos sobre el modelo ajustado (Anexo 11 – Cuadro 11H) representándose la ecuación de la regresión lineal que describe la textura de la siguiente manera:

$$\text{TEXTURA} = + 7.11 * \text{GKF (\%)} + 7.40 * \text{GCF (\%)} + 8.00 * \text{WF (\%)} + 0$$

En la Figura 76 y 77, se presenta el comportamiento de la textura organoléptica del pan de molde debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo empleado en su elaboración. En la Figura 78, se presenta el gráfico de Pareto, mostrando la significancia de los parámetros lineales sobre el modelo.

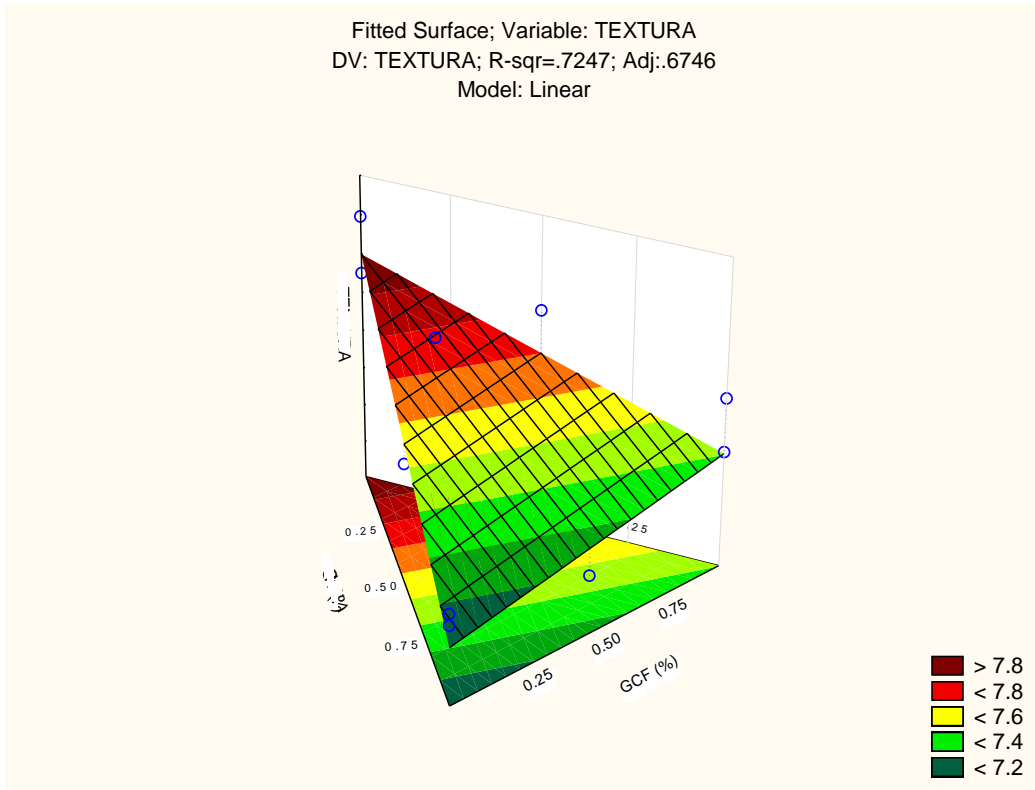


Figura 76: Gráfico de superficie de respuesta para la característica organoléptica textura del pan de molde.

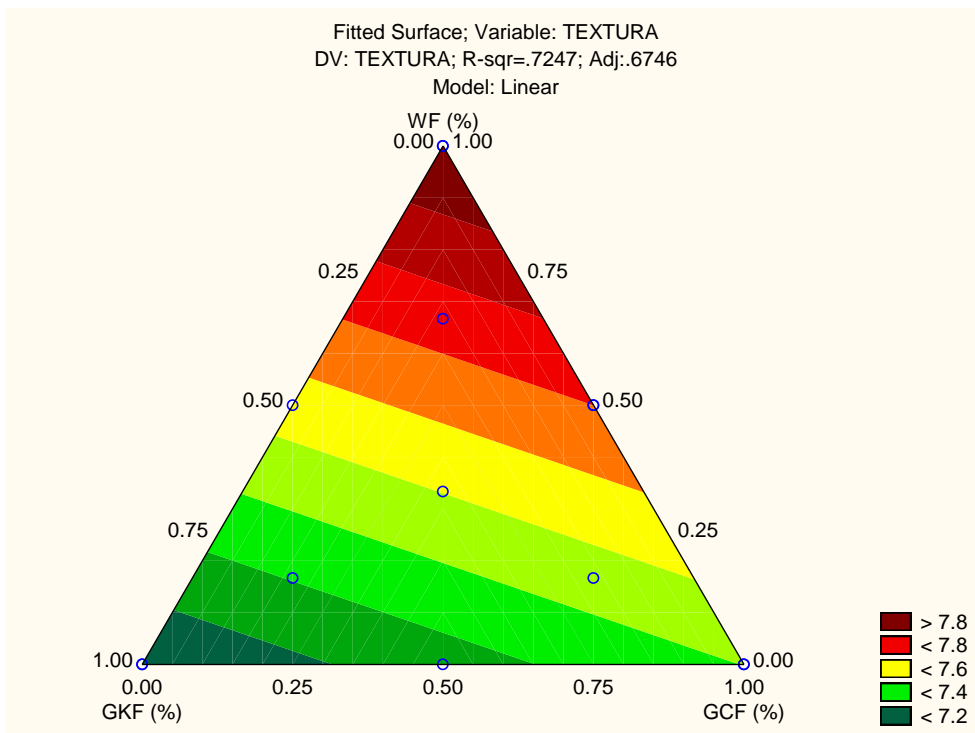


Figura 77: Gráfico de contorno para la característica organoléptica textura del pan de molde.

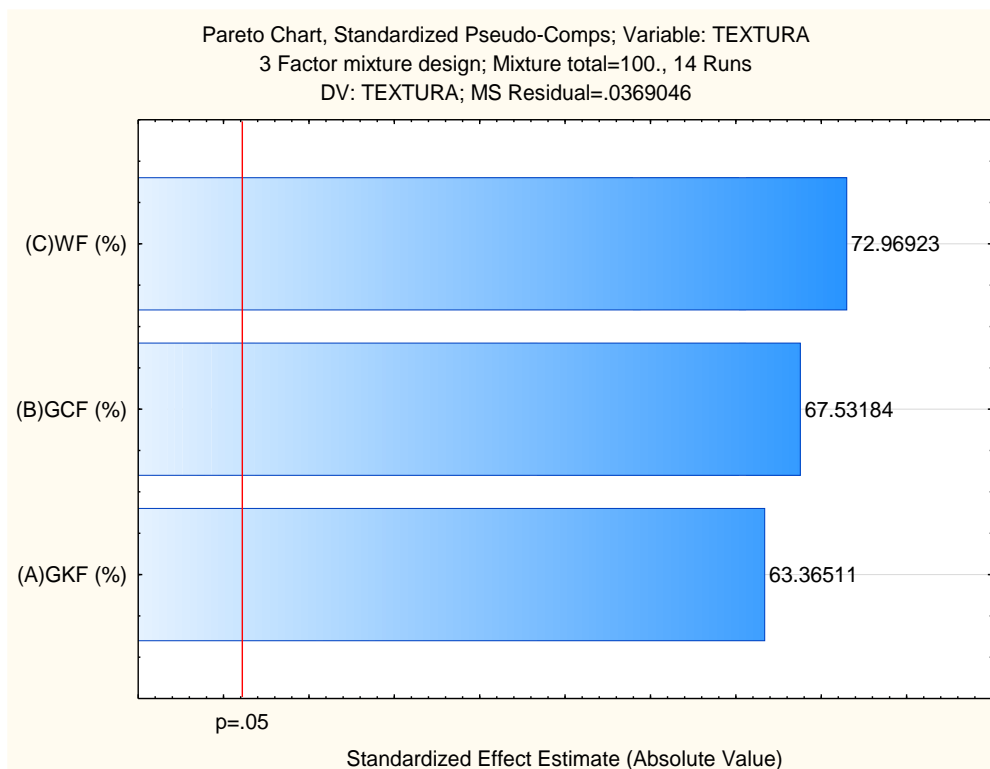


Figura 78: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para la característica organoléptica textura del pan de molde.

Las puntuaciones para el atributo textura que recibieron las 14 formulaciones de pan oscilaron entre 7.11 a 8.19 (Cuadro 16). Dado que puntuaciones superiores a 7.5 se califican como “muy alta” (Aredo *et al.* 2014) en escalas no estructuradas, los resultados indicaron que el pan de molde elaborado con F14 (5% de GKF, 5% de GCF y 90% de WF) presentó una muy buena calificación para la textura (8.19), seguido de las formulaciones F6 (5% de GKF, 10% de GCF y 85% de WF) y F8 (5% de GKF, 5% de GCF y 90% de WF) con puntuaciones de 7.92 y 7.90, respectivamente. formulaciones con una buena valoración respecto a la textura. Estos resultados sugieren que menores niveles de GKF y GCF así como mayores de WF mejoran la textura organoléptica. En la Figura 76 y 77, se identifican los porcentajes de GKF, GCF y WF que optimizan la textura en el pan de molde, deduciéndose a la vista de los resultados que el ingrediente individual WF genera una mayor calificación de textura. La región de interés que indica la máxima calificación de textura está

representada por la zona de color rojo oscuro. En esta región, se observa que para maximizar el atributo textura es necesario incrementar la proporción de WF y disminuir la GKF y GCF.

Análisis de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y contenido de ácido fólico de los panes de molde.

Para las 14 muestras de pan de molde se evaluó el contenido total de compuestos fenólicos solubles (expresado en mg GAE/100 g), el contenido de GABA (en mg/100 g) y la capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC) (en μ moles TE/mg). En el Cuadro 17, se muestra los resultados obtenidos de cada parámetro analizado en cada una de las formulaciones de pan de molde.

Cuadro 17: Análisis de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y contenido de ácido fólico de los panes de molde para diferentes formulaciones.

Formulaciones	Formulación de la masa			Análisis de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante			Ácido fólico
	GKF (%)	GCF (%)	WF (%)	TPC (mg GAE/100 g)	ORAC (μ moles TE/mg)	GABA (mg/100 g m.s)	AF (g/100g)
F1	8.00	8.00	83.00	173.34 \pm 12.59	56.69 \pm 1.07	16.45 \pm 0.25	0.263 \pm 0.03
F2	15.00	5.00	80.00	123.24 \pm 11.65	48.66 \pm 3.24	19.08 \pm 0.88	0.301 \pm 0.02
F3	10.00	10.00	80.00	159.89 \pm 2.77	62.69 \pm 6.17	19.39 \pm 0.09	0.302 \pm 0.05
F4	5.00	15.00	80.00	237.46 \pm 1.58	66.06 \pm 3.21	18.21 \pm 0.06	0.246 \pm 0.01
F5	5.00	15.00	80.00	251.17 \pm 3.36	57.06 \pm 2.38	18.62 \pm 0.05	0.300 \pm 0.01
F6	5.00	10.00	85.00	200.46 \pm 1.20	60.00 \pm 15.23	16.52 \pm 0.53	0.252 \pm 0.02
F7	7.00	12.00	82.00	262.30 \pm 15.89	53.18 \pm 0.74	19.69 \pm 0.30	0.274 \pm 0.01
F8	5.00	5.00	90.00	112.15 \pm 12.49	29.69 \pm 3.35	12.39 \pm 0.67	0.244 \pm 0.01
F9	15.00	5.00	80.00	111.96 \pm 7.76	38.78 \pm 1.10	17.63 \pm 0.53	0.415 \pm 0.01
F10	10.00	5.00	85.00	116.63 \pm 0.31	45.63 \pm 5.99	15.70 \pm 0.19	0.347 \pm 0.00
F11	7.00	7.00	87.00	165.17 \pm 0.31	50.29 \pm 2.36	19.48 \pm 0.18	0.277 \pm 0.01
F12	5.00	10.00	85.00	196.77 \pm 18.70	54.61 \pm 2.15	20.51 \pm 0.08	0.313 \pm 0.01
F13	12.00	7.00	82.00	149.75 \pm 13.42	48.23 \pm 2.49	23.62 \pm 0.50	0.364 \pm 0.01
F14	5.00	5.00	90.00	131.18 \pm 8.20	47.92 \pm 2.77	15.48 \pm 0.42	0.296 \pm 0.01
Control				46.80 \pm 3.47	18.45 \pm 1.82	11.26 \pm 0.40	0.318 \pm 0.16

Contenido de fenoles totales. –

El ANOVA (Anexo 12 – Cuadro 12A) de los modelos de regresión que explican el comportamiento del TPC en base a los porcentajes de GKF, GCF y WF empleadas en su preparación indicó que los modelos de tipo lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico tienen valores $p = 0.00001$, 0.5077 , 0.1615 , 0.2531 y valores de $R = 0.873$, 0.904 , 0.929 , 0.96 respectivamente. El modelo lineal fue elegido por tener el efecto estadístico significativo con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$) y además por presentar un alto coeficiente de determinación (R). Los parámetros lineales individuales fueron estadísticamente significativos (Anexo 12 – Cuadro 12B) obteniéndose la siguiente ecuación que describe el TPC en función de la composición de la harina:

$$\text{TPC} = + 117.02 * \text{GKF} (\%) + 258.03 * \text{GCF} (\%) + 131.84 * \text{WF} (\%) + 0$$

En la figura 79 y 80 se presenta el comportamiento del TPC en el pan de molde debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo empleado en su elaboración. En la Figura 81, se presenta el gráfico de Pareto, mostrando la significancia de los parámetros lineales sobre el modelo.

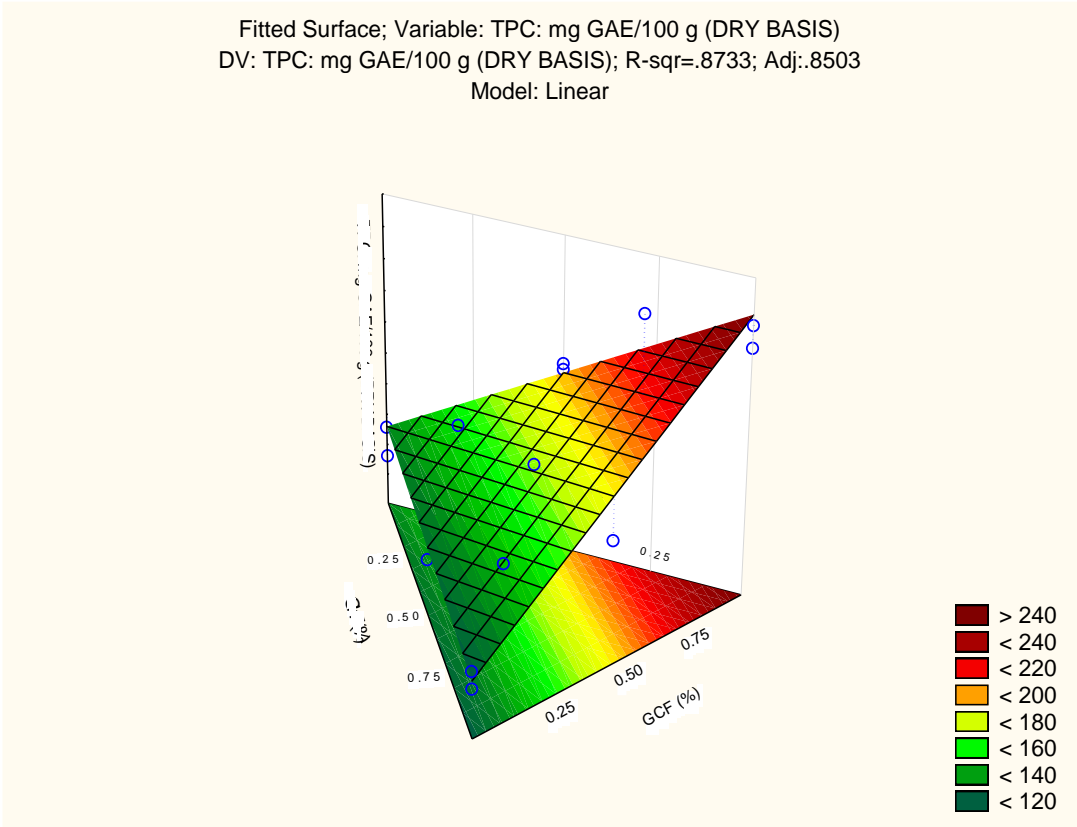


Figura 79: Gráfico de superficie de respuesta del TPC del pan de molde.

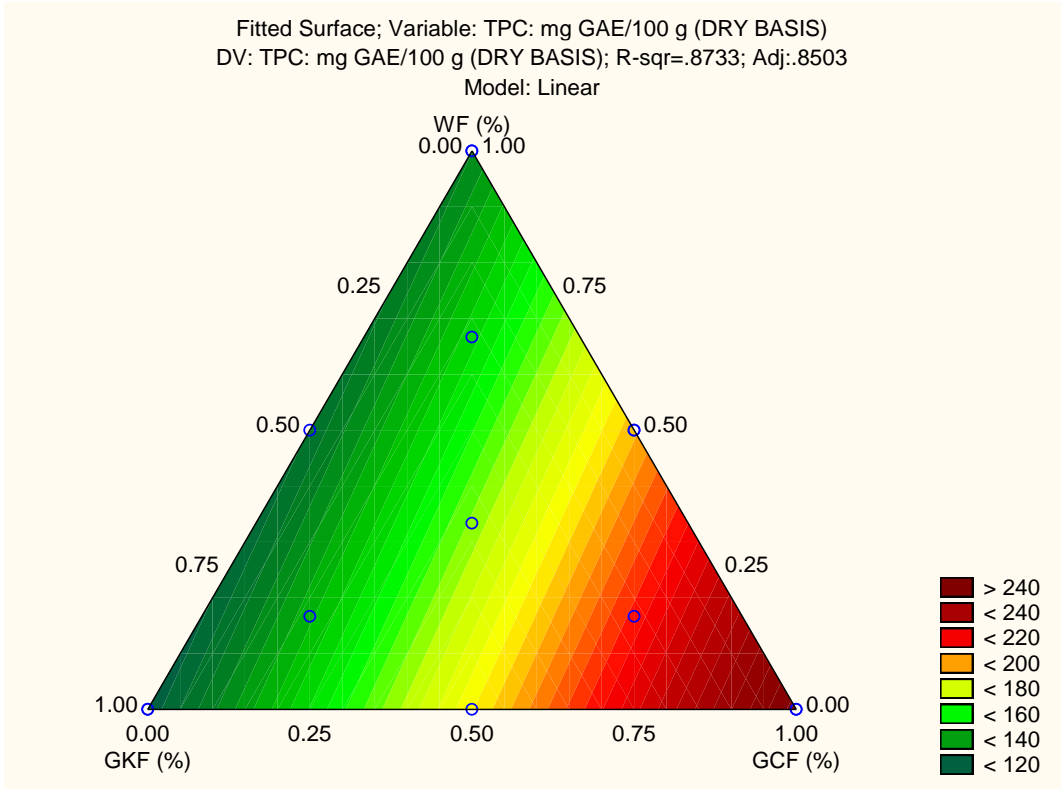


Figura 80: Gráfico de contorno para el TPC del pan de molde.

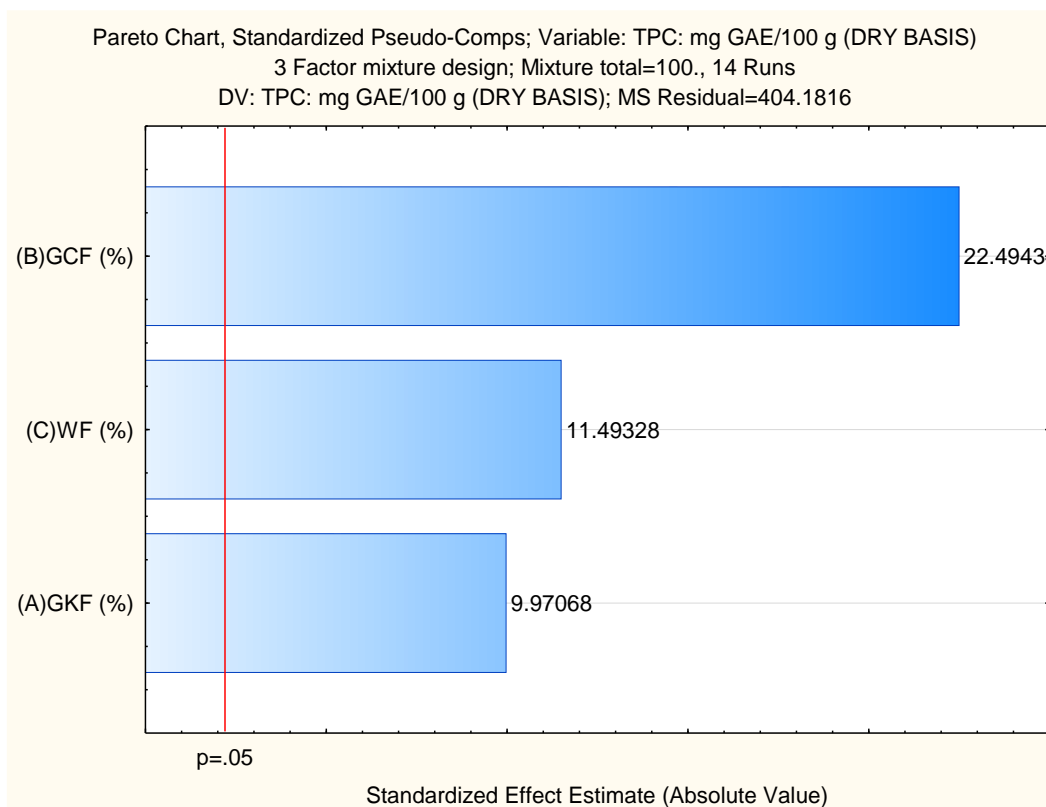


Figura 81: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para el TPC del pan de molde.

El contenido de TPC de los panes elaborados con las 14 formulaciones se muestra en el Cuadro 17, variando entre 111.96 y 262.30 mg GAE/100 g. El pan F7 (7% de GKF, 12% de GCF y 82% de WF) presentó el mayor contenido de TPC (262.30 mg GAE/100 g), seguido de los elaborado con F5 y F4 con un contenido de TPC de 251.17 y 237.46 mg GAE/100 g, respectivamente. Los resultados evidenciaron un incremento del contenido de TPC, cuando se incrementó el % GCF. En la Figura 79 y 80, se puede comprobar que el ingrediente individual GCF genera un contenido más alto de TPC. En estos gráficos se observa que el mayor contenido de TPC corresponde a los panes con mayor proporción de GCF y menor de WF (zona de color rojo oscuro). Si hacemos una comparación entre el contenido de TPC del pan de molde control (46.80 mg GAE/100 g) y el pan de molde F7 (262.30 mg GAE/100 g), es notorio que este último tiene un contenido 5.6 veces superior al del pan de molde de trigo, esto posiblemente al alto contenido de TPC en GKF (112,89 mg GAE/100 g) y GCF (134,06 mg GAE/100 g) empleadas en F7. La germinación representa

una tecnología económica para aumentar la calidad nutritiva y los compuestos bioactivos de los granos de cereales (Singh et al., 2015). Durante la germinación, las enzimas endógenas de la semilla se activan y algunos compuestos de reserva, como las proteínas de almacenamiento y los carbohidratos, se hidrolizan en moléculas pequeñas, mientras que se sintetizan nuevos constituyentes celulares y compuestos fitoquímicos (Wu, Yang, Toure, Jin y Xu, 2013). Varios estudios han demostrado que la germinación mejora el contenido de los compuestos fenólicos (Chen, Yu, Wang, Gu y Beta, 2016; Kim *et al.*, 2012; Van Hung, Maeda, Yamamoto y Morita, 2012) en cereales. En particular, mejora la palatabilidad, la digestibilidad y la disponibilidad de ciertos nutrientes (López-Martínez, Leyva-López, Gutiérrez-Grijalva, & Heredia, 2017) haciendo los productos elaborados con granos germinados más atractivos al consumidor. Paucar-Menacho *et al.*, (2018), demostró que la germinación de kiwicha incrementó el contenido de fenoles totales (TPC) cuyas condiciones óptimas de tiempo y temperatura fueron 26 °C durante 63 h, lográndose un aumento de 4.0 veces.

Contenido de GABA. -

El ANOVA (Anexo 12 - Cuadro 12C) de los modelos de regresión que explican el comportamiento de GABA en base a los porcentajes de GKF, GCF y WF empleadas en su preparación. establecieron que los modelos de tipo lineal, cuadrático, cubico especial y cúbico no fueron estadísticamente significativos sobre la respuesta ($p > 0.05$), ni presentaron un buen ajuste ($R = 0.338, 0.479, 0.481$ y 0.587 respectivamente). Se seleccionó el modelo cúbico por tener un mayor valor de R para analizar los resultados obtenidos de los valores de GABA de las diferentes formulaciones. El modelo cubico especial fue elegido por tener el efecto estadístico significativo con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$). Con respecto a los parámetros lineales individuales, son estadísticamente significativos sobre el modelo ajustado (Anexo 12 – Cuadro 12D). El modelo matemático que describe el GABA fue expresado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{GABA} = & +18.53 * \text{GKF} (\%) + 18.59 * \text{GCF} (\%) + 14.11 * \text{WF} (\%) + 6.14 * \text{GKF} \\ & (\%) * \text{GCF} (\%) + 0.34 * \text{GKF} (\%) * \text{WF} (\%) + 10.07 * \text{GCF} (\%) * \text{WF} (\%) + 19.19 * \\ & \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) * \text{WF} (\%) + 43.69 * \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) * (\text{GKF} (\%) - \text{GCF} \\ & (\%)) - 1.53 * \text{GKF} (\%) * \text{WF} (\%) * (\text{GKF} (\%) - \text{WF} (\%)) + 0. \end{aligned}$$

En la Figura 82 y 83, se presenta el GABA en el pan de molde debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo empleado en su elaboración. Es así que en la Figura 84, se presenta el gráfico de Pareto, mostrando la significancia de los parámetros lineales sobre el modelo.

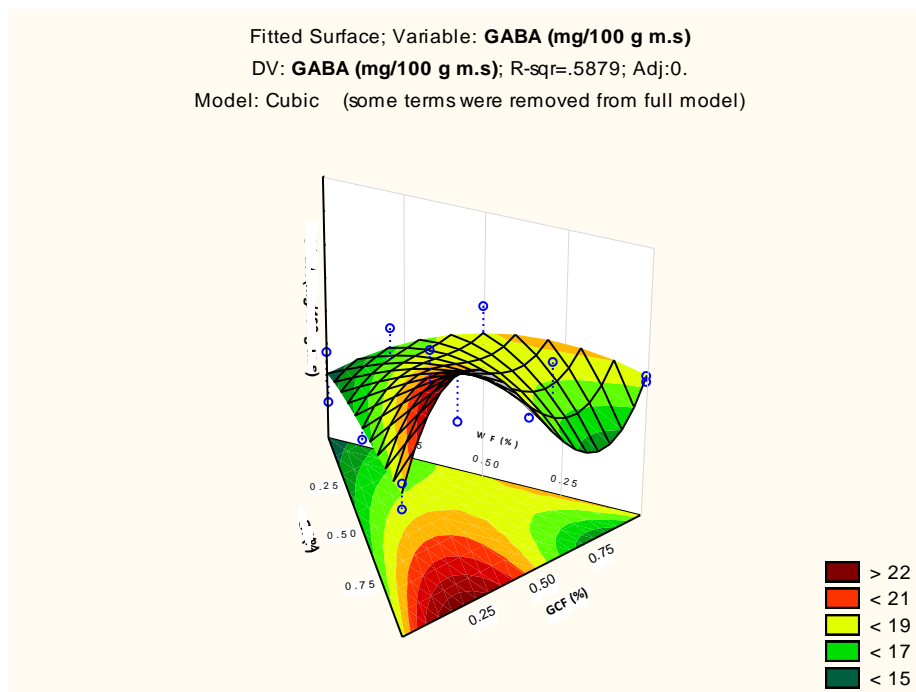


Figura 82: Gráfico de superficie de respuesta de GABA del pan de molde.

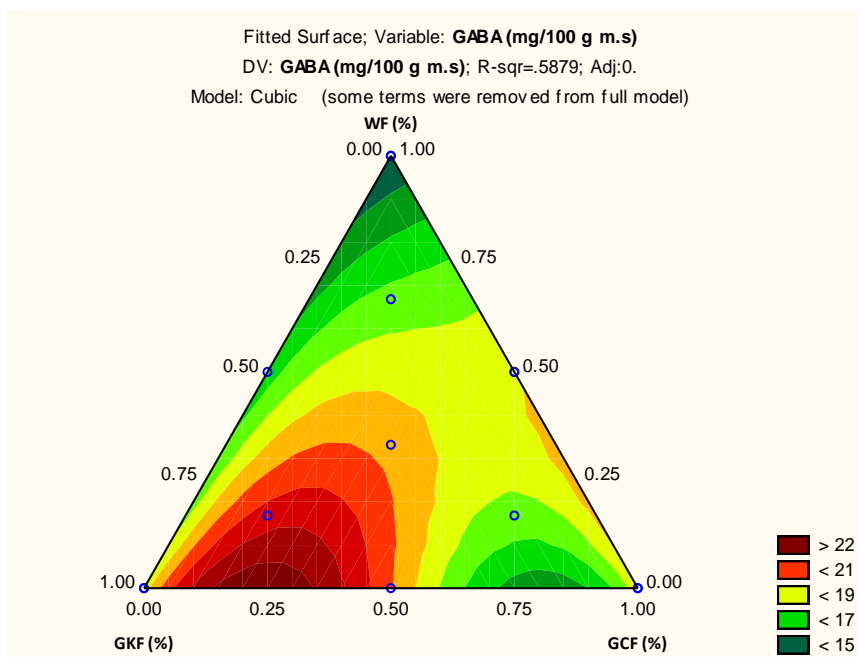


Figura 83: Gráfico de contorno para GABA del pan de molde.

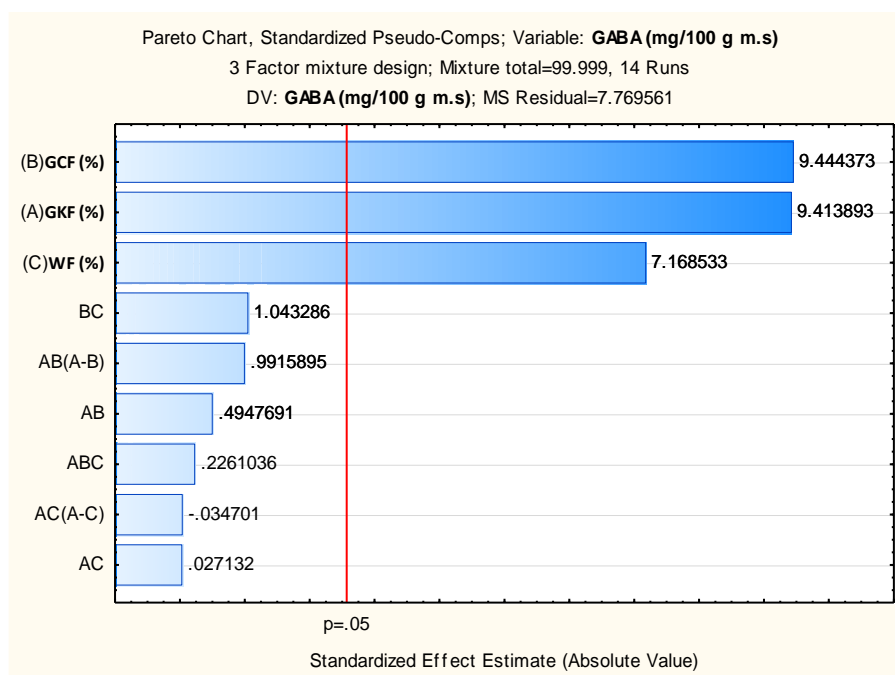


Figura 84: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para GABA del pan de molde.

Los resultados de GABA de los 14 tratamientos de pan de molde con porcentajes diferentes de GKF (%), GCF (%) y WF (%), se muestran en el Cuadro 17. El contenido de GABA varió en el rango de 12.39 a 23.62 mg/100 g. Entre los tratamientos, el F13 (12% de GKF, 7% de GCF y 82%

de WF) presentó un mayor contenido de GABA, seguido de la F12 con un contenido de 20.51 mg/100 g. Los resultados indicaron que el incremento del contenido de GABA se relaciona con un mayor porcentaje de GKF en la formulación del pan de molde. En la gráfica 114 y 115, se puede comprobar que el ingrediente individual GKF genera un contenido más alto de GABA. La región de interés que indica la máxima calificación de GABA está representada por la zona de color rojo oscuro. Con la lectura de esta región de interés, se observa que los rangos porcentuales de GKF, GCF y WF que optimizan el GABA son cuando se incrementa el GKF y se disminuye el contenido de GCF y WF. Si hacemos una comparación entre el contenido de GABA del pan de molde control (11.26 mg/100g) y los panes de molde de máximo contenido (F13 y F12) con 23.62 y 20.51 mg/100g, es notorio un incremento de 2.1 y 1.82 veces respectivamente, esto posiblemente al alto contenido de GABA en GKF y GCF.

Estudios indican que el GABA en los granos germinados se incrementa debido a la actividad de la enzima glutamato descarboxilasa (GAD) involucrada en la síntesis de GABA (Scott-Taggart, Van Cauwenberghe, McLean y Shelp, 1999). Estudios recientes han demostrado que la germinación mejora el contenido de GABA (Chung, Jang, Cho y Lim, 2009; Caceres, Martínez Villaluenga, Amigo y Frias, 2014), un compuesto que proporciona efectos beneficiosos para la salud regulando la presión arterial (Diana, Quílez y Rafecas, 2014). Paucar-Menacho (2017), reportó que el tiempo y temperatura de germinación influye en el contenido de GABA del grano de kiwicha germinada, encontrándose un mayor contenido a 26°C durante 63 h (75,7 mg / 100 g ps) y 28°C durante 42 h (74,4 mg / 100 g ps). Estudios han demostrado también que la actividad del glutamato descarboxilasa (GAD) y diamino oxidasa DAO aumenta significativamente durante la germinación en cereales (Xu et al., 2010; Yang et al., 2011; Xu & Hu, 2014; Gan et al., 2017), esto posibilita mayor síntesis de GABA que se ve reflejado en los productos elaborados a partir de estos cereales, tal como se demostró en la presente investigación. En la presente investigación se empleó harinas de granos germinados de kiwicha y cañihua con un alto contenido de GABA de 100 y 217.98 mg/100g respectivamente.

Capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC).-

EL ANOVA (Anexo 12 – Cuadro 12E) de los modelos de regresión que explican el comportamiento del ORAC en base a los porcentajes de GKF, GCF y WF empleadas en su preparación dio lugar a valores $p = 0.0066$, 0.4739 , 0.6693 , 0.6974 para los modelos de tipo lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico. El modelo lineal fue elegido por tener el efecto estadístico significativo (Anexo 12 – Cuadro 12F) con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$). Los parámetros lineales individuales fueron estadísticamente significativos quedando la ecuación que describe el TPC en función de la formulación de la harina de la siguiente manera:

$$\text{ORAC} = + 46.40 * \text{GKF} (\%) + 64.73 * \text{GCF} (\%) + 42.54 * \text{WF} (\%) + 0$$

En la Figura 85 y 86, se presenta el ORAC en el pan de molde debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo empleado en su elaboración. En la Figura 87, el gráfico de Pareto, mostrando la significancia de los parámetros lineales sobre el modelo.

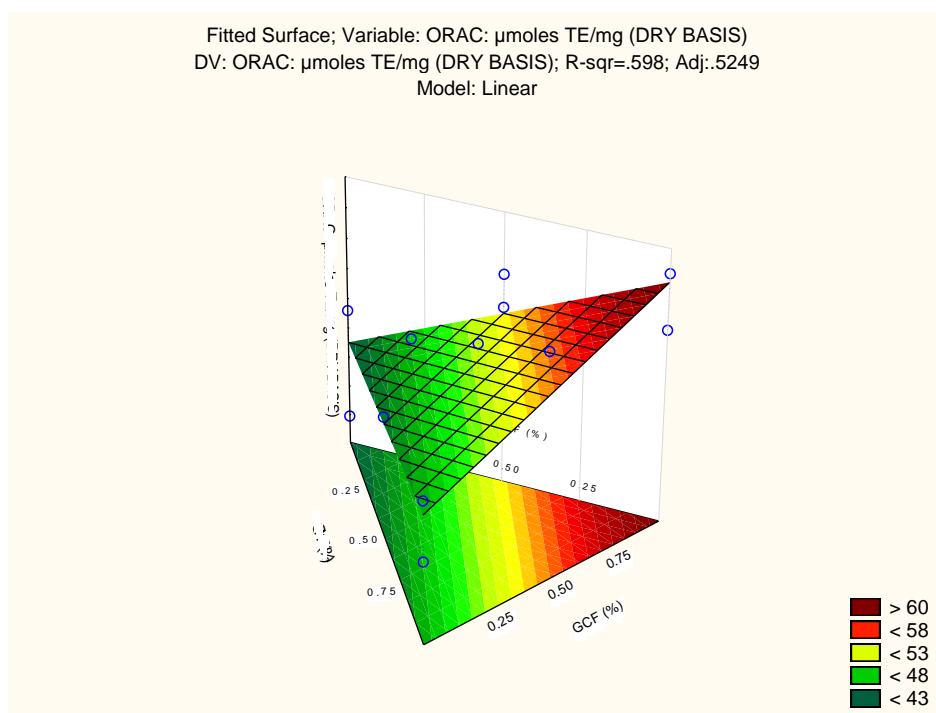


Figura 85: Gráfico de superficie de respuesta de ORAC del pan de molde.

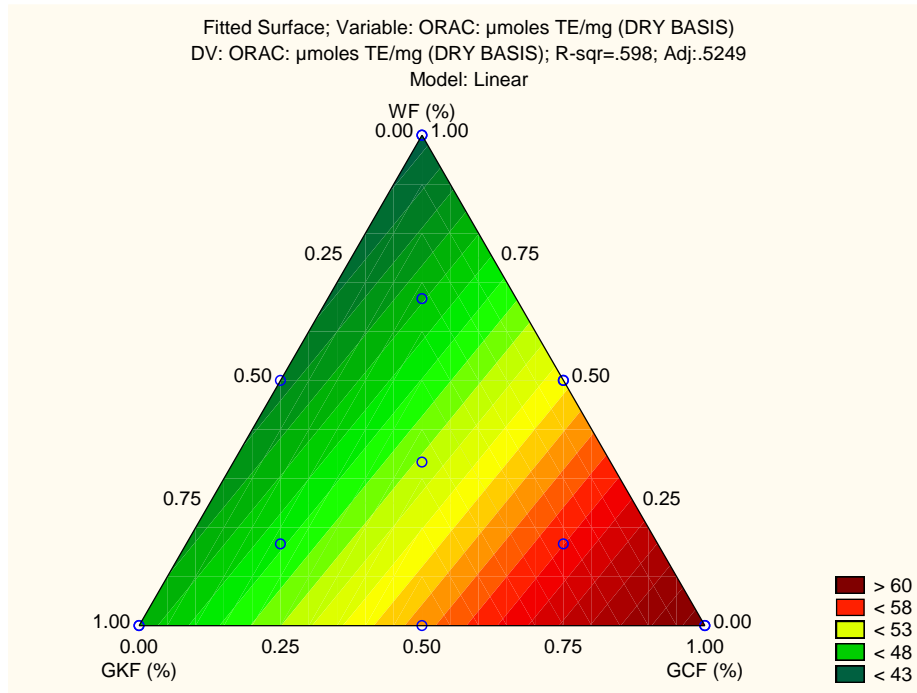


Figura 86: Gráfico de contorno para ORAC del pan de molde.

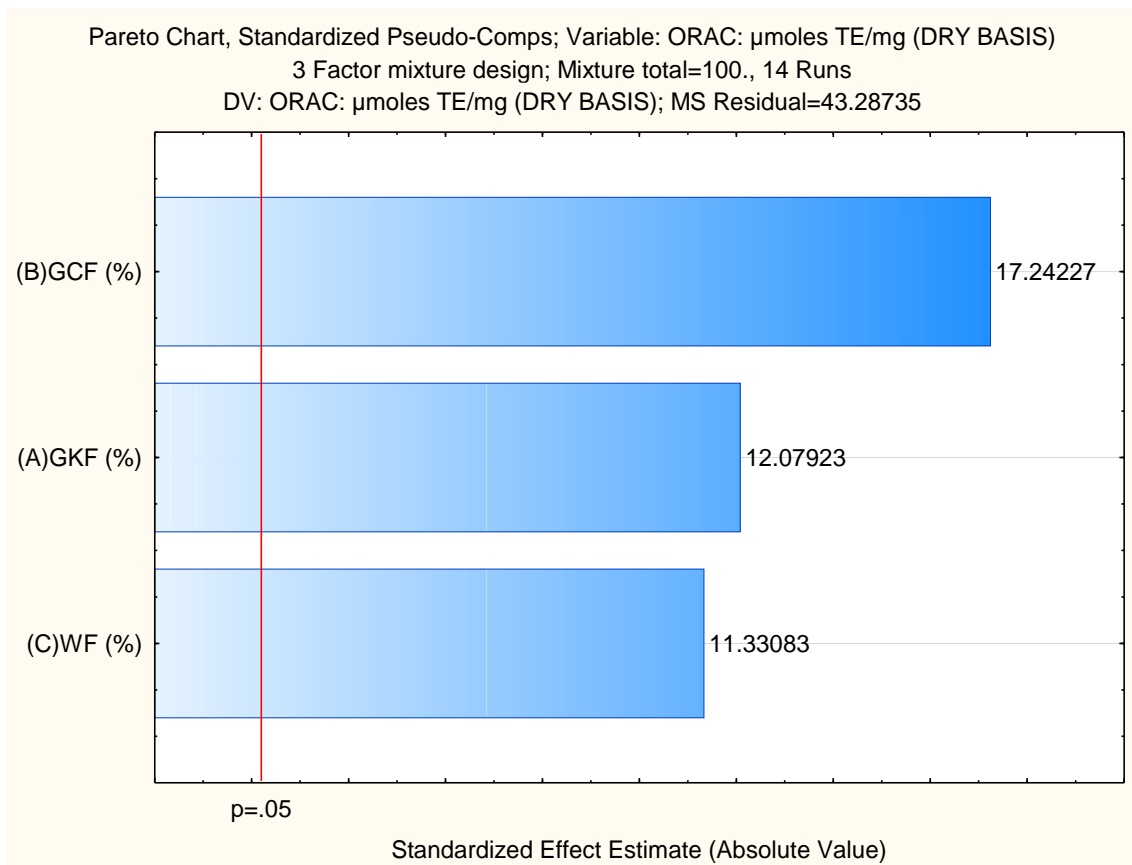


Figura 87: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para ORAC del pan de molde.

Los resultados de ORAC de los 14 tratamientos de pan de molde con porcentajes diferentes de GKF (%), GCF (%) y WF (%), se muestran en el Cuadro 17. La variación de los valores de ORAC se observó en el rango de 29.69 a 66.06 μ moles TE/mg. Entre los tratamientos, el F4 (5% de GKF, 15% de GCF y 80% de WF) presentó mayor capacidad antioxidante, seguido de la F6 (5% de GKF, 10% de GCF y 85% de WF) y F5 (5% de GKF, 15% de GCF y 80% de WF) con un contenido de 60.00 y 57.06 μ moles TE/mg respectivamente. Estos resultados sugieren que el aumento de la capacidad antioxidante del pan está relacionado con el % GCF. En la Figura 85 y 86 se puede comprobar que el ingrediente individual GCF posee una mayor capacidad antioxidante. De hecho, la región con los máximos valores de actividad antioxidante (zona de color rojo oscuro) indican que la formulación óptima es aquella con mayor proporción de GCF y menor de WF. Si hacemos una comparación entre el contenido de ORAC del pan de molde control (18.45 μ moles TE/mg) y los panes formulados con harina de trigo sustituida con harina de granos germinados, se observa que el pan de molde de la formulación F4 (66.06 μ moles TE/mg) presenta una capacidad antioxidante 3.6 veces superior. Es posible que esto se deba a la germinación que representa una tecnología económica para aumentar la calidad nutritiva y los compuestos bioactivos de los granos de cereales (Singh, Rehal, Kaur y Jyot, 2015). Durante la germinación, las enzimas endógenas de la semilla se activan y algunos compuestos de reserva, como las proteínas de almacenamiento y los carbohidratos, se hidrolizan en moléculas pequeñas, mientras que se sintetizan nuevos constituyentes celulares y compuestos fitoquímicos (Wu, Yang, Toure, Jin y Xu, 2013). Es posible también que el incremento de ORAC se deba a la liberación enzimática de compuestos fenólicos unidos durante la germinación. Paucar-Menacho *et al.* (2018), demostró que la germinación de kiwicha incrementó el contenido de ORAC cuyas condiciones óptimas de tiempo y temperatura fueron 26 °C durante 63 horas, lográndose un aumento de 29.1 veces. Cañihua germinada a una temperatura de 20 °C y tiempos de germinación de hasta 72 h. experimentaron aumento de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante (Abderrahim *et al.* 2012).

Contenido de ácido fítico (AF).-

EL ANOVA (Anexo 12 – Cuadro 12G) de los modelos de regresión que explican el comportamiento del AF en base a los porcentajes de GKF, GCF y WF empleadas en su preparación dio lugar a valores $p = 0.022, 0.913, 0.432, 0.780$ para los modelos de tipo lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico. El modelo lineal fue elegido por tener el efecto estadístico significativo (Anexo 12 – Cuadro 12H) con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$). Los parámetros lineales individuales fueron estadísticamente significativos quedando la ecuación que describe el contenido de AF en función de la formulación de la harina de la siguiente manera:

$$AF = +0.36 * GKF (\%) + 0.27 * GCF (\%) + 0.27 * WF (\%) + 0.$$

En la Figura 88 y 89, se presenta el contenido de AF en el pan de molde debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo empleado en su elaboración. En la Figura 90, el gráfico de Pareto, mostrando la significancia de los parámetros lineales sobre el modelo.

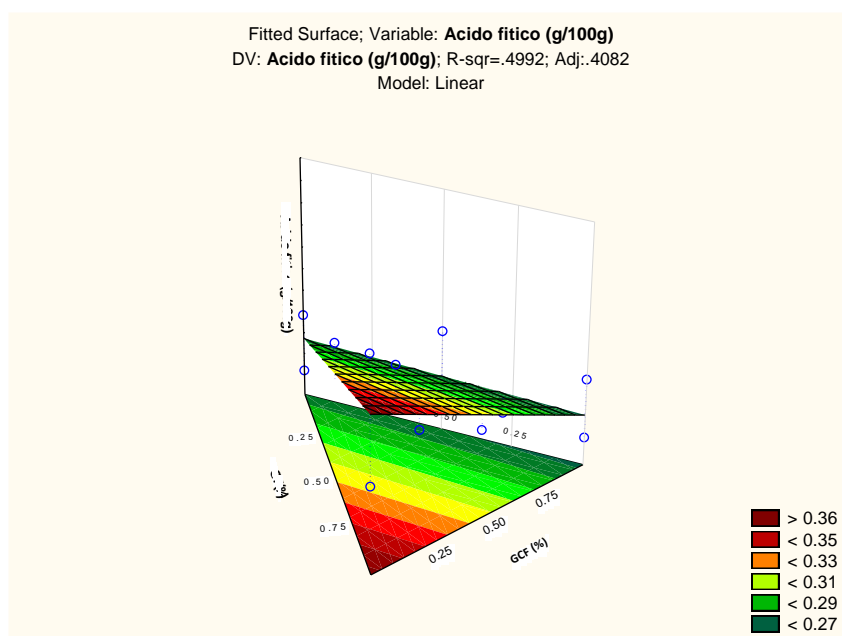


Figura 88: Gráfico de superficie de respuesta de AF del pan de molde.

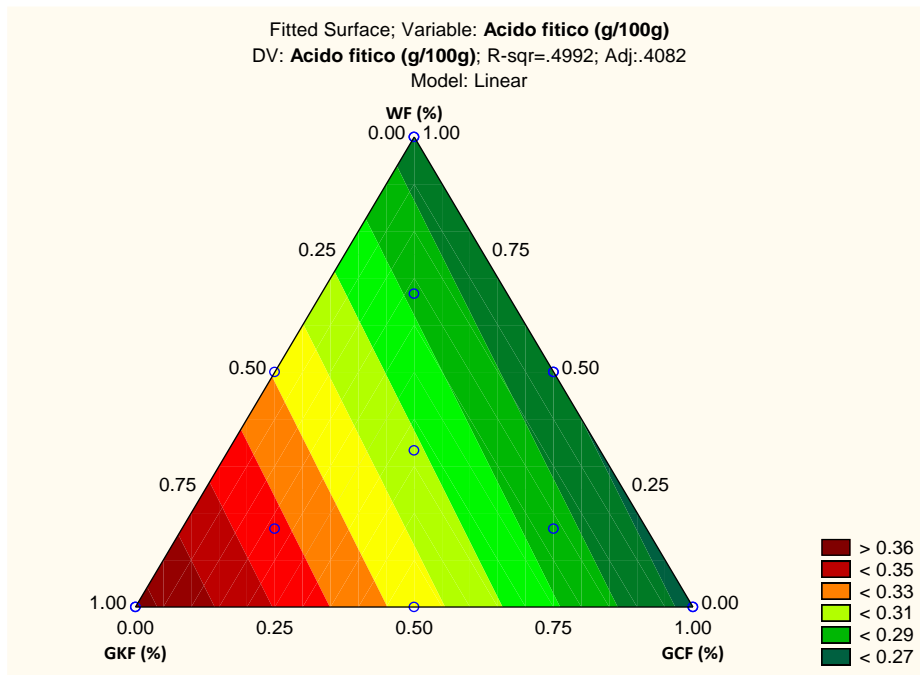


Figura 89: Gráfico de contorno para AF del pan de molde.

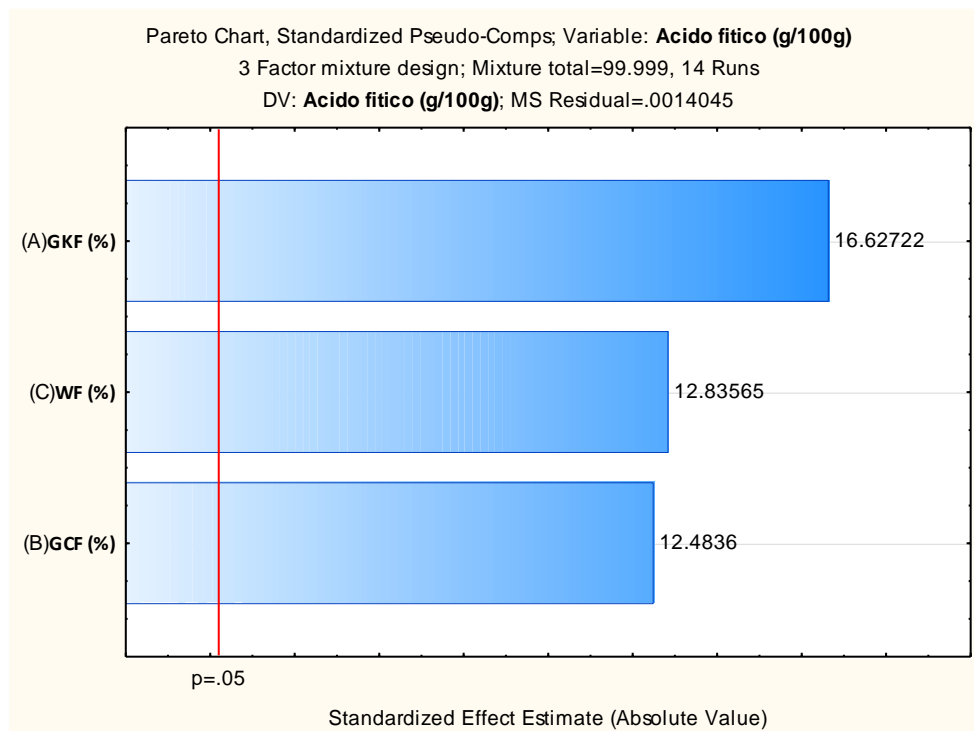


Figura 90: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para AF del pan de molde.

Los resultados del contenido AF de los 14 tratamientos de pan de molde con porcentajes diferentes de GKF (%), GCF (%) y WF (%), se muestran en el Cuadro 17. La variación de los valores de AF se observó en el rango de 0.244 a 0.415 g/100g. Entre los tratamientos, el F9 (15% de GKF, 5% de GCF y 80% de WF) presentó mayor contenido de AF, seguido de la F13 (12% de GKF, 7% de GCF y 81% de WF) con un contenido de 0.364 g/100g. Estos resultados sugieren que el aumento de la cantidad de AF del pan está relacionado con el % GKF. En la Figura 88 y 89 se puede comprobar que el ingrediente individual GKF incrementa el contenido de AF en el pan de molde. De hecho, la región con los máximos valores de AF (zona de color rojo oscuro) es la formulación con mayor proporción de GKF y menor de WF y GCF. Si hacemos una comparación entre el contenido de AF del pan de molde control (0.318 g/100g) y los panes formulados con harina de trigo sustituida con harina de granos germinados, se observa que el pan de molde de la formulación F9 (0.415 g/100g) presenta un contenido de AF similar (1.3 veces superior).

Optimización conjunta de las variables de respuesta

Teniendo los modelos ajustados para cada respuesta (humedad, volumen específico, textura-dureza, textura-masticabilidad, textura-cohesividad, color instrumental de miga, color instrumental de la corteza, olor, color, sabor, textura sensorial, contenido de TPC, GABA, ORAC y AF); se procedió a realizar el método de optimización conjunta. Para establecer esta función se necesita tener un conocimiento a priori de los rangos de valores deseables o del objetivo de la variable (maximizar o minimizar).

Para las variables respuesta, volumen específico, olor, color, sabor, textura sensorial, contenido de TPC, GABA, ORAC, lo que se busca es maximizar la respuesta, para el caso de la variable humedad lo que se busca es aumentar, pero hasta un nivel máximo de 40%. En el caso de las variables respuesta de textura instrumental lo que se busca es conseguir un promedio de 4N, 19 mJ y 0.61 para la Textura-dureza, Textura-masticabilidad, Textura-cohesividad;

mientras que para el color instrumental de la miga se busca obtener un promedio 77.5, 2.44 y 20.55 para la Luminosidad, Cromaticidad (a*) y Cromaticidad (b*) respectivamente; y para el color instrumental de corteza se busca obtener un promedio 45.13, 15 y 24.24 para la Luminosidad, Cromaticidad (a*) y Cromaticidad (b*) respectivamente. Par el AF el objetivo es minimizar.

Estos criterios fueron establecidos en el software Design Expert 7.0. Este método presenta varias soluciones que se muestran en el Cuadro 18. La mejor solución es aquella que presenta un valor de la función de deseabilidad más cercano a 1. En este caso la mejor solución es la presentada en el número 1, con una deseabilidad de 0,59. El porcentaje de harina de kiwicha germinada, harina de cañihua germinada y harina de trigo que optimizan las características del pan de molde son: 6.17%, 9.62% y 84.21% respectivamente.

Cuadro 18: Soluciones para la optimización conjunta para la elaboración de pan de molde.

Soluciones	Formulación de la masa			Análisis Físicoquímicos											Análisis organoléptico				Análisis de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante			Ácido fólico		
									Color de miga (CM)			Color de corteza (CC)							TPC (mg GAE/100 g)	ORAC (µmoles TE/mg)	GABA (mg/100 g m.s)	AF (g/100g)	FD	
	GKF (%)	GCF (%)	WF (%)	H (%)	Ve (ml/g)	TXD (N)	TXM (mJ)	TXC	L*	a*	b*	L*	a*	b*	OLOR	COLOR	SABOR	TEXTURA	TPC (mg GAE/100 g)	ORAC (µmoles TE/mg)	GABA (mg/100 g m.s)	AF (g/100g)	FD	
1	6.17	9.62	84.21	38.97	4.28	6.94	32.77	##	61.81	4.90	15.15	39.81	15.90	22.76	6.60	7.12	7.12	7.62	188.44	53.24	18.65	0.28	0.57	Selected
2	9.59	5.60	84.81	39.48	4.26	4.77	27.18	##	###	5.16	###	40.40	15.25	24.24	7.30	7.14	7.23	7.55	132.62	45.64	17.69	0.32	0.55	

GKF: Harina de kiwicha germinada, GCF: Harina de cañihua germinada, WF: Harina de trigo, H: Humedad, Ve: Volumen específico, TXD: Textura-dureza, TXM: textura-masticabilidad, TXC: textura-cohesividad, CM: color de miga, CC: Color corteza, TPC: contenido de fenólicos totales, GABA: contenido de ácido-gamma-aminobutírico, ORAC: capacidad de absorción de radicales de oxígeno, AF: ácido fólico FD: Función de deseabilidad.

Elaboración de galletas:

Para la elaboración de galletas se siguió las siguientes operaciones incluidas en la Figura 91, donde se muestra el diagrama de bloques para la elaboración de galletas. En el Anexo 13 se muestran imágenes del proceso de elaboración de galletas.

Pesado. - Para esta etapa del proceso se pesó los insumos en base a 250 g de harina pastelera para cada uno de los 14 tratamientos más el control. Los porcentajes de las harinas de quinua, kiwicha y trigo, para cada formulación fueron diferentes en base a lo indicado en el Cuadro 7. Mientras que para el resto de los insumos permaneció constante y fueron manteca vegetal (25.65%); vainilla cremosa (0.25%); azúcar (29%); glucosa (6.7%); agua (21.68%); amonio (0.66%); sal (0.59%); leche en polvo (1.68%); bicarbonato de sodio (0.34%) y canela en polvo (0.25%).

Primer Mezclado. - En esta etapa se incorporó al batidor la manteca, azúcar, glucosa, bicarbonato, sal, vainilla cremosa y amonio, para luego poner en marcha el equipo hasta que se obtuvo un mezclado homogéneo durante 20 – 25 min, aproximadamente.

Segundo Mezclado y Amasado. - En esta etapa se incorporó harina de trigo, cañihua y kiwicha, leche y canela en polvo y agua hasta obtener una masa gruesa, formada y homogénea. El amasado continuó durante 20 – 30 min.

Laminado. - La masa final fue laminada con la ayuda de un rodillo.

Moldeado. - Con la ayuda de un molde especial y configurado se dio forma cuadrangular a la masa con un espesor de 2 mm, para luego ser colocadas en una bandeja de aluminio untada con harina y manteca.

Horneado. - El horneado se realizó durante 20 min. a una temperatura de 150 °C.

Enfriado y Empacado. - Con la ayuda de unos guantes de calor se retiró el carro del horno y se procedió a su enfriado a temperatura ambiente durante 10 min. Ya enfriado las galletas se embolsaron en material de polipropileno de alta densidad con dimensiones de 2 x 3 x 2 in.



Figura 91: Proceso para la elaboración de galletas a partir de harinas germinadas en kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule*)

Análisis de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y contenido de ácido fólico de las galletas

Para las 14 muestras de galletas se evaluaron el contenido de TPC en mg GAE/100 g, contenido GABA en mg/100 g m.s, ORAC en μ moles TE/mg y AF en g/100g. En el Cuadro 19, se muestra los resultados obtenidos en cada una de las formulaciones de la galleta.

Cuadro 19: Análisis de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y contenido de ácido fólico de la galleta para diferentes formulaciones.

Formulaciones	Formulación de la masa			Análisis de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante			
	GKF (%)	GCF (%)	WF (%)	TPC (mg GAE/100 g)	ORAC (μ moles TE/mg)	GABA (mg/100 g m.s)	AF (g/100 g)
F1	15.00	15.00	70.00	228.92 \pm 16.62	93.68 \pm 1.03	3.32 \pm 0.06	0.15 \pm 0.00
F2	20.00	20.00	60.00	322.89 \pm 6.72	98.96 \pm 14.25	3.36 \pm 0.08	0.22 \pm 0.00
F3	5.00	20.00	75.00	260.76 \pm 7.13	114.45 \pm 2.37	3.32 \pm 0.09	0.15 \pm 0.00
F4	20.00	20.00	60.00	294.56 \pm 23.58	106.35 \pm 3.91	3.64 \pm 0.00	0.21 \pm 0.00
F5	5.00	20.00	75.00	230.75 \pm 19.53	106.14 \pm 1.32	3.06 \pm 0.03	0.14 \pm 0.00
F6	5.00	20.00	75.00	287.82 \pm 20.39	89.74 \pm 2.97	3.23 \pm 0.07	0.14 \pm 0.00
F7	20.00	20.00	60.00	236.08 \pm 22.07	99.16 \pm 1.75	4.11 \pm 0.06	0.25 \pm 0.00
F8	10.00	25.00	65.00	181.45 \pm 9.82	100.34 \pm 3.40	3.32 \pm 0.03	0.17 \pm 0.00
F9	20.00	5.00	75.00	285.27 \pm 8.29	68.19 \pm 2.21	2.58 \pm 0.05	0.22 \pm 0.00
F10	20.00	5.00	75.00	127.11 \pm 4.57	80.43 \pm 4.35	2.80 \pm 0.06	0.16 \pm 0.00
F11	10.00	10.00	80.00	167.04 \pm 13.22	62.95 \pm 0.94	2.52 \pm 0.10	0.14 \pm 0.00
F12	25.00	10.00	65.00	240.33 \pm 3.93	67.51 \pm 0.33	2.71 \pm 0.22	0.14 \pm 0.00
F13	20.00	5.00	75.00	147.78 \pm 2.95	59.81 \pm 1.33	2.46 \pm 0.06	0.18 \pm 0.01
F14	25.00	10.00	65.00	218.18 \pm 8.62	76.48 \pm 11.73	3.13 \pm 0.13	0.26 \pm 0.01
Control				52.59 \pm 3.74	25.50 \pm 2.80	0.70 \pm 0.04	0.04 \pm 0.00

Contenido de compuestos fenólicos totales (TPC).-

El ANOVA (Anexo 14 – Cuadro 14A) de los modelos de regresión que explican el comportamiento del TPC en base a los porcentajes de GKF, GCF y WF empleadas en su preparación, se reportó que los modelos de tipo lineal, cuadrático y cubico especial tienen valores de $p > 0.05$, lo que indica que los modelos no son estadísticamente significativos sobre la

respuesta (TPC), dichos modelos presentaron un R de 0.2698, 0.3811, 0.5333, respectivamente, sin embargo se seleccionó un modelo para analizar los resultados obtenidos de los valores de TPC de las diferentes formulaciones. El modelo seleccionado es el cubico especial por tener un mayor valor de R. En el Anexo 14 – Cuadro 14B se muestra el nivel de significancia de los parámetros lineales, cuadráticos y cúbicos.

El modelo matemático que describe el TPC fue expresado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{TPC} = & + 107.51 * \text{GKF} (\%) - 108.97 * \text{GCF} (\%) - 54.40 * \text{WF} (\%) + \\ & 1140.96 * \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) + 640.65 * \text{GKF} (\%) * \text{WF} (\%) + 1365.83 * \\ & \text{GCF} (\%) * \text{WF} (\%) - 2758.69 * \text{GKF} (\%) * \text{GCF} (\%) * \text{WF} (\%) + 0 \end{aligned}$$

En la Figura 92 y 93 se presenta el comportamiento del TPC en galleta debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo empleado en su elaboración. En la Figura 94, se presenta el gráfico de Pareto, mostrando el grado de significancia de los parámetros sobre el modelo.

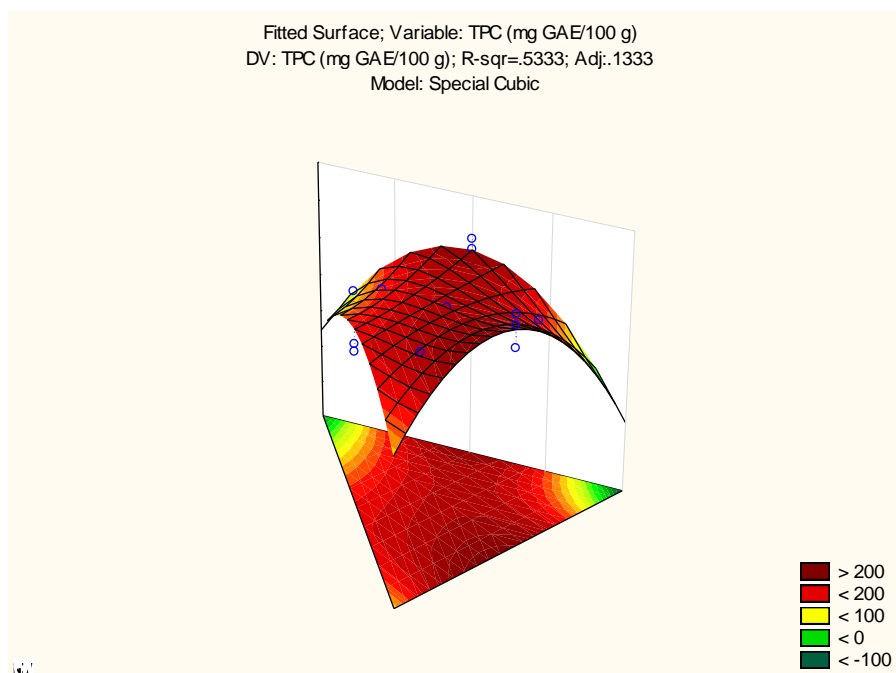


Figura 92: Gráfico de superficie de respuesta del TPC de la galleta.

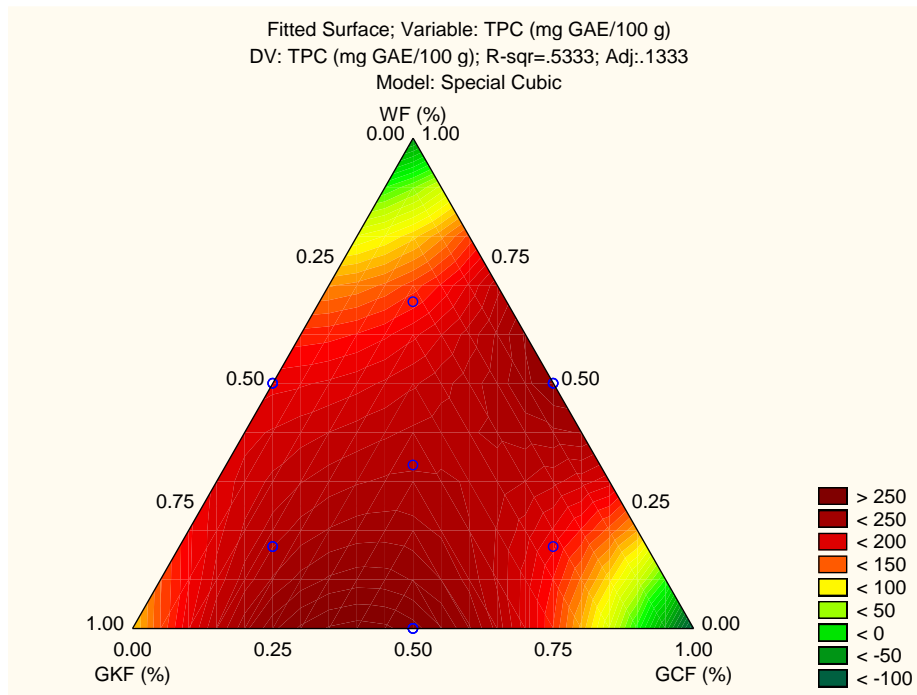


Figura 93: Gráfico de contorno para el TPC de la galleta.

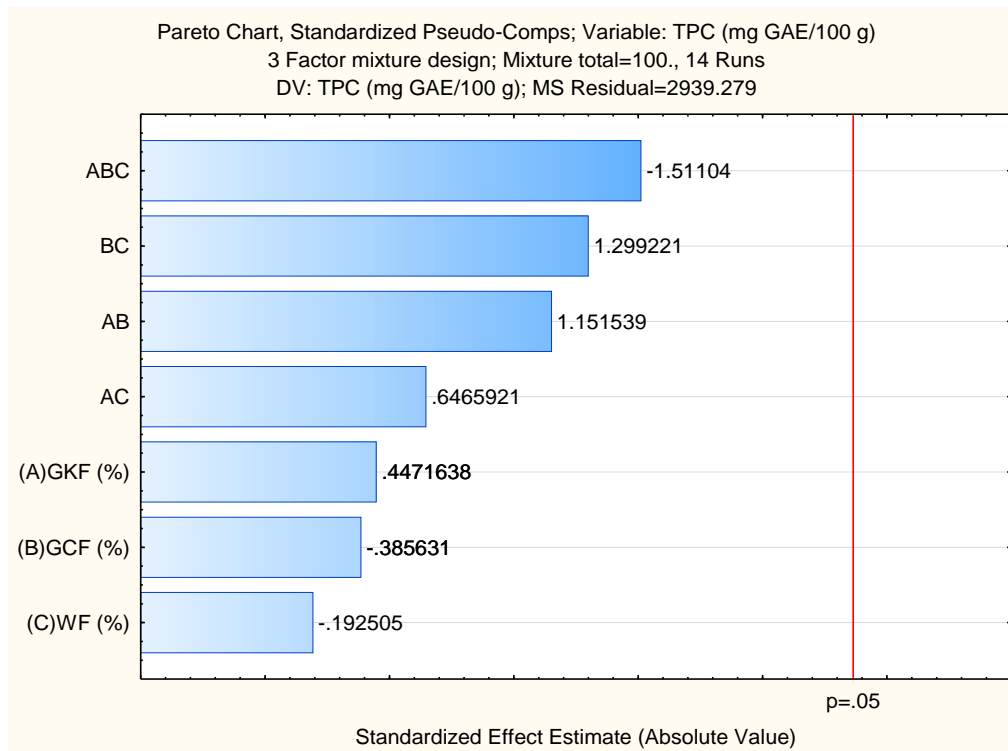


Figura 94: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para el TPC de la galleta.

Los resultados del contenido de TPC de las 14 formulaciones de galleta se muestra en el Cuadro 17 donde se observa una variación en el rango de 127.11 a 322.89 mg GAE/100 g, siendo F2 (20% de GKF, 20% de GCF y 60% de WF) la de mayor contenido (322.89 mg GAE/100 g) , seguido de la F4 y F6 con un contenido de 294.56 y 287.82 mg GAE/100 g, respectivamente. A la vista de los resultados se observa una relación positiva entre el contenido de TPC de las galletas y la proporción de GCF y GKF. En la Figura 92 y 93, la región que indica la máxima concentración de TPC está representada por la zona de color rojo oscuro. Esta región corresponde a formulaciones de harina con mayor porcentaje de GCF y GKF. Si hacemos una comparación entre el contenido de TPC de la galleta control (52.59 mg GAE/100 g) y la galleta de máximo contenido (322.89 mg GAE/100 g), es notorio un incremento de más 6 veces de contenido de TPC cuando la elaboración de la galleta se realiza con una sustitución parcial de la harina de trigo por harina de granos andinos germinados (kiwicha y cañihua). El contenido de compuestos fenólicos (38.51 mg AG/100 g), reportado por Encomenderos (2019) en galletas, fue inferior al reportado en esta investigación, posiblemente debido a que en su investigación no emplea la harina de cañihua germinada con un contenido mayor de TPC que la harina de cañihua sin germinar (Cuadro 9). Juárez y Quispe (2016) elaboraron galletas a base de harina de cañihua, lactosuero y salvado de trigo, encontrando una mayor aceptabilidad en aquella galleta elaborada a base de harina de cañihua (50%); lactosuero (17%) y salvado de trigo (7%), dicha galleta presenta un mayor grado de sustitución que las galletas elaboradas en esta investigación, pero que también presentan una buena aceptabilidad. José (2015) elaboró una galleta con harina de kiwicha, harina de linaza y concentrado foliar de alfalfa, encontrando una formulación óptima de 18%, 18% y 3.0% respectivamente, con mayor aceptabilidad. Esta investigación muestra un grado de sustitución de harina de kiwicha similar a la presente investigación. Capurro y Huerta (2016) elaboraron una galleta con harina de kiwicha, de quinua y de harina de maíz, encontrando una formulación óptima de 6%, 16% y 24% respectivamente, al presentar un alto contenido de aminoácidos esenciales además de una buena aceptación organoléptica. La formulación de esta galleta es similar a la

formulación óptima en la presente investigación, corroborando de esta forma que formulaciones con estos porcentajes de sustitución presentan buena aceptabilidad además de características nutricionales importantes.

Contenido de GABA. -

El ANOVA (Anexo 14 – Cuadro 14C) de los modelos de regresión que explican el comportamiento del GABA en base a los porcentajes de harina de kiwicha germinada (GKF), harina de cañihua germinada (GCF) y harina de trigo (WF) empleadas en su preparación, se reportó que los modelos de tipo lineal, cuadrático y cubico especial tienen valores $p = 0.0005, 0.8048, 0.1641$. El modelo lineal fue elegido por tener el efecto estadístico significativo con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$). Con respecto a los parámetros lineales individuales, son estadísticamente significativos sobre el modelo ajustado (Anexo 14 – Cuadro 14D). El modelo matemático que describe el GABA fue expresado de la siguiente manera:

$$\mathbf{GABA = + 3.02 * GKF (\%) + 4.18 * GCF (\%) + 2.14 * WF (\%) + 0}$$

En la Figura 95 y 96 se presenta el GABA en la galleta debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo empleado en su elaboración. En la Figura 97, se presenta el gráfico de Pareto, mostrando la significancia de los parámetros lineales sobre el modelo.

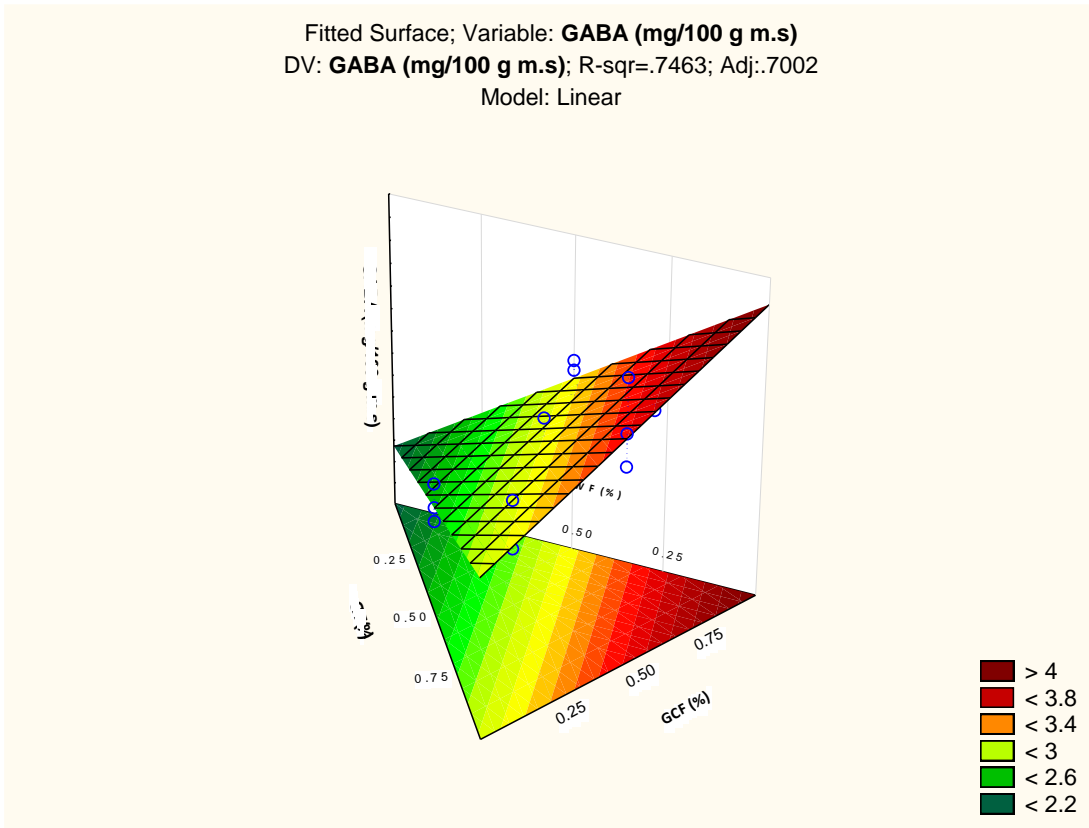


Figura 95: Gráfico de superficie de respuesta de GABA de la galleta.

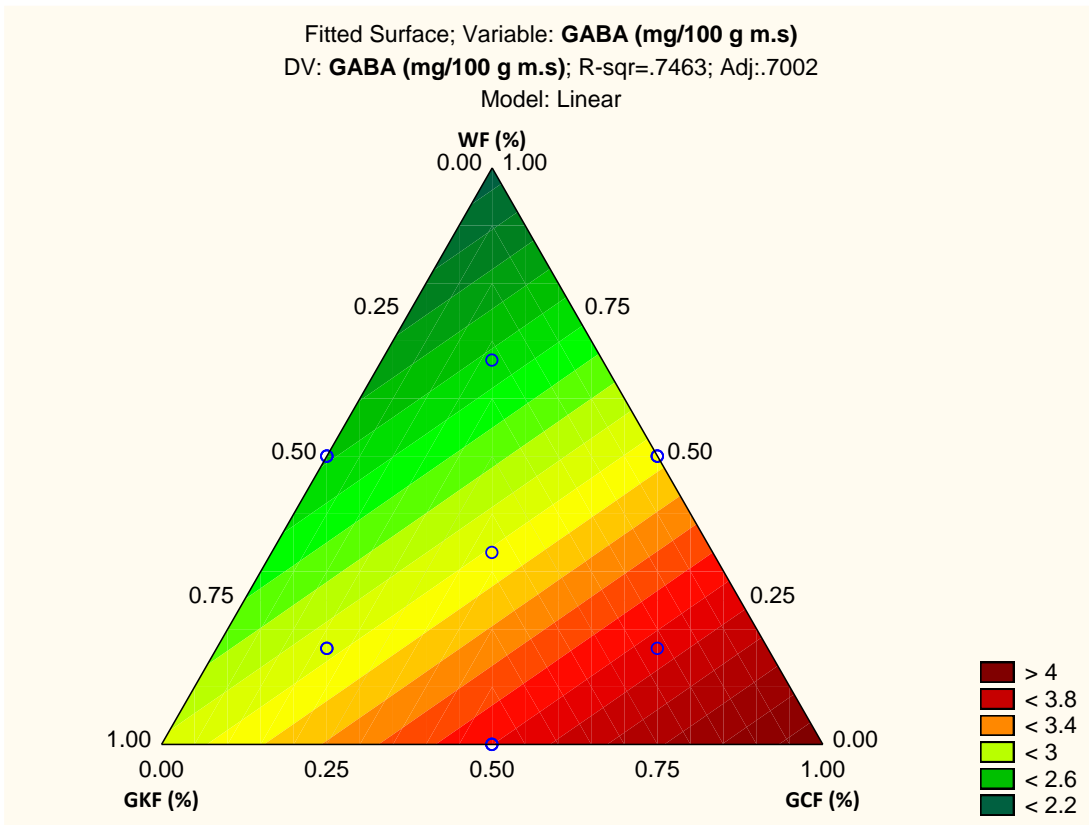


Figura 96: Gráfico de contorno para GABA de la galleta.

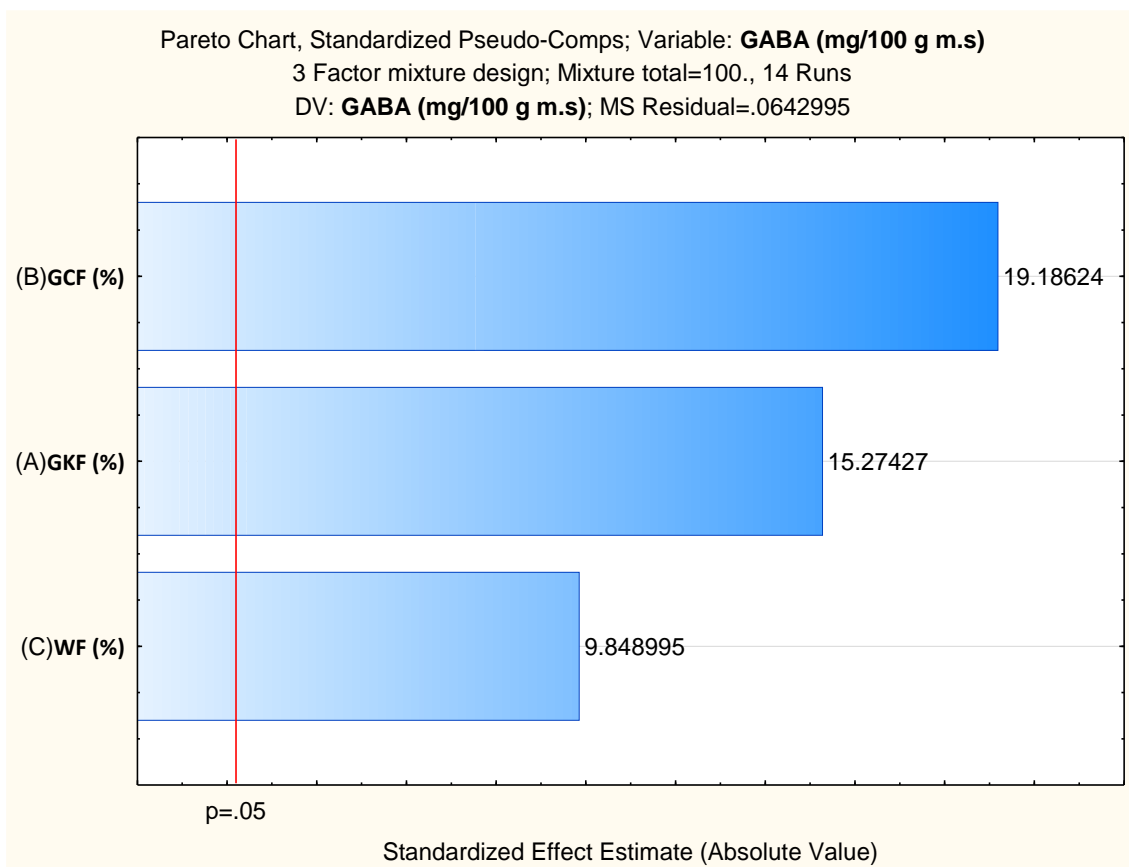


Figura 97: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para GABA de la galleta.

Los resultados de GABA de los 14 tratamientos para la galleta con porcentajes diferentes de GKF (%), GCF (%) y WF (%), se muestran en el Cuadro 17, donde se observa que el contenido de este aminoácido varió entre 2.46 y 4.11 mg/100 g. La formulación F7 (20% de GKF, 20% de GCF y 60% de WF) fue la más rica en GABA (4.11 mg/100 g), seguido de la F4 con un contenido de 3.64 mg/100 g. Si comparamos el contenido de GABA de la formulación F7 con la muestra control es notorio un contenido de 5.87 veces más, posiblemente al alto contenido de GABA de los granos germinados empleados en la elaboración de la galleta. En las Figuras 95 y 96, nos da a conocer los rangos de los porcentajes de GKF, GCF y WF que optimizan el GABA en la galleta, en estos gráficos, se puede comprobar que el ingrediente individual GCF genera un contenido más alto de GABA. La región de interés que indica la máxima calificación de GABA está representada por la zona de color rojo oscuro. Con la lectura

de esta región de interés, se observa que los rangos porcentuales de GKF, GCF y WF que optimizan el GABA son cuando se incrementa el GCF.

Contenido de ácido fítico (AF)

El ANOVA (Anexo 14 – Cuadro 14E) de los modelos de regresión que explican el comportamiento del AF en base a los porcentajes de GKF, GCF y WF empleadas en su preparación indicó que los modelos de tipo lineal, cuadrático y cubico especial tienen valores $p = 0.021, 0.819, 0.516$. El modelo lineal fue elegido por tener el efecto estadístico significativo con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$). Con respecto a los parámetros lineales individuales, son estadísticamente significativos sobre el modelo ajustado (Anexo 14 – Cuadro 14F). El modelo matemático que describe el AF fue expresado de la siguiente manera:

$$AF = + 0.25 * GKF (\%) + 0.18 * GCF (\%) + 0.10 * WF (\%) + 0$$

En la Figura 98 y 99, se presenta el contenido de AF en la galleta debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo empleado en su elaboración. En la Figura 100, se presenta el gráfico de Pareto, mostrando la significancia de los parámetros lineales sobre el modelo.

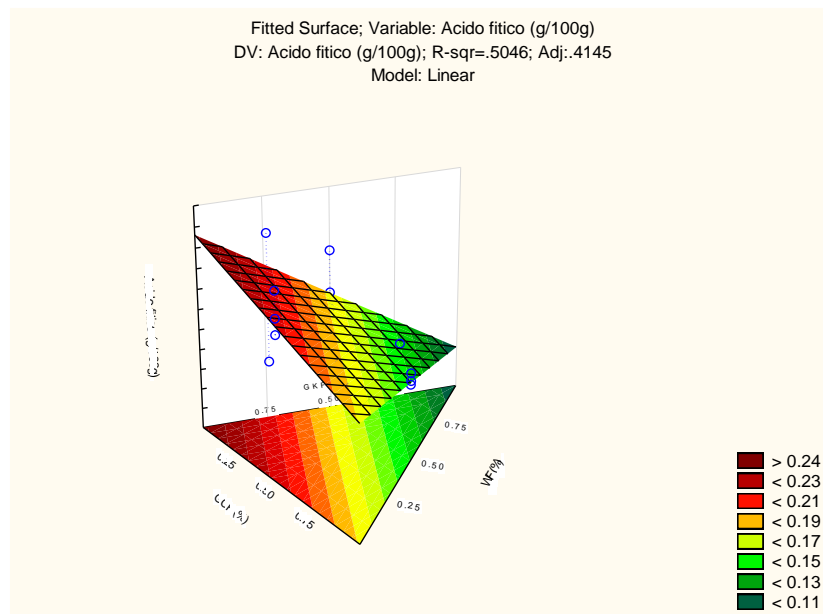


Figura 98: Gráfico de superficie de respuesta de AF en la galleta.

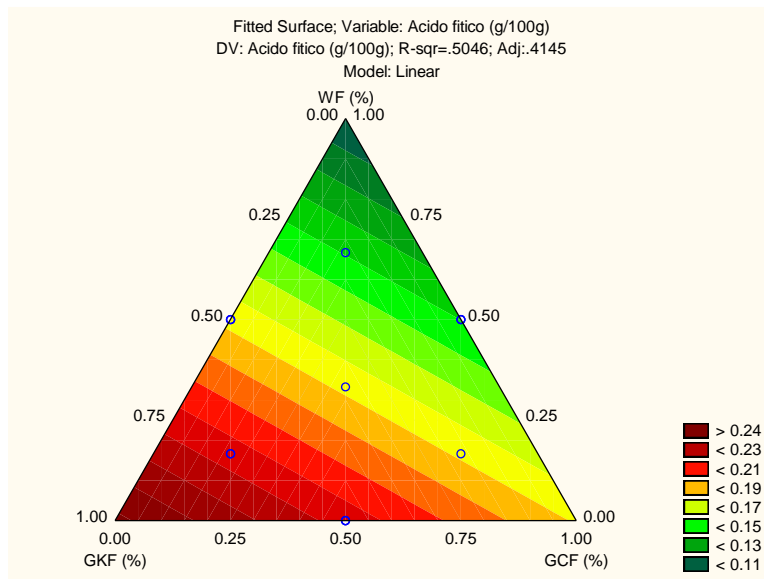


Figura 99: Gráfico de contorno para AF de la galleta.

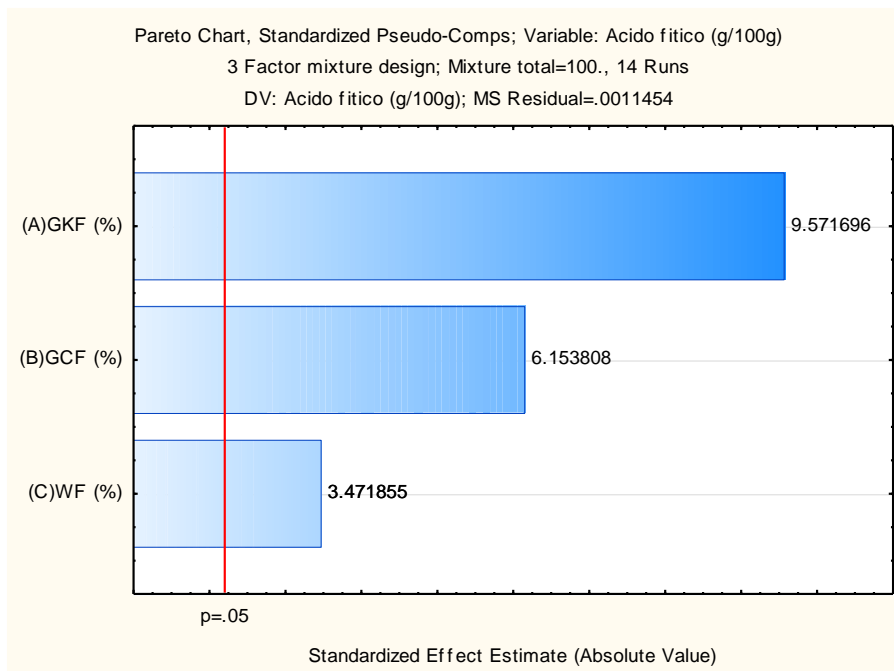


Figura 100: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para AF de la galleta.

Los resultados de ácido fólico de los 14 tratamientos para la elaboración de galletas con porcentajes diferentes de GKF (%), GCF (%) y WF (%), se

muestran en el Cuadro 19, esta varió, para el caso del AF, en el rango de 0.14 a 0.26 g/100g, lo cual sugiere que los niveles porcentuales de GKF (%), GCF (%) y WF (%) permitieron una exploración completa del análisis de AF de galleta. Entre los tratamientos, el F14 presentó un mayor nivel de AF (g/100g) al estar compuesto por una mezcla de 20% de GKF, 10% de GCF y 65% de WF, seguido de la F7 con un contenido de 0.26 y 0.25 respectivamente. La composición de estos tratamientos evidenció un incremento del contenido de AF, cuando se incrementó el % GKF. Las Figuras 98 y 99, nos da a conocer los rangos de los porcentajes de GKF, GCF y WF que minimiza el AF en la galleta, en estos gráficos, se comprueba que la disminución individual de GKF permite una disminución de la cantidad de AF. Si hacemos una comparación entre el contenido de AF de la galleta control (0.04 g/100g) y la galleta de máximo contenido (0.26 g/100g) es notorio un incremento de 6.5 veces de contenido mayor cuando la elaboración de la galleta se realiza con una sustitución parcial de la harina de trigo por harina de granos andinos germinados (kiwicha y cañihua); el uso de harinas integrales de pseudocereales aumenta su contenido mineral, pero este aumento viene con niveles más altos de ácido fítico (InsP6), formando compuestos insolubles que inhiben su biodisponibilidad. Algunas estrategias pueden aumentar la biodisponibilidad de minerales cuando se utilizan harinas germinadas que tienen fitasas activadas, entre otras estrategias.

El contenido de AF de las 14 formulaciones de galleta estuvo en el rango de 0.14 a 0.26 g/100g (Cuadro 17), siendo la formulación F14 (20% de GKF, 10% de GCF y 65% de WF) la de mayor contenido (0.26 g/100g), seguido de la F14 y F7 con un contenido de 0.26 y 0.25 respectivamente. Las Figuras 98 y 99, se muestra que la disminución individual de GKF permite una disminución de la cantidad de AF. Si hacemos una comparación entre el contenido de AF de la galleta control (0.04 g/100g) y la galleta de máximo contenido (0.26 g/100g) es notorio un incremento de 6.5 veces de contenido mayor cuando la elaboración de la galleta se realiza con una sustitución parcial de la harina de trigo por harina de granos andinos germinados (kiwicha y cañihua); el uso de harinas integrales de pseudocereales

aumenta su contenido mineral, pero este aumento viene con niveles más altos de ácido fítico, formando compuestos insolubles que inhiben su biodisponibilidad. Algunas estrategias pueden aumentar la biodisponibilidad de minerales cuando se utilizan harinas germinadas que tienen fitasas activadas, entre otras estrategias.

Capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC).-

El ANOVA (Anexo 14 – Cuadro 14G) de los modelos de regresión que explican el comportamiento del ORAC en base a los porcentajes de harina de kiwicha germinada (GKF), harina de cañihua germinada (GCF) y harina de trigo (WF) dio lugar a valores $p = 0.00593, 0.9446, 0.0595$ para los modelos de tipo lineal, cuadrático y cubico especial. El modelo lineal fue elegido por tener el efecto estadístico significativo con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$). Los parámetros lineales individuales fueron estadísticamente significativos sobre el modelo ajustado (Anexo 14 – Cuadro 14H). El modelo matemático que describe el ORAC fue expresado de la siguiente manera:

$$\text{ORAC} = + 65.46 * \text{GKF} (\%) + 133.01 * \text{GCF} (\%) + 66.30 * \text{WF} (\%) + 0$$

En la Figura 101 y 102 se presenta el ORAC en la galleta debido al porcentaje de harina germinada de kiwicha y cañihua y harina de trigo empleado en su elaboración. En la Figura 103, se presenta el gráfico de Pareto, mostrando la significancia de los parámetros lineales sobre el modelo.

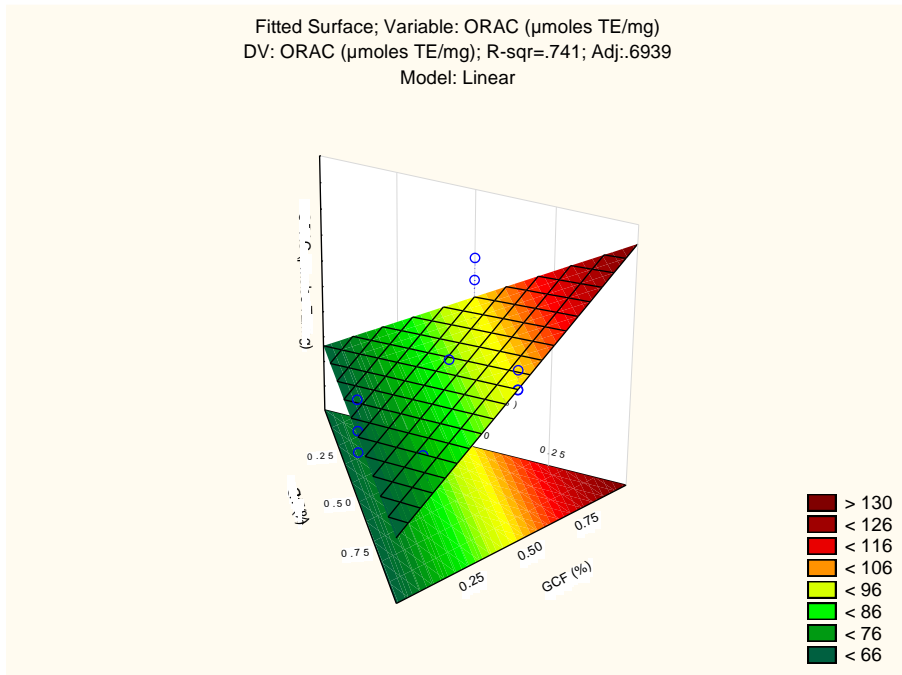


Figura 101: Gráfico de superficie de respuesta de ORAC de la galleta.

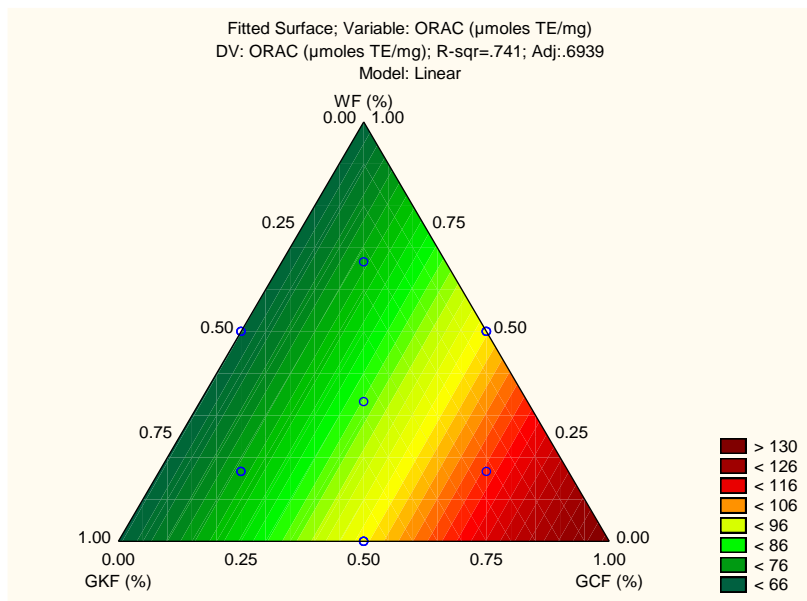


Figura 102: Gráfico de contorno para ORAC de la galleta.

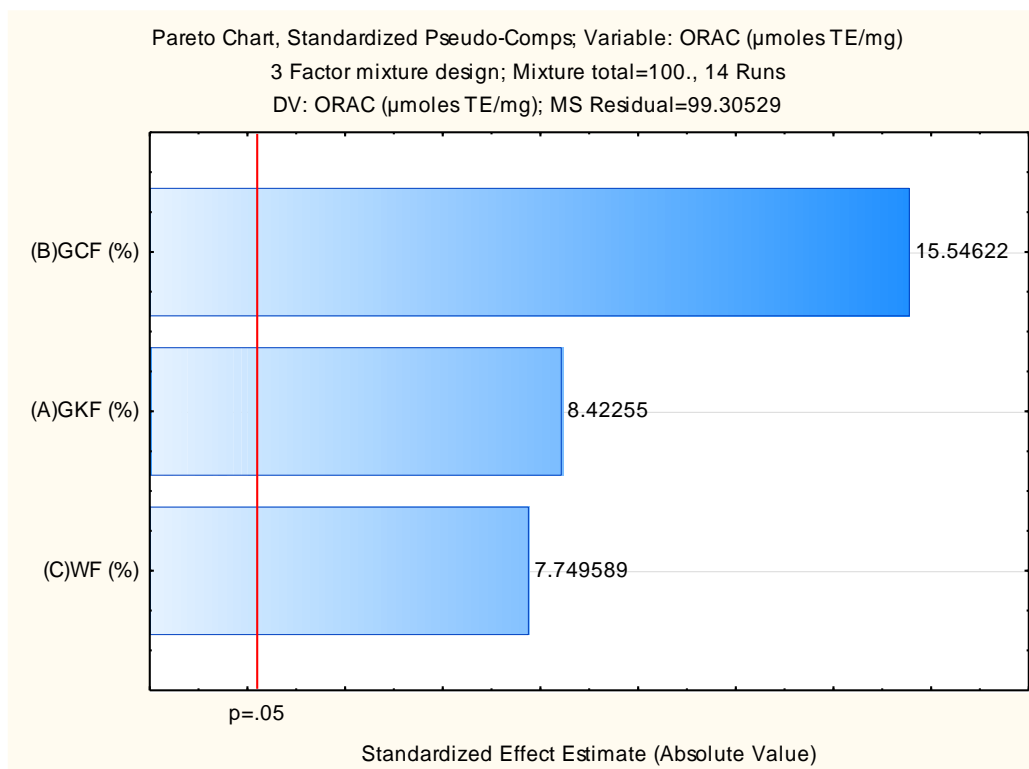


Figura 103: Gráfico de Pareto de la significancia de los parámetros lineales para ORAC de la galleta.

La capacidad antioxidante de las 14 formulaciones de galletas osciló entre 59.81 a 114.45 $\mu\text{moles TE/mg}$ (Cuadro 17), lo que indicó un efecto significativo de la sustitución de WF por GCF y GKF. Entre las formulaciones, la F3 (5% de GKF, 20% de GCF y 75% de WF) presentó una mayor actividad antioxidante (114.45 $\mu\text{moles TE/mg}$), seguido de la F4 y F5 con un contenido de 106.35 y 106.14 $\mu\text{moles TE/mg}$, respectivamente. En las figuras 101 y 102 se evidencia como la región con los valores máximos de ORAC (color rojo oscuro) se corresponde con un mayor porcentaje de GCF en la formulación de la galleta y menor de GKF y WF. La galleta F3 (114.45 $\mu\text{moles TE/mg}$) un valor de actividad antioxidante 4.45 veces superior a la galleta control (25.50 $\mu\text{moles TE/mg}$). Esto puede atribuirse a la mayor actividad antioxidante de las harinas de kiwicha y cañihua germinadas asociada a su mayor contenido de compuestos fenólicos (Cuadros 9 y 10). En este sentido, Abderrahim *et al.*, (2012) demostró que la germinación de cañihua a una temperatura de 20 °C y durante 72 h aumentaba los compuestos fenólicos y capacidad

antioxidante. Paucar-Menacho, *et al.* (2018), demostró que la germinación de kiwicha incrementó el contenido de ORAC cuyas condiciones óptimas de tiempo y temperatura fueron 26 °C durante 63 horas, lográndose un aumento de 29.1 veces.

Existen diversos estudios que han desarrollado galletas saludables con diversos beneficios para la salud. Boobler *et al.* (2007) adicionó vitamina B12, ácido fólico, vitamina C y fibra prebiótica a una formulación de galletitas estándar, a la vez que redujeron el contenido de sal y azúcar en el producto final. Los resultados del estudio de estos autores indicaron que el consumo del producto obtenido reducía el nivel de distintos indicadores de riesgo cardiovascular en personas sanas. Pérez *et al.* (2018), utilizó la cascarilla de cacao como fuente de fibra dietética en la elaboración de galletas obteniendo un rango de actividad antioxidante de 4.3 a 8.4 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$, este resultado es menor a lo obtenido en la presente investigación debido a que el ingrediente sustituto de la harina de trigo fue diferente.

Con respecto a la sustitución de la harina de trigo por otras harinas Vierci y Ferro (2018), mencionan que la harina de trigo es un ingrediente que puede ser eliminado de las recetas de galletas y ser reemplazado por harinas alternas como la harina de quinoa, amaranto o harinas de frutas para producir alimentos saludables que favorezcan la salud de personas celiacas. Sin embargo, es necesario que la sustitución de la harina de trigo por otros componentes no sea total, ya que el uso de al menos 10% de este ingrediente aporta elasticidad y textura a la masa, propiedades importantes de los productos de panadería y pastelería (Giaquinta *et al.* 2017).

Optimización conjunta de las variables de respuesta

Teniendo los modelos ajustados para cada respuesta (Contenido de TPC, AF y GABA, así como la actividad antioxidante determinada por el método ORAC); se procedió a aplicar el método de optimización conjunta. Para establecer esta función se necesita tener un conocimiento a priori de los rangos de valores deseables o del objetivo de la variable (maximizar o minimizar). Para las variables respuesta: TPC, GABA, AF y ORAC lo que se busca es maximizar la respuesta, mientras en el caso de ácido fólico (por su implicación negativa en la

biodisponibilidad de minerales) lo que se busca es minimizar su concentración. Definidos estos criterios se procede a realizar el algoritmo de optimización, empleando el software Design Expert 7.0. Este método presenta varias soluciones que se muestran en el Cuadro 20. La mejor solución es aquella que presenta un valor de la función de deseabilidad más cercano a 1. En este caso la mejor solución es la presentada en el número 1, con una deseabilidad de 0,70. El porcentaje de harina de kiwicha germinada, harina de cañihua germinada y harina de trigo que optimizan las características de la galleta son: 5%, 23.10% y 71.90% respectivamente, cuyos valores predictivos de TPC, GABA, AF y ORAC es 239.58 mg GAE/100 g, 3.37 mg/100g, 0.15 g/100 g y 106.54 μ moles TE/mg respectivamente.

Cuadro 20: Soluciones para la optimización conjunta para la elaboración de galletas

Soluciones	Formulación de la masa			TPC (mg GAE/100 g)	ORAC (μ moles TE/mg)	AF (g/100 g)	GABA (mg/100g)	Desirability	
	GKF (%)	GCF (%)	WF (%)						
1	5.00	23.10	71.90	239.58	106.54	0.15	3.37	0.70	Selected
2	16.90	23.11	60.00	249.88	106.23	0.21	3.72	0.65	
3	18.37	21.63	60.00	269.43	102.90	0.21	3.66	0.64	
4	20.00	20.00	60.00	284.51	99.24	0.22	3.60	0.62	

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La harina de kiwicha germinada presenta menor contenido de humedad, proteína y mayor contenido de grasa, así como un contenido similar de ceniza en comparación con la harina de kiwicha sin germinar. La harina de cañihua germinada presenta menor contenido humedad, proteína y mayor contenido de grasa, así como un contenido similar de ceniza en comparación con la harina de cañihua sin germinar.
- La harina de kiwicha germinada con respecto a los compuestos fenólicos, ácido gamma-aminobutírico y capacidad antioxidante en comparación con la harina sin germinar, presenta una diferencia estadística significativa, el proceso de germinación permitió incrementar dichos compuestos en un 129%, 167% y 63.5% respectivamente; la harina de cañihua germinada con respecto a los compuestos fenólicos, ácido gamma-aminobutírico y capacidad antioxidante en comparación con la harina sin germinar, presentó una diferencia estadística significativa, el proceso de germinación permitió incrementar dichos compuestos en un 96%, 795% y 57.2% respectivamente.
- La harina de kiwicha germinada con respecto al contenido de ácido fítico en comparación con la harina sin germinar no presentó diferencia estadísticamente significativa mientras la harina de cañihua germinada presentó una disminución significativa de 25% en comparación con la harina sin germinar.
- El efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de kiwicha y cañihua, en la elaboración de una masa de panificación, fue posible representarlo mediante modelos matemáticos estadísticamente significativos ($P < 0.05$) y gráficos de superficie de respuesta. Esto permitió una optimización conjunta para una masa con características reológicas apropiadas en la elaboración de productos de panificación. La composición de dicha masa es 5% de GKF, 8.95% de GCF y 86.05%

de WF, determinada en función de la absorción de agua, tiempo de desarrollo, estabilidad, consistencia, temperatura de gelatinización, máxima gelatinización, resistencia a la extensión y extensibilidad.

- La sustitución parcial de harina de trigo por harina de kiwicha y cañihua germinada para la elaboración de pan de molde permitió encontrar una mezcla óptima de harinas en función de parámetros fisicoquímicos, contenido de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante, contenido de ácido fítico y análisis sensorial, siendo esta mezcla constituida por 6.17% de GKF, 9.62% de GCF y 84.21% de WF.
- La sustitución parcial de harina de trigo por harina de kiwicha y cañihua germinada para la elaboración de galletas permitió encontrar una mezcla óptima de harinas en función del contenido máximo de fenoles totales, capacidad antioxidante y la menor concentración de ácido fítico, siendo esta mezcla constituida por 5% de GKF, 23.10% de GCF y 71.90% de WF.

5.2. RECOMENDACIONES

- Investigar sobre los beneficios de la germinación en otros granos andinos peruanos, estableciendo parámetros óptimos como temperatura y tiempo que permitan maximizar la síntesis de compuestos beneficiosos para la salud.
- Además de determinar los porcentajes óptimos de harinas de kiwicha, cañihua germinadas y harina de trigo para la elaboración de panes y galletas, es necesario establecer los parámetros óptimos de proceso de elaboración de dichos productos, como tiempo de fermentación, temperatura y tiempo de horneado, el % de los otros ingredientes, etc.
- Realizar estudios de biodisponibilidad de los compuestos bioactivos presentes en panes y galletas elaborados con harina de kiwicha y cañihua germinada.
- Emplear la harina de kiwicha y cañihua germinada en proporciones adecuadas en otros productos como fideos, barras energéticas, bebidas, etc. con la finalidad de obtener alimentos que beneficien a la salud.

- Determinar el tiempo de vida útil del pan de molde y de la galleta elaborada con sustitución parcial de harina de trigo por harina de kiwicha y cañihua germinada, en base a diferentes indicadores de estabilidad.
- Realizar un estudio técnico económico de la producción a nivel industrial de panes de molde y galletas elaboradas con sustitución parcial de harina de trigo por harina de kiwicha y cañihua germinada, con la finalidad de aprovechar materias primas peruanas y generar alimentos con altos compuestos bioactivos y capacidad antioxidante disponibles para la población de nuestra región.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abderrahim, F., Huanatico, E., Repo-Carrasco-Valencia, R., Arribas, S., Gonzalez, M., & Condezo-Hoyos, L. (2012). Effect of germination on total phenolic compounds, total antioxidant capacity, Maillard reaction products and oxidative stress markers in canihua (*Chenopodium pallidicaule*). *Journal of Cereal Science*, Vol. 56(2), pp. 410-417. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.04.013>
- Aksel, B. (2010). A brief review on bioactive compounds in plants, In: Bioactive compounds in plants - benefits and risks for man and animals. *The Norwegian Academy of Science and Letters*, 6(4), pp. 11-17. Disponible en: [https://www.scirp.org/\(S\(oyulxb452alnt1aej1nfow45\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1881937](https://www.scirp.org/(S(oyulxb452alnt1aej1nfow45))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1881937)
- Aliaga, S., Mamani, F. y Mamani N. (2017). Potencial alimenticio de los germinados de Cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). *Revista APTHAPI*. Vol 3(3): 634-638. Disponible en: <http://ojs.agro.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/159/158>
- Almajano, M. (2009). *Determinación de la actividad antioxidante de las bayas de goji*. Consorci Escola Industrial de Barcelona.
- Altamirano, A. (2020). Obtención de una nueva variedad de kiwicha grano amiláceo comprobada y adaptada a las condiciones agroecológicas de la sierra. *Instituto Nacional de Innovación Agraria*. Disponible en: https://www.gob.pe/institucion/inia/informes-publicaciones/1074605-proyecto-n-150_pi-presentacion-de-resultados
- Álvarez–Jubetea, L., Wijngaarda, H., Arendtb, E. & Gallagherra, E. (2010). Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food*

Chemistry, 119(2), pp. 770-778. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.032>

AOAC (2000). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 17th edition.

AOAC (1992). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 16th edition.

Apaza, B., Hayqui, H. & Sumire, D. (2015). Sustitución parcial de la harina de trigo (*Triticum aestivum*) por las harinas de quinua (*Chenopodium Quinoa Wild*); cañihua (*Chenopodium pallidicaule*); y chía (*Salvia hispánica L.*) en la elaboración de pan Chuta. *Revista de Investigación Universitaria*, 4(1). Disponible en: <https://doi.org/10.17162/riu.v4i1.607>

Aredo, V., Velásquez, L., Narro, O., & Domínguez, R. (2014). Response Surface Method and Fuzzy Modelling in the development of cookies with chia seed (*Salvia hispánica L.*). *Agroindustrial Science*, 4(1), pp. 27-34.

Arone, H. (2015). *Evaluación de las propiedades físicas, químicas y organolépticas del pan tipo molde enriquecido con harina de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) y chía (*Salvia hispánica L.*)*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional José María Arguedas]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional José María Arguedas. Disponible en: <https://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/123456789/210/16-2015-EPIA-Arone%20Palomino-Evaluaci%C3%B3n%20de%20las%20propiedades%20del%20pan%20molde.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ayala, G., Ortega L. y Morón, C. (2004). *Valor nutritivo y usos de la quinua*. In: A. Mujica, S. Jacobsen, J. Izquierdo y JP. Marathe (eds). *Quinua: Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro*. FAO. UNA. CIP. Santiago, Chile

- Baidakova, N. & Orlova, T. (2017). Influence of Abrasive Grain Geometrical Characteristics on the Grinding Quality. *Elservier: Procedia Engineering*, Vol. 206, pp. 194-199. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2017.10.459>
- Bajaña, S. & Setti, D. (2015). *Sustitución Parcial de la Harina de Trigo por Harina de Banano y su Efecto en las Propiedades Fisicoquímicas del Pan Tipo Molde*. [Tesis de bachiller, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Repositorio Institucional de la Escuela Superior Politécnica del Litoral. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/29851/D-88115.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- Barba de la Rosa, A., Fomsgaard, I., Laursen, B., Mortensen, A., Olvera-Martínez, L., Silva-Sánchez, C., Mendoza-Herrera, A., González-Castañeda, J. & De León-Rodríguez, A. (2009). Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) as an alternative crop for sustainable food production: phenolic acids and flavonoids with potential impact on its nutraceutical quality. *Journal of Cereal Science*, 49(1), pp. 117-121. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.07.012>
- Bardón, I. (2010). *El sector de los productos de panadería, bollería y pastelería industrial, y galletas en la Comunidad de Madrid*. España.
- Benavides, V. (2017). *Determinación del umbral de diferencia del sabor salado en pan blanco de molde y su efecto sobre la calidad durante el almacenamiento*. [Trabajo final de graduación inédita]. Universidad de Costa Rica.
- Betalleluz-Pallardel, I., Inga, M., Mera, L., Pedreschi, R., Campos, D., & Chirinos, R. (2017). Optimisation of extraction conditions and thermal properties of protein from the Andean pseudocereal cañihua (*Chenopodium pallidicaule*)

Aellen). *International Journal of Food Science & Technology*, 52(4), pp. 1026-1034. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/ijfs.13368>

Bewley, J. & Black, M. (1983). *Fisiología y germinación*. Segunda edición. Acribia. Zaragoza – España.

Bhinder, S., Supriya, K., Balwinder, S., Amritpal, K. & Narpinder, S. (2021). Impact of germination on phenolic composition, antioxidant properties, antinutritional factors, mineral content and Maillard reaction products of malted quinoa flour. *Food Chemistry*, Vol. 1, pp. 346-354. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128915>

Bravo, A., Reyna, R., Gómez, M. & Huapaya, H. (2013). Estudio químico y nutricional de granos andinos germinados de quinua (*Chenopodium quinoa*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 16(1), pp. 54–60. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/6558>

Budilarto, E., & Kamal-Eldin, A. (2015). The supramolecular chemistry of lipid oxidation and antioxidation in bulk oils. *European journal of lipid science and technology*, 117(8), pp. 1095-1137. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ejlt.201400200>

Caceres, P., Martínez-Villaluenga, C., Amigo, L., & Frias, J. (2014). Maximising the phytochemical content and antioxidant activity of Ecuadorian brown rice sprouts through optimal germination conditions. *Food Chemistry*, 152(1), pp. 407-414. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.156>

Callejo, M. (2010). *Industrias de Cereales y Derivados*. Madrid: AMV-Mundi-Prensa.

- Cammack, R., Atwood, T., Campbell, P., Parish, H., Smith, A., Vella, F. & Stirling, J. (2006). Oxford Dictionary of Biochemistry and Molecular Biology (2nd Ed). Oxford University Press, pp. 74-75. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/acref/9780198529170.001.0001>
- Castillo, E. (2010). *Determinación de la estabilidad de los compuestos antioxidantes durante la germinación y extrusión en la cañihua (Chenopodium Pallidicaule Aellen)*. [Tesis de titulación inédita]. Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Castillo, R. (2018). *Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo (triticum spp) por la mezcla de harina de cañihua (chenopodium pallidicaule): harina de hoja de moringa (moringa oleifera) en las características fisicoquímicas y aceptabilidad de una galleta*. [Tesis para obtener el grado de Ingeniería Agroindustrial y Comercio Exterior, Universidad César Vallejo]. Repositorio institucional de la Universidad César Vallejo. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/34261>
- Chahuan, A., Saxena, D. & Singh, S. (2015). Total dietary fibre and antioxidant activity of gluten free cookies made from raw and germinated amaranth (Amaranthus spp.) flour. *LWT-Food Science and Technology*, 63(2), pp. 939-945. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.115>
- Chaparro, D., Pismag, R. & Elizalde, C. (2011). Efecto de la germinación sobre el contenido de hierro y calcio en amaranto, quinua, guandul y soya. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(1), pp. 51-59. Disponible en: <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/bioteologia/article/view/763>
- Chen, Z., Yu, L., Wang, X., Gu, Z., & Beta, T. (2016). Changes of phenolic profiles and antioxidant activity in canaryseed (Phalaris canariensis L.) during germination. *Food Chemistry*, 194(1), pp. 608-618. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.060>

- Chen, Z., Wang, P., Weng, Y., Ma, Y., Gu, Z., & Yang, R. (2017). Comparison of phenolic profiles, antioxidant capacity and relevant enzyme activity of different Chinese wheat varieties during germination. *Food Bioscience*, Vol. 20, pp. 159–167. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.10.004>
- Cho, R., Shin, S., Choi, Y., & Kovach, J. (2009). Development of a multidisciplinary optimization process for designing optimal pharmaceutical formulations with constrained experimental regions. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 44(9), pp. 841-853. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00170-008-1895-5>
- Choquehuanca, F. (2015). *Determinación de mercado para galletas con cañihua germinada y chocolates con quinua expandida, en las ciudades de Arequipa, Cusco y Juliaca* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Altiplano Puno]. Repositorio de la Universidad Nacional del Altiplano Puno. Disponible en: <http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/629/EPG234-00212-01.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Colmenares, S. (2015). *Efecto de la germinación sobre la composición química y nutricional de la semilla de amaranto (Amaranthus spp.)*. [Tesis de maestría, Universidad de San Carlos]. Repositorio de la Universidad de San Carlos Guatemala. Disponible en: <http://www.researchgate.net>.
- 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*. [Tesis, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. Disponible en: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/945>
- Cruz, M. (2017). *Aplicaciones de la Semilla Germinada de quinua (Chenopodium quinoa Willd) en la mejora Nutricional de los preparados Alimentarios*.

[Tesis, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Trujillo. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/10042>

Da Silva, L., Paucar-Menacho, L., Vicente C., Salles, A. & Steel, C. (2009). Desenvolvimento de pão de fôrma com a adição de farinha de “okara”. *Brazil Journal Food Technology*, 12(4), pp. 315-322.

De Assis, M., Neves, S., De Almeida, C., Da Silva, T. & Hernandez, T. [et al.] (2020). Biscoito de chocolate sem glúten adicionado de farinha de amaranto/ gluten-free chocolate biscuit with amaranth flour. *Brazilian Journal of Development*, 6(2). Disponible en: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/7051>

De la Cruz, W. (2009). *Complementación proteica de harina de trigo (triticum aestivum L.) por harina de quinua (chenopodium quinoa willd) y suero en pan de molde y tiempo de vida útil*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1742>

Delgado, L., Betanzos, G. & Sumaya, T. (2010). Importancia de los antioxidantes dietarios en la disminución del estrés oxidativo. *Investigacion y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, Vol. 50, pp. 10-15.
ISSN: 1665-4412

Demir, B., & Bilgiçli, N. (2020). Changes in chemical and anti-nutritional properties of pasta enriched with raw and germinated quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) flours. *Journal of Food Science and Technology*, 57(10), 1–9. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04420-7>

- De Souza, T. (2017). Desenvolvimento e análise sensorial de pão com adição de farinha de amaranto. Universidad Federal de Mato Grosso. Disponible en: <http://bdm.ufmt.br/handle/1/98>
- Dhiman, A., Vaibhav W., & Arun N. (2014). *Introduction to the Functional Foods. Introduction to Functional Food Science: Textbook. 2nd ed.* Functional Food Center.
- Diana, M., Quílez, J., & Rafecas, M. (2014). Gamma-aminobutyric acid as a bioactive compound in foods: a review. *Journal of Functional Foods*, Vol. 10, pp. 407-420. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.07.004>
- Días, V., Coelho, K., Areas, J. & Guerra, A. (2006). Efeito da adição de amaranto na composição e na aceitabilidade do biscoito tipo cookie e do pão de forma. *Alim. Nutr., Araraquara*, 17(3), pp. 269-274. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/49599828_Efeito_da_adicao_d_e_amaranto_na_composicao_e_na_aceitabilidade_do_biscoito_tipo_cookie_e_do_pao_de_forma
- Dueñas, M., Hernández, T., Estrella, I., & Fernández, D. (2009). Germination as a process to increase the polyphenol content and antioxidant activity of lupin seeds (*Lupinus angustifolius* L.). *Food Chemistry*, 117(4), pp. 599–607. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.051>
- Eerlingen, R. & Delcour, J. (1995). Formation, analysis, structure and properties of type III enzyme resistant starch. *Journal of Cereal Science*, 22(2), pp. 129-138. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0733-5210\(95\)90042-X](https://doi.org/10.1016/0733-5210(95)90042-X)
- Encomenderos, A. (2019). *Efecto de la sustitución de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por harina de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de galletas dulces.* [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera en Industrias Alimentarias inédita]. Universidad Privada Antenor Orrego.

- Esteller, M., Amaral, R. & Lannes, S. (2007). Effect of sugar and fat replacers on the texture of baked goods. *Journal of Texture Studies*, 35(4), pp. 383-393. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2004.tb00602.x>
- Estrada, R. (2015). *Fortalecimiento de la producción orgánica de kiwicha en la Región Cusco de la Dirección Regional Agraria*. Programa Nacional de Innovación Agraria en Cultivos Andinos.
- FAO (2002). *Nutrition Paper No. 77*. Report of a technical workshop, Rome, pp. 3-6.
- Ferreras, C. (2009). *Análisis Reológico de las diferentes fracciones de harina obtenidas en la molienda del grano de trigo*. Escuela Politécnica Superior de Zamora.
- Fierro, H. & Zara, J. (2010). *Estudio de vida útil del pan de molde blanco*. [Tesina de grado, Escuela superior politécnica del litoral]. Programa de tecnología en alimentos. Guayaquil. Ecuador.
- Gamonpilas, C., Fuongfuchat, A., Seetapan, N., Methacanon, P. & Pongjaruvat, W. (2014). Influence of Pregelatinized Tapioca Starch and Transglutaminase on Dough Rheology and Quality of Gluten-Free Jasmine Rice Breads. *Food Hydrocolloids*, Vol. 36, pp. 143-150. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.09.004>
- Gan, R., Lui, W., Wu, K., Chan, C., Dai, S., Sui, Z. & Corke, H. (2017). Bioactive compounds and bioactivities of germinated edible seeds and sprouts: An updated review. *Trends in Food Science and Technology*, vol. 59. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.11.010>
- García, P. (2016). *Control microbiológico y sensorial de los alimentos*. Editorial síntesis. Madrid. España.
ISBN: 978-84-9077-308-6

- Guardianelli, L., Salinas, M. & Puppo, M. (2019). Chemical and thermal properties of flours from germinated amaranth seeds. *Journal of Food Measurement and Characterization*, Vol. 13, pp. 1078-1088. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11694-018-00023-1>
- Guzmán M. (2015). *Formulación y caracterización de pan de molde con adición de un ingrediente funcional proveniente de subproductos de la agroindustria*. [Título de grado, Universidad de Chile]. Repositorio institucional de la Universidad de Chile. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/148083>
- Halliwel, B. (1996). *Antioxidants in human health and disease*. Revisión Anual de Nutrición, pp. 33-50.
- Halliwel, B. (2007). Biochemistry of oxidative stress. *Biochemistry Soc Trans*, 35(5), pp. 1147-1150. Disponible en: <https://doi.org/10.1042/BST0351147>
- Hassan, F., Ismail, A., Hamid, A. & Al-Sheraji, S. (2011). Characterisation of fibre-rich powder and antioxidant capacity of *Mangifera pajang* K. fruit peels. *Food Chemistry*, 126(1), pp. 283–288. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.019>
- He, D., Han, C., Yao, J., Shen, S., & Yang, P. (2011). Constructing the metabolic and regulatory pathways in germinating rice seeds through proteomic approach. *Proteomics*, 11(13), pp. 2693-2713. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/pmic.201000598>
- Henao, S. y Aristizábal, J. (2009). Influencia de la variedad de yuca y nivel de sustitución de harinas compuestas sobre el comportamiento reológico en panificación. *Revista de Ingeniería e investigación*. 29(1), pp. 39-46. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092009000100005

- Hidalgo, V. & Pérez, F. (2018). *Galletas fortificadas con harina de maca (Lepidium meyenii) y kiwicha (Amaranthus caudatus) y evaluación de características fisicoquímica sensoriales*. [Tesis para optar por el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio de la Universidad Nacional del Santa. Disponible en: <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/3171/48629.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hleap, J. & Velasco, V. (2010). Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis* sp.). *Scielo-Colombia*. 8(2). Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v8n2/v8n2a07.pdf>
- Hoover, R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydrate Polymers*, 45(3), pp. 253-567. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00260-5](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00260-5)
- Hoseney, R. (1994). *Principales of cereal science and technology*. MN: AACC International.
ISBN: 1891-127632
- Huang, D., Ou, B., Hsampsch-Woodill, M., Flanaga, J., Prior, R. (2002). High-Throughput Assay of Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) Using a Multichannel Liquid Handling System Coupled with a Microplate Fluorescence Reader in 96-Well Format. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(16), pp. 4437-4444. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/jf0201529>.
- Huamaní F., Tapia M., Portales R., Doroteo V., Ruiz C., Rojas, R. (2020). Proximate analysis, phenolics, betalains, and antioxidant activities of three ecotypes of kañiwa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) from Perú. *Italo-Latin American Society of Ethnomedicine*. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12390/2556>

ISSN: 1827-8620

International Food Information Service. (2009). *Dictionary of Food Science and Technology (2nd Ed)*, pp. 47-48.

ISBN: 978-1-405-18740-4

INEN 2085. (2005). *Galletas*. Instituto Ecuatoriano de Normalización

Instituto Argentino de Racionalización de Materiales - IRAM. (snf). *Norma 15856 Método de determinación de la energía de la masa, resistencia a la extensibilidad, extensibilidad y cifra de proporción con el extensógrafo Brabender*. IRAM Buenos Aires.

Jimenez, M., Lobo, M., & Sammán, N. (2019). Influence of germination of quinoa (*Chenopodium quinoa*) and amaranth (*Amaranthus*) grains on nutritional and techno-functional properties of their flours. *Journal of Food Composition and Analysis*, Vol. 84. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103290>

Juan, M., & Sigwas, R. (2019). *Diferencias de la constante térmica en las fases fenológicas de dos variedades de amaranto (*Amaranthus caudatus*. L): precoz y tardía en la micro cuenca del distrito de Ayacucho* [Tesis de título inédita]. Universidad Nacional de Huancavelica.

Juárez, S. & Quispe, M. (2016). *Aceptabilidad y evaluación proteica de galletas integrales elaboradas con harina de cañihua (*chenopodium pallidicaule*), lactosuero y salvado de trigo* [Tesis de título inédita]. Universidad Nacional de San Agustín.

Kim, E., Steel, C. & Chang, Y. (2005). A influência do processamento sobre a retenção de ácidos graxos omega-3 adicionados ao pão de forma. *Brazilian Journal of Food Technology*, 8(4), pp. 268-276.

- Kim, H. Y., Hwang, I. G., Kim, T. M., Woo, K. S., Park, D. S., Kim, J. H., Kin, D. J., Lee, J., Lee, Y. R. & Jeong, H. S. (2012). Chemical and functional components in different parts of rough rice (*Oryza sativa* L.) before and after germination. *Food Chemistry*, 134(1), pp. 288-293. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.138>
- Kim, S., Kang, M., Nam, S. & Friedman, M. (2012). Dietary rice bran component c-oryzanol inhibits tumor growth in tumor-bearing mice. *Molecular Nutrition and Food Research*, 56(6), pp. 935-944. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200057>
- Kris-Etherton, P., Lefevre, M., Beecher, G., Gross, M., Keen, C. & Erhernton, T. (2004). Bioactive compounds in nutrition and health-research methodologies for establishing biological function: the antioxidant and anti-inflammatory effects of flavonoids on atherosclerosis. *Annual Review of Nutrition*, Vol. 24, pp. 511-538. Disponible en: <https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.23.011702.073237>
- Lascano, A. (2010). *Estudio reológico de mezclas de harinas de cereales: Cebada (*Hordeum vulgare*), maíz (*Zea mays*), quinua (*Chenopodium quinoa*), trigo (*Triticum vulgare*) y tubérculos papa (*Solanum tuberosum*) nacionales con trigo (*Triticum vulgare*) importado para orientar su uso en la elaboración de pan y pastas alimenticias*. [Tesis para título inédita]. Universidad Técnica de Ambato.
- Limón, R., Peñas, E., Torino, M., Martínez-Villaluenga, C., Dueñas, M. & Frías, J. (2015). Fermentation enhances the content of bioactive compounds in kidney bean extracts. *Food Chemistry*, 172(1), pp. 343-352. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.084>
- Lin, L., Wang, H., Lin, S., Liu, H & Mau, J. (2012). Changes in buckwheat bread during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*. 37(4), pp. 285-290. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00647.x>

- Linlaud, N. (2014). *Efecto de distintos hidrocoloides sobre la microestructura de la masa y su relación con la calidad de productos de panificación*. [Tesis Doctoral, Universidad Nacional de la Plata]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de la Plata. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/41172/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Lintschinger, J., Fuchs, N., Moser, H., Jäger, R., Hlebeina, T., Markolin, G. & Gössler, W. (1997). Uptake of various trace elements during germination of wheat, buckwheat and quinoa. *Plant Foods for Human Nutrition*, Vol. 50, pp. 223-237. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02436059>
- López-Martínez, L., Leyva-López, N., Gutiérrez-Grijalva, E. & Heredia, J., (2017). Effect of cooking and germination on bioactive compounds in pulses and their health benefits. *Journal of Functional Foods*, 38(1), pp. 624–634. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.03.002>
- Luna, E. (2015). *Influencia del germinado y cocción húmeda en compuestos bioactivos de dos accesiones de cañihua (Chenopodium Pallidicaule Aellen)* [Tesis de bachiller, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2816>
- Machuca, M. & Meyhuay, M. (2017). *Evaluación nutricional de galletas dulces con sustitución parcial por harina de arroz (Oryza sativa) y harina de lenteja (Lens culinaris)*. [Tesis para optar por el Título profesional de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/4775>

- MacRitchie, F. (1980). *Physical-chemical aspects of some problems in wheat research in: Advances in Cereal Science and Technology*. En: Y. Pomeranz (Ed.). III. St. Paul, MN: AACC International.
- MacRitchie, F. (1987). Evaluation of contributions from wheat protein fractions to dough mixing and breadmaking. *Journal of Cereal Science*, Vol. 6, pp. 259-268. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(87\)80063-2](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(87)80063-2)
- Makowski, B., Rosicka-kaczmarek, J. & Nebesny, E. (2015). Bioactive compounds in cereals: Technological and nutritional properties. *Biotechnology of Bioactive Compounds*, Vol. 4, pp. 103-122. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/9781118733103.ch4>
- Mamani, E. (2017). *Influencia del germinado y cocción húmeda en compuestos bioactivos de dos accesiones de cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen)*. [Trabajo de graduación para optar al título de: Ingeniero Agroindustrial] Universidad Nacional del Altiplano.
- Mamani, Y. & Quispe M. (2017). *Efecto de la calidad proteica de la mezcla de harinas de kiwicha germinada y garbanzo (2:1) en la recuperación nutricional y en los diversos órganos en ratas albinas inducidos a desnutrición, Arequipa 2016*. [Tesis de titulación inédita]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Martins, N., Barros, L., & Ferreira, I. (2016). In vivo antioxidant activity of phenolic compounds: facts and gaps. *Trends in Food Science and Technology*, Vol. 48, pp. 1-12. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.11.008>
- Meyhuay, M. (2000). *Quinoa: Operaciones de Poscosecha*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. pp. 20.
- Migliorini, P., Spagnolo, S., Torri, L., Arnoulet, M., Lazzerini, G. & Ceccarelli, S. (2016). Agronomic and quality characteristics of old, modern and mixture wheat varieties and landraces for organic bread chain in diverse

environments of northern Italy. *European Journal of Agronomy*, Vol. 79, pp. 131–141. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.05.011>

Miller, B. (2010). Physiology of Seed Germination. *Seed Biology Program Department of Horticulture and Crop Science the Ohio State University Columbus*. Disponible en: <https://www.biologydiscussion.com/plants/verbalization/physiology-of-seed-germination/23596>

Montoya, J., Giraldo, G., & Lucas, A. (2012). Caracterización física de harina de trigo y pan mediante determinación de la viscosidad y la cristalinidad de la pasta. *Sistema de Información Científica Redalyc*, 19(1), pp. S346-S348. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914108.pdf>

Moreno, M., Comino, I., & Sousa, C. (2014). Alternative grains as potential raw material for gluten-free food development in the diet of celiac and gluten-sensitive patients. *Austin Journal of Nutrition and Food Sciences*, 2(3), pp. 1016-1023.

Morita, N., Hirata, C., Park, S. & Mitsunaga, T. (2001). Quinoa flour as a new foodstuff for improving dough and bread. *J. Appl. Glycosci.* 48(3), pp. 263-270.

Myers, R. & Montgomery, D. (2002). Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. 2nd ed. John Wiley and Sons, Inc. New York, pp 557-577.

Nelson, K., Stojanovska, L., Vasiljevic, T., & Mathai, M. (2013). Germinated grains: a superior whole grain functional food. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 91(6), pp. 429-441. Disponible en: <https://doi.org/10.1139/cjpp-2012-0351>

- Olivares, Y. & Ricaldi, K. (2013). *Efecto del proceso de malteado en las características fisicoquímicas y químicas en la obtención de harina de maíz (Zea mays)*. [Trabajo de graduación para optar al título de: Ingeniero Agroindustrial]. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Olmedilla, B. & Granado, F. (2007). *Componentes bioactivos. Alimentos funcionales: aproximación a una nueva alimentación*. Instituto de Nutrición y Trastornos alimentarios. Dirección general de Salud Pública y alimentación.
- Organización Mundial de la Salud. (2013). *Dieta y actividad física*. <http://www.who.int/dietphysicalactivity/es/> Acceso 1 de agosto de 2015.
- Park, S., Bean, S., Chung, O. & Seib, P. (2006). Levels of Protein and Protein composition in hard winter wheat flours and the relationship to breadmaking. *Cereal Chemistry*, 83(4), pp. 418-423.
- Park, S. & Morita, N. (2005). Dough and breadmaking properties of wheat flour substituted by 10% with germinated quinoa flour. *Food Science Technology. Int.*, 11(6), pp. 471-476.
- Pascual, G. & Zapata, J. (2010). Sustitución parcial de harina de trigo *Triticum aestivum* L. por harina de kiwicha *Amaranthus caudatus* L., usando el método directo y esponja y masa, en la elaboración de pan. *SciELO*, 76(4), pp. 377-388. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2010000400008
ISSN: 1810-634X.
- Pasko, P., Barton, H., Zagrodzki, P., Gorinstein, S., Folta, M., & Zachwieja, Z., (2009). Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth. *Food Chemistry*, 115(3), pp. 994-998. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.037>

- Paucar-Menacho, L., Martínez-Villaluenga, C., Dueñas, M., Frias, J., & Peñas, E., (2018). Response surface optimisation of germination conditions to improve the accumulation of bioactive compounds and the antioxidant activity in quinoa. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(2), pp. 516-524.
- Paucar-Menacho, L., Peñas, E., Dueñas, M., Frias, J., & Martínez-Villaluenga, C. (2017). Optimizing germination conditions to enhance the accumulation of bioactive compounds and the antioxidant activity of kiwicha (*Amaranthus caudatus*) using response surface methodology. *LWT – Food Science and Technology*, Vol. 76, pp. 245-252. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.038>.
- Peñarrieta, J., Alvarado, J., Åkesson, B., & Bergenståhl, B. (2008). Total antioxidant capacity and content of flavonoids and other phenolic compounds in canihua (*Chenopodium pallidicaule*): An Andean pseudocereal. *Molecular Nutrition & Food Research*, 52(6), pp. 708-717. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/mnfr.200700189>
- Perales-Sánchez, J., Reyes-Moreno, C., Gómez-Favela, M., Milán-Carrillo, J., Cuevas-Rodríguez, E., Valdez-Ortiz, A. & Gutiérrez, R. (2014). Increasing the antioxidant activity, total phenolic and flavonoid contents by optimizing the germination conditions of amaranth seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, 69(3), pp. 196-202. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11130-014-0430-0>
- Pérez, A. & García, R. (2013). *Evaluación del comportamiento reológico de dos muestras de harina de trigo (triticum aestivum l) acondicionada con mezcla de fibras comerciales*. [Tesis para obtener el título de Ingeniero de Alimentos]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería Duitama.

- Pilco-Quesada, S., Tian, Y., Yang, B., Repo-Carrasco-Valencia, R., & Suomela, J. (2020). Effects of germination and kilning on the phenolic compounds and nutritional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Cereal Science*, vol. 94. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102996>
- Quintana S. (2016). *Estudio del comportamiento reológico de la masa para galletas tipo cracker con diferentes tipos de agitador*. [Tesis de grado, Universidad de los Andes]. Repositorio institucional de la Universidad de los Andes Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/15284/u729323.pdf?sequence=1>
- Rai, S., Kaur, A., & Chopra, C. (2018). Gluten-free products for celiac susceptible people: A review. *Frontiers in nutrition*, Vol. 5, pp. 116. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00116>
- Raimondo, E. (2013). *Elaboración de conservas artesanales*. Fundación rural. <http://www.fundacionrural.org.ar/>
- Ragaei, S. & Abdel-Aal, E. (2006). Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their products. *Food Chemistry*, 95(1), pp. 9-18. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.012>
- RAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). (2010). *Norma 15856 – Método de determinación de la energía de la masa, resistencia a la extensibilidad, extensibilidad y cifra de proporción con el extensógrafo Brabender*. IRAM Buenos Aires.
- Ramírez, M. (2015). *Elaboración de sopa deshidratada a partir de germinados y hojas de quinua (*Chenopodium quinoa*, Willd) y arveja (*Pisum sativum*)*. [Trabajo de graduación para optar al título de: Ingeniero en Industrias Alimentarias]. Universidad Nacional Agraria la Molina.

- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), pp. 1231-1237. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Repo-Carrasco-Valencia, R., Acevedo, A., Icochea, J. C., & Kallio, H. (2009). Chemical and Functional Characterization of Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) Grain, Extrudate and Bran. *Plant Foods for Human Nutrition*, 64(2), pp. 94-101. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11130-009-0109-0>
- Repo-Carrasco-Valencia, R., Hellstrogm, J., Pihlava, J., & Mattila, P., (2010). Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: quinoa (*Chenopodium quinoa*), cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Food Chemistry*, 120(1), pp. 128-133. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.087>
- Repo-Carrasco-Valencia R., Peña J., Kallio H., Salminen S. (2009). Dietary fiber and other functional components in two varieties of crude and extruded kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Cereal Science*, vol. 49, pp. 219–224. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.10.003>
- Robards, R. & Antolovich, M. (1997). *Analytical chemistry of fruit bioflavonoids. A Review*. *Analyst*, Vol. 122, pp. 11R–34R.
- Rodríguez, E., Fernández, A. & Ayala, A. (2005). Modelos reológicos aplicados a masas de trigo y maíz. *Scielo-Colombia*, 25 (2). Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092005000200012
- Rodríguez-Sandoval, E., Lascano, A. & Sandoval, G. (2012). Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quinoa y papa en las propiedades termomecánicas y de panificación de masas. *Revista*

U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 15(1), pp. 199-207.
Disponibile en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v15n1/v15n1a21.pdf>

Román, R. (2000). Efecto de iones y otros factores físicos sobre la germinación de semillas. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 44(3), pp. 233-236.

Roque, O. (2019). *Diferencias de la constante térmica en las fases fenológicas de dos variedades de amaranto (Amaranthus caudatus. l): precoz y tardía en la microcuenca del distrito de Ayacucho*. [Tesis de título inédita]. Universidad Nacional de Huancavelica.

Rosa, N., Barron, C., Gaiani, C., Dufour C. & Micard, V. (2013). Ultra – fine grinding increases the antioxidant capacity of wheat bran. *Elsevier: Journal of Cereal Science*, Vol. 57, pp. 84-90. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.10.002>

Safont, N. (2018). *¿Qué es el gluten (y por qué da tantos problemas)?* Alimento. https://www.alimento.elconfidencial.com/nutricion/2018-02-27/que-es-el-gluten-y-laenfermedad-celiaca_1518486/

Sapirstein, H., Wu, Y., Koksel, F. & Graf, R. (2018). A study of factors influencing the water absorption capacity of Canadian hard red winter wheat flour. *Department of Food Science and Human Nutritional Sciences*, Vol. 81, pp. 52-59. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.01.012>

Scott-Taggart, C., Van, O., McLean, M., & Shelp, B. (1999). Regulation of g-aminobutyric acid synthesis in situ by glutamate availability. *Physiologia Plantarum*, 106(4), pp. 363-369. Disponible en: <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1999.106402.x>

Sharma, P. & Sinhg, H. (2010). Antioxidant and polyphenol oxidase activity of germinated barley and its milling fractions. *Food Chemistry*, 120(3), pp. 673-678. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.059>

- Shewry, P., Halford, N., Tatham, A., Popineau, Y., Lafiandra, D. & Belton, P. (2003). The high molecular weight subunits of wheat glutenin and their role in determining wheat processing properties. *Advances in Food and Nutrition Research*, Vol. 45, pp. 219-302. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(03\)45006-7](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(03)45006-7)
- Singh, A., Rehal, J., Kaur, A., & Jyot, G. (2015). Enhancement of attributes of cereals by germination and fermentation: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(11), pp. 1575-1589.
- Singh, A., Sharma, S., & Singh, B. (2017). Effect of germination time and temperature on the functionality and protein solubility of sorghum flour. *Journal of Cereal Science*, vol. 76, pp. 131–139. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.06.003>
- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N., Gill, B. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81(2), pp. 219-231. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00416-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00416-8)
- Sissons, M. (2008). *Role of durum wheat composition on the quality of pasta and bread*. *Food Chemistry*, vol. 2, pp. 75-90.
- Socolovsky, S. (2009). *Dossier preparado y presentado en nombre de Danisco para la evaluación de la solicitud de extensión de uso del aditivo alimentario Natamicina y su inclusión como conservador antimicótico de panes de molde industriales en el Capítulo IX del Código Alimentario Argentino*. Código Alimentario Argentino.
- Stern, A., Berstein, J., Jones, S., Blumberg, J. & Griffin, T. (2021). The impacts of germinating organic wheat: effects on phytic acid, resistant starch, and functional properties of flour, and sensory attributes of sourdough bread. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(8), pp. 3858-3865. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/ijfs.15002>

- Studdert, V., Gay, C. & Hincholiff, K. (2011). *Saunders Comprehensive Veterinary Dictionary (4th ed.)*. Elsevier Health Sciences UK.
- Taiz, L. & Zeiger, E. (1998). *Plant Physiology*. pp. 5-51.
- Távora, F. (2015). *Comprobación de la norma sanitaria RM N° 1020 2010/MINSA en la elaboración de pan de molde comercializado en la ciudad de Sullana*. [Tesis de pregrado inédita]. Universidad Nacional de Piura.
- Tian, B., Xie, B., Shi, J., Wu, J., Cai, Y., Xu, T., Xue, S. & Deng, Q. (2010). Physicochemical changes of oat seeds during germination. *Food Chemistry*, 119(1), pp. 1195-1200.
- Toaquiza, N. (2012). *Elaboración de galletas con sustitución parcial de harina de amaranto iniap-alegría (Amaranthus caudatus) y panela*. [Trabajo para obtener el título de Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio institucional de la Universidad Técnica de Ambato. Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3118/1/S.AL485.pdf>
- Uthayakumaran, S. & Lukow, O. (2005). Improving wheat for bread and tortilla production by manipulating glutenin-to-gliadin ratio. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(1), pp. 2111-2118.
- Van Hung, P., Maeda, T., & Morita, N. (2015). Improvement of nutritional composition and antioxidant capacity of high-amylose wheat during germination. *Journal of Food Science and Technology*, 52(10), pp. 6756-6762
- Vásquez, F., Verdú, S., Islas, A., Barat, J., Grau, R. & Casillas, R. (2017). Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de avena, maíz y sorgo sobre las propiedades reológicas de la masa, texturales y sensoriales del

pan. *Investigación y Ciencia*, 25(71), 19-26. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67452917003>
ISSN: 1665-4412.

Velásquez, L., Aredo, V., Caipo, Y. & Paredes, E. (2014). Optimization by mixtures design of the acceptability of an enriched cookie with quinoa (*Chenopodium quinoa*), soybean (*Glycine max*) and cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Agroindustrial Science*, 4(1), pp. 35-42.

Viera, T. [et al.] (2015). Efeito da Substituição da farinha de trigo no desenvolvimento de biscoitos sem glúten. *Brazilian Journal of Food Technology*, vol. 18(4), pp. 285-292. Disponible en: <https://www.scielo.br/pdf/bjft/v18n4/1981-6723-bjft-18-4-285.pdf>

Wang, L. & White, P. (1994). Structure and properties of amylose, amylopectin and Intermediate materials of oat starches. *Cereal Chemistry*, 71(5), pp. 263-268.

Wang, N., Hou, G. & Dubat, A. (2017). Effects of flour particle size on the quality attributes of reconstituted whole-wheat flour and Chinese southern-type steamed bread. *LWT Food Sci Technol*, vol. 82, pp. 147–153. Disponible en: doi:10.1016/j.lwt.2017.04.025

Wu, C., Huang, S., Lin, J. & Yen, G. (2011). Inhibition of advanced glycation and product formation by foodstuffs. *Food & Function*, vol. 2, pp. 224-234.

Wu, F., Yang, N., Toure, A., Jin, Z., & Xu, X. (2013). Germinated brown rice and its role in human health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(5), pp. 451-463.

Yamani, B., (2015). *Substituição parcial de farinha de trigo por farinha de amaranto (Amaranthus cruentus L.), quinoa (Chenopodium quinoa W.) e maca (Lepidium meyenii W.) na elaboração de panetone*. [Tesis doctoral, Universidad de Sao Paulo]. Repositorio institucional de la Universidad de

Sao Paulo. Disponible en:
https://teses.usp.br/teses/disponiveis/9/9133/tde-14122015-170439/publico/Beatriz_Valcarcel_Yamani_DO_corrigida.pdf

Zegarra, S. (2018). *Elaboración de un pan apto para celíacos a base de harina de chenopodium pallidicaule aelle (cañihua) y evaluación de su aceptabilidad sensorial*. [Tesis doctoral inédita]. Universidad San Ignacio de Loyola.

Zegarra, S., Muñoz, A., & Ramos-Escudero, F. (2019). Elaboración de un pan libre de gluten a base de harina de cañihua (*Chenopodium pallidicaule Aellen*) y evaluación de la aceptabilidad sensorial. *Revista chilena de nutrición*, Vol 46(5), pp. 561-570. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/S0717-75182019000500561>

Zghal, M., Scanlon, M. & Sapirstein, H. (2002). Cellular structure of bread crumb and its influence on mechanical properties. *Journal of Cereal Chemistry*. Vol. 36, pp. 167-176.

ANEXOS

ANEXO 1: Proceso de elaboración de la harina de kiwicha.



Recepción de los granos de kiwicha.



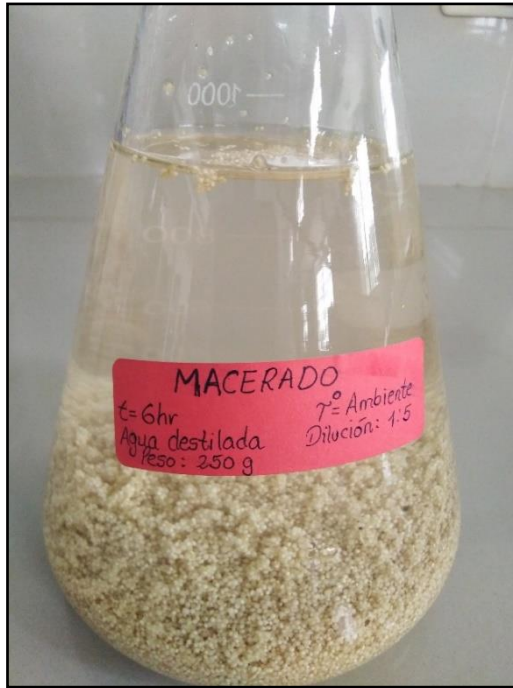
Pesado de los granos de kiwicha.



Granos de kiwicha lavados.



Desinfección de los granos de kiwicha.



Maceración de los granos de kiwicha.



Acondicionamiento de los granos de kiwicha antes de la germinación.



Proceso de Germinación de los granos de kiwicha.



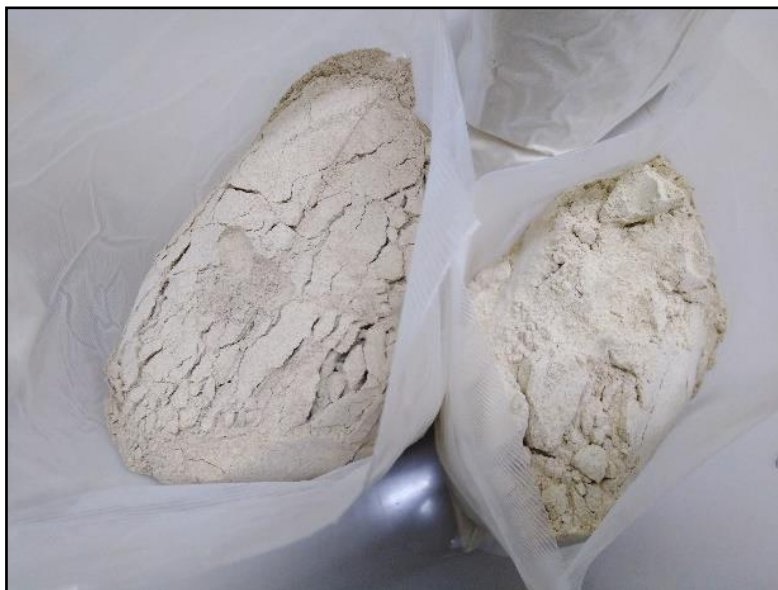
Grano de kiwicha germinada.



Molienda del grano de kiwicha germinada.



Secado del grano germinado de kiwicha.



Envasado de la harina de kiwicha germinada.



Almacenamiento de harina de kiwicha germinada.

ANEXO 2: Proceso de elaboración de la harina de cañihua.



Pesado de los granos de cañihua.



Recepción de los granos de cañihua.



Lavado de los granos de cañihua.



Desinfección de los granos de cañihua.



Maceración de los granos de cañihua.



Acondicionamiento de los granos de cañihua antes de la germinación.



Proceso de germinación de los granos de cañihua.



Grano de cañihua germinada.



Secado del grano germinado de cañihua.



Molienda del grano de cañihua germinada.



Envasado de la harina de cañihua germinada.



Almacenamiento de la harina de cañihua germinada.

ANEXO 3: Análisis proximal de harinas.

Cuadro 3A: Análisis Proximal (base seca) con repeticiones de harinas a partir de granos andinos germinados y no germinados (Kiwicha y cañihua).

	Humedad	Grasa	Ceniza	Proteína
Kiwicha G	4,407	6,174	2,943	15,469
	4,172	5,439	2,826	15,426
	4,075	5,965	2,791	15,254
Kiwicha S/G	6,016	5,025	2,842	16,015
	5,453	5,192	2,460	15,926
	5,901	5,096	2,668	16,202
Cañihua G	5,647	6,018	2,698	19,105
	5,437	6,173	2,717	19,383
	5,363	6,508	2,622	18,840
Cañihua S/G	10,178	6,134	2,716	20,897
	9,893	6,215	2,903	20,404
	9,948	6,176	2,657	20,536

Fuente: Laboratorio de análisis y composición de productos agroindustriales – Universidad Nacional del Santa.

Cuadro 3B: Análisis proximal (valores promedio) de la harina de granos andinos no germinados en base seca.

	Humedad (%)	Grasa (%)	Ceniza (%)	Proteína (%)
Kiwicha	5.79 ± 0.30	5.10 ± 0.08	2.66 ± 0.19	16.05 ± 0.14
Quinoa	8.88 ± 0.06	5.21 ± 0.07	2.48 ± 0.17	16.87 ± 0.13
Cañihua	10.01 ± 0.15	6.18 ± 0.04	2.76 ± 0.13	20.61 ± 0.26

Cuadro 3C: Análisis proximal (valores promedio) de la harina de granos andinos germinados en base seca.

	Humedad (%)	Grasa (%)	Ceniza (%)	Proteína (%)
Kiwicha	4.22 ± 0.17	5.86 ± 0.38	2.85 ± 0.08	15.38 ± 0.11
Quinoa	4.52 ± 0.22	7.18 ± 0.39	2.29 ± 0.08	13.52 ± 0.26
Cañihua	5.50 ± 0.15	6.23 ± 0.25	2.68 ± 0.05	19.11 ± 0.27

Cuadro 3D: ANOVA Simple – Análisis proximal de Harinas a partir de Granos Andinos Germinados y Sin Germinar.

Harinas	Análisis proximales*		Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	F	Valor P.
Kiwicha	Humedad	Entre grupos	3.70678	1	3.70678	63.03	0.0014
		Intra grupos	0.235252	4	0.058813		
		Total (Corr.)	3.94203	5			
	Grasa	Entre grupos	0.855037	1	0.855037	11.37	0.0280
		Intra grupos	0.300909	4	0.0752273		
		Total (Corr.)	1.15595	5			
	Ceniza	Entre grupos	0.0580167	1	0.0580167	2.70	0.1754
		Intra grupos	0.0858273	4	0.0214568		
		Total (Corr.)	0.143844	5			
	Proteína	Entre grupos	0.662673	1	0.662673	40.42	0.0031
		Intra grupos	0.0655747	4	0.0163937		
		Total (Corr.)	0.728247	5			
Cañihua	Humedad	Entre grupos	30.6999	1	30.6999	1377.80	0.0000
		Intra grupos	0.0891273	4	0.0222818		
		Total (Corr.)	30.789	5			
	Grasa	Entre grupos	0.005046	1	0.005046	0.16	0.7123
		Intra grupos	0.128732	4	0.032183		
		Total (Corr.)	0.133778	5			
	Ceniza	Entre grupos	0.00952017	1	0.00952017	1.00	0.3737
		Intra grupos	0.0380427	4	0.00951067		
		Total (Corr.)	0.0475628	5			
	Proteína	Entre grupos	3.38851	1	3.38851	48.81	0.0022
		Intra grupos	0.277717	4	0.0694293		
		Total (Corr.)	3.66623	5			

ANEXO 4: Análisis del contenido de compuestos fenólicos.

Cuadro 4A: Análisis del Contenido de compuestos fenólicos solubles en harina de granos andinos germinados y sin germinar (Kiwicha y Cañihua).

Harina	Grano	Compuestos fenólicos solubles (mg GAE/100 g p.s.)
Harina Sin Germinar	Kiwicha	47.66
		49.69
		50.45
	Cañihua	86.5
		89.81
		86.92
Harina Germinada	Kiwicha	108.67
		113.26
		116.46
	Cañihua	132.17
		134.26
		135.76

Cuadro 4B: ANOVA Simple - Compuestos fenólicos por Tipos de harina.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	11949.4	3	3983.12	666.33	0.0000
Intra grupos	47.8219	8	5.97773		
Total (Corr.)	11997.2	11			

Variable dependiente: Compuestos fenólicos (mg GAE/100 g p.s.)

Factor: Tipos de harina

Número de observaciones: 12

Número de niveles: 4

Cuadro 4C: Pruebas de Múltiple Rangos para Compuestos fenólicos por Tipos de harina.

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tipos de harina	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Kiwicha S/G	3	49.2667	X a
Cañihua S/G	3	87.7433	X b
Kiwicha G	3	112.797	X c
Cañihua G	3	134.063	X d

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Cañihua G - Cañihua S/G	*	46.32	6.39053
Cañihua G - Kiwicha G	*	21.2667	6.39053
Cañihua G - Kiwicha S/G	*	84.7967	6.39053
Cañihua S/G - Kiwicha G	*	-25.0533	6.39053
Cañihua S/G - Kiwicha S/G	*	38.4767	6.39053
Kiwicha G - Kiwicha S/G	*	63.53	6.39053

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 5: Análisis del Contenido de GABA.

Cuadro 5A: Análisis del Contenido de GABA en harina de granos andinos germinados y sin germinar (Kiwicha y Cañihua).

Harina	Grano	Compuestos fenólicos solubles (mg GAE/100 g p.s.)
Harina Sin Germinar	Kiwicha	35.78
		37.42
		38.94
	Cañihua	19.835
		23.74
		29.445
Harina Germinada	Kiwicha	76.7
		101.8
		121.5
	Cañihua	216.77
		217.55
		219.63

Cuadro 5B: ANOVA Simple – Contenido de GABA por Tipos de harina.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	70388.3	3	23462.8	176.34	0.0000
Intra grupos	1064.46	8	133.058		
Total (Corr.)	71452.8	11			

Variable dependiente: Contenido de GABA (mg GAE/100 g p.s.)

Factor: Tipos de harina

Número de observaciones: 12

Número de niveles: 4

Cuadro 5C: Pruebas de Múltiple Rangos para Contenido GABA por Tipos de harina.

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tipos de harina	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Cañihua S/G	3	24.34	X a
Kiwicha S/G	3	37.38	X a
Kiwicha G	3	100.0	X b
Cañihua G	3	217.983	X c

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Cañihua G - Cañihua S/G	*	193.643	30.1501
Cañihua G - Kiwicha G	*	117.983	30.1501
Cañihua G - Kiwicha S/G	*	180.603	30.1501
Cañihua S/G - Kiwicha G	*	-75.66	30.1501
Cañihua S/G - Kiwicha S/G		-13.04	30.1501
Kiwicha G - Kiwicha S/G	*	62.62	30.1501

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 6: Análisis de la capacidad antioxidante.

Cuadro 6A: Análisis de la capacidad antioxidante en harina de granos andinos germinados y sin germinar (Kiwicha y Cañihua).

Harina	Grano	Compuestos fenólicos solubles (mg GAE/100 g p.s.)
Harina Sin Germinar	Kiwicha	187.78
		284.24
		351.58
	Cañihua	1123.22
		1191.50
		1266.81
Harina Germinada	Kiwicha	410.34
		452.09
		484.08
	Cañihua	1821.8
		1883.32
		1924.2

Cuadro 6B: ANOVA Simple – Capacidad antioxidante por Tipos de harina.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4.87548E6	3	1.62516E6	407.28	0.0000
Intra grupos	31922.4	8	3990.3		
Total (Corr.)	4.9074E6	11			

Variable dependiente: Contenido de GABA (mg GAE/100 g p.s.)

Factor: Tipos de harina

Número de observaciones: 12

Número de niveles: 4

Cuadro 6C: Pruebas de Múltiple Rangos para Contenido GABA por Tipos de harina.

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tipos de harina	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Cañihua S/G	3	274.533	X a
Kiwicha S/G	3	448.837	X b
Kiwicha G	3	1193.84	X c
Cañihua G	3	1876.44	X d

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Cañihua G - Cañihua S/G	*	682.597	165.109
Cañihua G - Kiwicha G	*	1427.6	165.109
Cañihua G - Kiwicha S/G	*	1601.91	165.109
Cañihua S/G - Kiwicha G	*	745.007	165.109
Cañihua S/G - Kiwicha S/G	*	919.31	165.109
Kiwicha G - Kiwicha S/G	*	174.303	165.109

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 7: Análisis de la cantidad de ácido fólico.

Cuadro 7A: Análisis de la cantidad de ácido fólico en harina de granos andinos germinados y sin germinar (Kiwicha y Cañihua).

Harina	Grano	Ácido fólico (g/100g)
Harina Sin Germinar	Kiwicha	1.218
	Kiwicha	1.250
	Cañihua	1.156
	Cañihua	1.191
Harina Germinada	Kiwicha	1.226
	Kiwicha	1.253
	Cañihua	0.871
	Cañihua	0.892

Cuadro 7B: ANOVA Simple – Ácido fólico por Tipos de harina.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.173095	3	0.0576983	138.19	0.0002
Intra grupos	0.00167012	4	0.000417529		
Total (Corr.)	0.174765	7			

Variable dependiente: Ácido fólico (g/100g)

Factor: Tipos de harinas

Número de observaciones: 8

Número de niveles: 4

Cuadro 7C: Pruebas de Múltiple Rangos para Contenido Ácido fólico por Tipos de harina.

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tipos de harina	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Cañihua S/G	2	0.881298	X a
Kiwicha S/G	2	1.17361	X b
Kiwicha G	2	1.23378	X c
Cañihua G	2	1.23973	X d

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Cañihua G - Cañihua S/G	*	-0.292316	0.0831833
Cañihua G - Kiwicha G	*	-0.358432	0.0831833
Cañihua G - Kiwicha S/G	*	-0.352478	0.0831833
Cañihua S/G - Kiwicha G		-0.0661162	0.0831833
Cañihua S/G - Kiwicha S/G		-0.0601622	0.0831833
Kiwicha G - Kiwicha S/G		0.005954	0.0831833

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 8: Análisis de los parámetros reológicos de la masa.

Cuadro 8A: Análisis de Varianza para el parámetro reológico Absorción de Agua de la masa.

ANOVA; Var.: AA (%) (Matriz Análisis Reologico de Masas Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	0.932508	2	0.466254	5.276778	11	0.479707	0.971955	0.408601	0.150180	0.00
Quadratic	0.247253	3	0.082418	5.029525	8	0.628691	0.131094	0.938866	0.189999	0.00
Special Cubic	0.274763	1	0.274763	4.754761	7	0.679252	0.404509	0.544995	0.234250	0.00
Cubic	0.433016	2	0.216508	4.321746	5	0.864349	0.250487	0.787637	0.303987	0.00
Total Adjusted	6.209286	13	0.477637							

Cuadro 8B: Coeficiente de modelo matemático para Absorción de agua de la masa.

Coeffs (recoded comps); Var.: AA (%); R-sqr=.1502; Adj: 0. (Matriz Análisis Reologico de Masas Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs DV: AA (%); MS Residual=.4797071

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	62.75359	0.404336	155.2016	0.000000	61.86365	63.64353
(B)GCF (%)	62.25632	0.395188	157.5359	0.000000	61.38652	63.12613
(C)WF (%)	63.11632	0.395188	159.7121	0.000000	62.24652	63.98613

Cuadro 8C: Análisis de Varianza para el parámetro reológico Tiempo de desarrollo de la masa.

ANOVA; Var.: DT (min) (Matriz Análisis Reologico de Masas Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	1.672082	2	0.836041	0.454090	11	0.041281	20.25251	0.000205	0.786429	0.747597
Quadratic	0.246309	3	0.082103	0.207780	8	0.025973	3.16116	0.085754	0.902275	0.841197
Special Cubic	0.067728	1	0.067728	0.140052	7	0.020007	3.38517	0.108364	0.934130	0.877669
Cubic	0.016977	2	0.008489	0.123075	5	0.024615	0.34486	0.723935	0.942114	0.849498
Total Adjusted	2.126171	13	0.163552							

Cuadro 8D: Coeficiente de modelo matemático para Tiempo de Desarrollo de la masa.

Coeffs (recoded comps); Var.: DT (min); R-sqr=.7864; Adj: 0. (Matriz Análisis Reologico de Masas Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs DV: DT (min); MS Residual=.0412809

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	3.461794	0.118612	29.18586	0.000000	3.200730	3.722857
(B)GCF (%)	2.972161	0.115929	25.63788	0.000000	2.717004	3.227318
(C)WF (%)	4.124161	0.115929	35.57504	0.000000	3.869004	4.379318

Cuadro 8E: Análisis de Varianza para el parámetro reológico Estabilidad de la masa.

ANOVA; Var.: DT (min) (Matriz Análisis Reologico de Masas Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	2.532014	2	1.266007	0.439536	11	0.039958	31.68355	0.000027	0.852085	0.825192
Quadratic	0.022746	3	0.007582	0.416790	8	0.052099	0.14553	0.929677	0.859740	0.772077
Special Cubic	0.093663	1	0.093663	0.323128	7	0.046161	2.02904	0.197336	0.891260	0.798053
Cubic	0.092988	2	0.046494	0.230140	5	0.046028	1.01012	0.428101	0.922552	0.798635
Total Adjusted	2.971550	13	0.228581							

Cuadro 8F: Coeficiente de modelo matemático para Estabilidad de la masa.

Coeffs (recoded comps); Var.:S (min); R-sqr=.8521; Adj:.8252 (Matriz Análisis Reologico de Masas Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs DV: S (min); MS Residual=.0399579

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	3.797691	0.116696	32.54349	0.000000	3.540845	4.054536
(B)GCF (%)	3.600242	0.114056	31.56565	0.000000	3.349207	3.851277
(C)WF (%)	4.914242	0.114056	43.08634	0.000000	4.663207	5.165277

Cuadro 8G: Análisis de Varianza para el parámetro reológico Consistencia (C) de la masa.

ANOVA; Var.:C (FE) (Matriz Análisis Reologico de Masas Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	7517.65	2	3758.823	5765.283	11	524.1167	7.171729	0.010148	0.565963	0.487047
Quadratic	26.04	3	8.680	5739.243	8	717.4054	0.012099	0.998024	0.567923	0.297876
Special Cubic	412.75	1	412.755	5326.488	7	760.9268	0.542437	0.485369	0.598997	0.255281
Cubic	1963.40	2	981.700	3363.087	5	672.6175	1.459522	0.316769	0.746811	0.341709
Total Adjusted	13282.93	13	1021.764							

Cuadro 8H: Coeficiente de modelo matemático para Consistencia de la masa.

Coeffs (recoded comps); Var.:C (FE); R-sqr=.566; Adj:.487 (Matriz Análisis Reologico de Masas Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs DV: C (FE); MS Residual=524.1167

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	833.0112	13.36498	62.32790	0.000000	803.5951	862.4273
(B)GCF (%)	838.6260	13.06261	64.20051	0.000000	809.8754	867.3766
(C)WF (%)	769.2260	13.06261	58.88763	0.000000	740.4754	797.9766

Cuadro 8I: Análisis de Varianza para el parámetro reológico Temperatura de Gelatinización (GT) de la masa.

ANOVA; Var.:GT (°C) (Matriz Análisis Reologico de Masas Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	14.1259	2	7.06295	95.96625	11	8.72420	0.809580	0.469886	0.128310	0.00
Quadratic	5.5037	3	1.83458	90.46251	8	11.30781	0.162240	0.918797	0.178302	0.00
Special Cubic	18.9201	1	18.92006	71.54245	7	10.22035	1.851214	0.215826	0.350158	0.00
Cubic	8.0317	2	4.01587	63.51071	5	12.70214	0.316157	0.742519	0.423113	0.00
Total Adjusted	110.0921	13	8.46863							

Cuadro 8J: Coeficiente de modelo matemático para Temperatura de Gelatinización.

Coeffs (recoded comps); Var.: GT (°C); R-sqr=.3502; Adj:0. (Matriz Análisis Reologico de Masas Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs DV: GT (°C); MS Residual=10.22035

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	79.303	2.22070	35.71107	0.000000	74.052	84.55461
(B)GCF (%)	81.853	2.22104	36.85344	0.000000	76.601	87.10491
(C)WF (%)	81.986	2.22104	36.91348	0.000000	76.734	87.23825
AB	0.939	14.02651	0.06694	0.948503	-32.229	34.10633
AC	14.539	14.02651	1.03653	0.334429	-18.629	47.70633
BC	5.279	11.03433	0.47838	0.646959	-20.813	31.37066
ABC	-132.220	97.17832	-1.36059	0.215826	-362.010	97.57005

Cuadro 8K: Análisis de Varianza para el parámetro reológico Gelatinización Máxima (GM) de la masa.

ANOVA; Var.:GM (AU) (Matriz Análisis Reologico de Masas Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	37999.20	2	18999.60	2104.795	11	191.3450	99.29499	0.000000	0.947517	0.937974
Quadratic	1187.68	3	395.89	917.117	8	114.6396	3.45337	0.071494	0.977132	0.962839
Special Cubic	23.28	1	23.28	893.832	7	127.6903	0.18235	0.682187	0.977712	0.958608
Cubic	54.80	2	27.40	839.036	5	167.8072	0.16327	0.853713	0.979078	0.945604
Total Adjusted	40104.00	13	3084.92							

Cuadro 8L: Coeficiente de modelo matemático para Gelatinización Máxima.

Coeffs (recoded comps); Var.:GM (AU); R-sqr=.9475; Adj:.938 (Matriz Análisis Reologico de Masas Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs DV: GM (AU); MS Residual=191.345

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	253.5583	8.075380	31.39893	0.000000	235.7845	271.3321
(B)GCF (%)	309.6152	7.892680	39.22815	0.000000	292.2436	326.9869
(C)WF (%)	421.8152	7.892680	53.44386	0.000000	404.4436	439.1869

Cuadro 8M: Análisis de Varianza para el parámetro reológico Resistencia a la extensión (RE) de la masa.

ANOVA; Var.:GT (°C) (Matriz Análisis Reologico de Masas Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	295217.9	2	147609.0	100353.3	11	9123.03	16.17983	0.000529	0.746308	0.700182
Quadratic	7903.8	3	2634.6	92449.5	8	11556.18	0.22798	0.874378	0.766289	0.620219
Special Cubic	890.2	1	890.2	91559.3	7	13079.89	0.06806	0.801691	0.768539	0.570144
Cubic	30380.3	2	15190.2	61178.9	5	12235.79	1.24145	0.364963	0.845340	0.597885
Total Adjusted	395571.2	13	30428.6							

Cuadro 8N: Coeficiente de modelo matemático para Resistencia a la Extensión.

Coeffs (recoded comps); Var.:RE (BU); R-sqr=.7463; Adj:.7002 (Matriz Análisis Reologico de Masas Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs DV: RE (BU); MS Residual=9123.025

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	735.944	55.76013	13.19839	0.000000	613.217	858.671
(B)GCF (%)	997.270	54.49860	18.29900	0.000000	877.319	1117.221
(C)WF (%)	1209.470	54.49860	22.19268	0.000000	1089.519	1329.421

Cuadro 8Ñ: Análisis de Varianza para el parámetro reológico Extensibilidad (E) de la masa.

ANOVA; Var.:E (mm) (Matriz Análisis Reologico de Masas Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	113.8919	2	56.94596	525.6081	11	47.78255	1.191773	0.340031	0.178095	0.028658
Quadratic	139.2952	3	46.43173	386.3129	8	48.28911	0.961536	0.456479	0.395914	0.018361
Special Cubic	24.9802	1	24.98018	361.3327	7	51.61896	0.483934	0.509075	0.434976	0.000000
Cubic	3.1344	2	1.56722	358.1983	5	71.63965	0.021876	0.978454	0.439878	0.000000
Total Adjusted	639.5000	13	49.19231							

Cuadro 8O: Coeficiente de modelo matemático para Resistencia a la Extensión.

Coeffs (recoded comps); Var.:E (mm); R-sqr=.435; Adj:0. (Matriz Análisis Reologico de Masas Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs DV: E (mm); MS Residual=51.61896

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	83.2517	4.9907	16.68139	0.000001	71.451	95.0529
(B)GCF (%)	70.9963	4.9915	14.22353	0.000002	59.193	82.7992
(C)WF (%)	80.1392	4.9915	16.05523	0.000001	68.336	91.9421
AB	-22.5118	31.5225	-0.71415	0.498251	-97.051	52.0272
AC	-27.6546	31.5225	-0.87730	0.409423	-102.194	46.8844
BC	28.2709	24.7981	1.14004	0.291769	-30.367	86.9090
ABC	151.9268	218.3942	0.69565	0.509075	-364.493	668.3470

ANEXO 9: Proceso de elaboración de pan de molde.



Mezclado y amasado en la elaboración de pan de molde



Pesado y amasado de la masa



Horneado de pan de molde



Cortado del pan de molde



Embolsado del pan de molde

ANEXO 10: Análisis de los parámetros del pan de molde.

Cuadro 10A: Análisis de Varianza para el parámetro volumen específico del pan de molde.

ANOVA; Var.:Ve (ml/g) (30 03 21) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	0.910091	2	0.455046	0.663395	11	0.060309	7.545287	0.008650	0.578392	0.501736
Quadratic	0.180182	3	0.060061	0.483212	8	0.060402	0.994358	0.443318	0.692903	0.500968
Special Cubic	0.009740	1	0.009740	0.473473	7	0.067639	0.143995	0.715591	0.699093	0.441173
Cubic	0.129101	2	0.064551	0.344371	5	0.068874	0.937224	0.451160	0.781141	0.430967
Total Adjusted	1.573486	13	0.121037							

Cuadro 10B: Coeficiente de modelo matemático para volumen específico del pan de molde (ml/g).

Coeffs (recoded comps); Var.:Ve (ml/g); R-sqr=.5784; Adj:.5017 (30 03 21) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs DV: Ve (ml/g); MS Residual=.0603086

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	3.863206	0.143365	26.94660	0.000000	3.547661	4.178751
(B)GCF (%)	4.031839	0.140122	28.77383	0.000000	3.723433	4.340244
(C)WF (%)	4.661839	0.140122	33.26992	0.000000	4.353433	4.970244

Cuadro 10C: Análisis de Varianza para el parámetro % de humedad del pan de molde.

ANOVA; Var.:H (%) (30 03 21) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	8.80758	2	4.403790	12.19786	11	1.108896	3.971328	0.050319	0.419300	0.313718
Quadratic	4.02895	3	1.342982	8.16891	8	1.021114	1.315213	0.335121	0.611105	0.368046
Special Cubic	0.00016	1	0.000160	8.16875	7	1.166964	0.000137	0.990996	0.611113	0.277780
Cubic	0.96846	2	0.484230	7.20029	5	1.440058	0.336257	0.729434	0.657218	0.108766
Total Adjusted	21.00544	13	1.615803							

Cuadro 10D: Coeficiente de modelo matemático para el % de humedad del pan de molde (ml/g).

Coeffs (recoded comps); Var.:H (%); R-sqr=.4193; Adj:.3137 (30 03 21) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs DV: H (%); MS Residual=1.108896

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	38.77706	0.614752	63.07760	0.000000	37.42400	40.13012
(B)GCF (%)	37.73639	0.600843	62.80569	0.000000	36.41394	39.05883
(C)WF (%)	40.37039	0.600843	67.18953	0.000000	39.04794	41.69283

Cuadro 10E: Análisis de Varianza para el parámetro Textura-Dureza (N) del pan de molde.

ANOVA; Var.:TXD(N) (30 03 21) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	7.63164	2	3.815822	43.57764	11	3.961604	0.963201	0.411654	0.149029	0.00
Quadratic	8.62940	3	2.876466	34.94824	8	4.368530	0.658452	0.600179	0.317541	0.00
Special Cubic	0.96812	1	0.968118	33.98012	7	4.854304	0.199435	0.668666	0.336446	0.00
Cubic	4.86619	2	2.433094	29.11394	5	5.822787	0.417857	0.679501	0.431472	0.00
Total Adjusted	51.20929	13	3.939176							

Cuadro 10F: Coeficiente de modelo matemático para Textura-Dureza (N) del pan de molde.

Coeffs (recoded comps); Var.: TXD(N); R-sqr=.4315; Adj:0. (30 03 21) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs DV: TXD(N); MS Residual=5.822787

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	6.4671	1.70415	3.794891	0.012695	2.086	10.8477
(B)GCF (%)	5.5821	1.70415	3.275571	0.022062	1.201	9.9627
(C)WF (%)	3.9971	1.70415	2.345489	0.065929	-0.384	8.3777
AB	-2.4252	10.74292	-0.225745	0.830337	-30.041	25.1904
AC	-3.2552	10.74292	-0.303005	0.774087	-30.871	24.3604
BC	8.6983	8.35208	1.041450	0.345381	-12.771	30.1680
ABC	31.9462	73.47543	0.434787	0.681842	-156.928	220.8208
AB (A - B)	-16.9483	38.15207	-0.444230	0.675444	-115.021	81.1247
AC (A - C)	34.8617	38.15207	0.913757	0.402757	-63.211	132.9347

Cuadro 10G: Análisis de Varianza para el parámetro Textura-Masticabilidad del pan de molde.

ANOVA; Var.:TXM(mJ) (30 03 21) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	741.2887	2	370.6444	226.3200	11	20.57454	18.01471	0.000339	0.766104	0.723577
Quadratic	28.6976	3	9.5659	197.6224	8	24.70280	0.38724	0.765393	0.795762	0.668113
Special Cubic	75.0061	1	75.0061	122.6163	7	17.51662	4.28200	0.077297	0.873279	0.764661
Cubic	14.7370	2	7.3685	107.8793	5	21.57586	0.34152	0.726063	0.888509	0.710124
Total Adjusted	967.6087	13	74.4314							

Cuadro 10H: Coeficiente de modelo matemático para Textura-Masticabilidad del pan de molde.

Coeffs (recoded comps); Var.:TXM(mJ); R-sqr=.7661; Adj:.7236 (30 03 21) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs DV: TXM(mJ); MS Residual=20.57454

	Coeff.	Std.Err.	t (11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	32.35031	2.648009	12.21684	0.000000	26.52209	38.17854
(B)GCF (%)	44.43793	2.588100	17.17010	0.000000	38.74156	50.13430
(C)WF (%)	20.08593	2.588100	7.76088	0.000009	14.38956	25.78230

Cuadro 10I: Análisis de Varianza para el parámetro Textura-Masticabilidad del pan de molde.

ANOVA; Var.:TXC (30 03 21) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)										
	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	0.052022	2	0.026011	0.140528	11	0.012775	2.036020	0.176894	0.270172	0.137476
Quadratic	0.026974	3	0.008991	0.113554	8	0.014194	0.633457	0.613953	0.410262	0.041675
Special Cubic	0.001082	1	0.001082	0.112472	7	0.016067	0.067344	0.802711	0.415881	0.000000
Cubic	0.019738	2	0.009869	0.092734	5	0.018547	0.532101	0.617292	0.518388	0.000000
Total Adjusted	0.192550	13	0.014812							

Cuadro 10J: Coeficiente de modelo matemático para Textura-Masticabilidad del pan de molde.

Coeffs (recoded comps); Var.: TXC; R-sqr=.5184; Adj:0. (30 03 21) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs DV: TXC; MS Residual=.0185469						
	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	0.64195	0.096179	6.67451	0.001140	0.39471	0.88918
(B)GCF (%)	0.79695	0.096179	8.28610	0.000418	0.54971	1.04418
(C)WF (%)	0.57695	0.096179	5.99869	0.001848	0.32971	0.82418
AB	0.19334	0.606306	0.31888	0.762705	-1.36522	1.75190
AC	-0.16666	0.606306	-0.27487	0.794409	-1.72522	1.39190
BC	-0.57222	0.471373	-1.21394	0.278976	-1.78392	0.63948
ABC	0.90943	4.146791	0.21931	0.835081	-9.75024	11.56909
AB (A – B)	1.40222	2.153219	0.65122	0.543644	-4.13281	6.93724
AC (A – C)	-2.19778	2.153219	-1.02070	0.354219	-7.73281	3.33724

Cuadro 10K: Análisis de Varianza para el parámetro Luminosidad (L*) de la miga del pan de molde.

ANOVA; Var.:CM (L*) (Matriz Color Cielab Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	5.87128	2	2.935639	38.95349	11	3.541227	0.828989	0.462015	0.130983	0.00
Quadratic	4.24749	3	1.415830	34.70600	8	4.338250	0.326360	0.806576	0.225741	0.00
Special Cubic	2.16707	1	2.167072	32.53893	7	4.648419	0.466196	0.516695	0.274086	0.00
Cubic	11.98660	2	5.993302	20.55233	5	4.110465	1.458059	0.317062	0.541496	0.00
Total Adjusted	44.82477	13	3.448059							

Cuadro 10L: Coeficiente de modelo matemático para la Luminosidad (L*) de la miga del pan de molde.

Coeffs (recoded comps); Var.: CM (L*); R-sqr=.5415; Adj: 0. (Matriz Color Cielab Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total = 100., 14 Runs DV: CM (L*); MS Residual = 4.110465

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	60.3106	1.43182	42.12164	0.000000	56.630	63.9912
(B)GCF (%)	59.3006	1.43182	41.41624	0.000000	55.620	62.9812
(C)WF (%)	60.5456	1.43182	42.28577	0.000000	56.865	64.2262
AB	-3.2930	9.02614	-0.36483	0.730164	-26.495	19.9095
AC	4.6570	9.02614	0.51595	0.627887	-18.545	27.8595
BC	0.6723	7.01738	0.09581	0.927392	-17.366	18.7111
ABC	38.9348	61.73368	0.63069	0.555943	-119.757	197.6262
AB (A – B)	-10.0323	32.05518	-0.31297	0.766936	-92.433	72.3681
AC (A – C)	-41.0823	32.05518	-1.28161	0.256191	-123.483	41.3181

Cuadro 10M: Análisis de Varianza para el parámetro cromaticidad (a*) de la miga del pan de molde.

ANOVA; Var.:CM (a*) (Matriz Color Cielab Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	0.607723	2	0.303862	5.298820	11	0.481711	0.630797	0.550366	0.102890	0.00
Quadratic	0.876458	3	0.292153	4.422361	8	0.552795	0.528501	0.675109	0.251278	0.00
Special Cubic	0.249186	1	0.249186	4.173176	7	0.596168	0.417979	0.538559	0.293466	0.00
Cubic	1.311054	2	0.655527	2.862121	5	0.572424	1.145177	0.389541	0.515432	0.00
Total Adjusted	5.906543	13	0.454349							

Cuadro 10N: Coeficiente de modelo matemático para la cromaticidad (a*) de la miga del pan de molde.

Coeffs (recoded comps); Var.: CM (a*); R-sqr=.5154; Adj:0. (Matriz Color Cielab Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs DV: CM (a*); MS Residual=.5724243

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	5.47771	0.53432	10.25172	0.000152	4.1042	6.85122
(B)GCF (%)	6.01271	0.53432	11.25299	0.000097	4.6392	7.38622
(C)WF (%)	5.12271	0.53432	9.58733	0.000209	3.7492	6.49622
AB	-1.73753	3.36834	-0.51584	0.627956	-10.3961	6.92106
AC	-2.23753	3.36834	-0.66428	0.535912	-10.8961	6.42106
BC	-3.24918	2.61872	-1.24075	0.269738	-9.9808	3.48245
ABC	16.29965	23.03752	0.70753	0.510845	-42.9202	75.51948
AB (A – B)	18.05918	11.96222	1.50968	0.191506	-12.6907	48.80904
AC (A – C)	-8.16082	11.96222	-0.68222	0.525418	-38.9107	22.58904

Cuadro 10Ñ: Análisis de Varianza para el parámetro cromaticidad (b^*) de la miga del pan de molde.

ANOVA; Var.:CM (b^*) (Matriz Color Cielab Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	1.91463	2	0.957316	29.83520	11	2.712291	0.352955	0.710283	0.060304	0.00
Quadratic	5.09950	3	1.699834	24.73570	8	3.091963	0.549759	0.662293	0.220919	0.00
Special Cubic	1.84345	1	1.843452	22.89225	7	3.270321	0.563691	0.477251	0.278981	0.00
Cubic	6.77841	2	3.389205	16.11384	5	3.222768	1.051644	0.415697	0.492475	0.00
Total Adjusted	31.74984	13	2.442295							

Cuadro 100: Coeficiente de modelo matemático para la cromaticidad (b^*) de la miga del pan de molde.

Coeffs (recoded comps); Var.: CM (b^*); R-sqr=.4925; Adj: 0. (Matriz Color Cielab Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total = 100., 14 Runs DV: CM (b^*); MS Residual=3.222768

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	16.5360	1.26782	13.04284	0.000047	13.277	19.7950
(B)GCF (%)	16.3410	1.26782	12.88903	0.000050	13.082	19.6000
(C)WF (%)	16.5010	1.26782	13.01523	0.000048	13.242	19.7600
AB	4.5815	7.99229	0.57324	0.591298	-15.963	25.1264
AC	-2.2585	7.99229	-0.28258	0.788822	-22.803	18.2864
BC	-2.8562	6.21361	-0.45966	0.665054	-18.829	13.1164
ABC	-40.8450	54.66271	-0.74722	0.488560	-181.360	99.6700
AB (A - B)	-33.7638	28.38358	-1.18956	0.287624	-106.726	39.1985
AC (A - C)	37.5162	28.38358	1.32176	0.243492	-35.446	110.4785

Cuadro 10P: Análisis de Varianza para el parámetro Luminosidad (L*) de la corteza del pan de molde.

ANOVA; Var.:CC (L*) (Matriz Color Cielab Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	0.70530	2	0.352651	25.47438	11	2.315853	0.152277	0.860530	0.026941	0.000000
Quadratic	1.40638	3	0.468793	24.06800	8	3.008501	0.155823	0.923004	0.080661	0.000000
Special Cubic	8.34890	1	8.348903	15.71910	7	2.245586	3.717918	0.095176	0.399569	0.000000
Cubic	7.76984	2	3.884921	7.94926	5	1.589852	2.443574	0.181864	0.696358	0.210530
Total Adjusted	26.17969	13	2.013822							

Cuadro 10Q: Coeficiente de modelo matemático para la Luminosidad (L*) de la corteza del pan de molde.

Coeffs (recoded comps); Var.: CC (L*); R-sqr=.6964; Adj.:2105 (Matriz Color Cielab Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs DV: CC (L*); MS Residual = 1.589852

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	39.8758	0.89047	44.78047	0.000000	37.587	42.16487
(B)GCF (%)	38.9108	0.89047	43.69678	0.000000	36.622	41.19987
(C)WF (%)	40.2608	0.89047	45.21282	0.000000	37.972	42.54987
AB	4.8800	5.61352	0.86933	0.424422	-9.550	19.31003
AC	8.4600	5.61352	1.50708	0.192148	-5.970	22.89003
BC	6.6833	4.36423	1.53139	0.186237	-4.535	17.90195
ABC	-88.6217	38.39326	-2.30826	0.069057	-187.315	10.07130
AB (A – B)	-41.3033	19.93568	-2.07183	0.093023	-92.550	9.94295
AC (A – C)	34.3567	19.93568	1.72338	0.145428	-16.890	85.60295

Cuadro 10R: Análisis de Varianza para el parámetro cromaticidad (a^*) de la corteza del pan de molde.

ANOVA; Var.:CC (a^*) (Matriz Color Cielab Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	6.35622	2	3.178110	7.358102	11	0.668918	4.751118	0.032565	0.463473	0.365923
Quadratic	2.12467	3	0.708223	5.233434	8	0.654179	1.082612	0.410001	0.618396	0.379894
Special Cubic	0.67157	1	0.671569	4.561865	7	0.651695	1.030495	0.343838	0.667365	0.382249
Cubic	2.21430	2	1.107151	2.347562	5	0.469512	2.358087	0.189971	0.828824	0.554942
Total Adjusted	13.71432	13	1.054948							

Cuadro 10S: Coeficiente de modelo matemático para la cromaticidad (a^*) de la corteza del pan de molde.

Coeffs (recoded comps); Var.: CC (a^*); R-sqr=.4635; Adj.:.3659 (Matriz Color Cielab Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs DV: CC (a^*); MS Residual=.6689183

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	15.47623	0.477464	32.41338	0.000000	14.42534	16.52713
(B)GCF (%)	17.00486	0.466662	36.43935	0.000000	15.97774	18.03198
(C)WF (%)	14.80886	0.466662	31.73359	0.000000	13.78174	15.83598

Cuadro 10T: Análisis de Varianza para el parámetro cromaticidad (b*) de la corteza del pan de molde.

ANOVA; Var.:CC (b*) (Matriz Color Cielab Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	2.44971	2	1.224857	34.02212	11	3.092920	0.396020	0.682214	0.067167	0.000000
Quadratic	14.98068	3	4.993559	19.04144	8	2.380181	2.097975	0.178866	0.477914	0.151610
Special Cubic	0.00000	1	0.000000	19.04144	7	2.720206	0.000000	0.999992	0.477914	0.030411
Cubic	13.89762	2	6.948810	5.14382	5	1.028765	6.754517	0.037928	0.858964	0.633308
Total Adjusted	36.47184	13	2.805526							

Cuadro 10U: Coeficiente de modelo matemático para la cromaticidad (b*) de la corteza del pan de molde.

Coeffs (recoded comps); Var.: E (mm); R-sqr=.435; Adj:0. (Matriz Análisis Reologico de Masas Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs DV: E (mm); MS Residual=51.61896

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	20.8402	0.71631	29.09380	0.000001	18.9988	22.68151
(B)GCF (%)	20.5602	0.71631	28.70291	0.000001	18.7188	22.40151
(C)WF (%)	21.0502	0.71631	29.38697	0.000001	19.2088	22.89151
AB	0.1221	4.51559	0.02704	0.979475	-11.4856	11.72980
AC	16.8621	4.51559	3.73419	0.013512	5.2544	28.46980
BC	1.4207	3.51065	0.40468	0.702442	-7.6037	10.44511
ABC	-6.4445	30.88408	-0.20867	0.842941	-85.8346	72.94553
AB (A - B)	-40.1207	16.03654	-2.50183	0.054368	-81.3439	1.10255
AC (A - C)	-16.5407	16.03654	-1.03144	0.349621	-57.7639	24.68255

ANEXO 11: Análisis de los parámetros sensoriales del pan de molde.

Cuadro 11A: Análisis de Varianza para el parámetro OLOR del pan de molde.

ANOVA; Var.: OLOR (Matriz Análisis Sensorial Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	3.802139	2	1.901070	2.790382	11	0.253671	7.49423	0.008838	0.576735	0.499778
Quadratic	2.480870	3	0.826957	0.309512	8	0.038689	21.37445	0.000356	0.953051	0.923708
Special Cubic	0.034690	1	0.034690	0.274822	7	0.039260	0.88360	0.378514	0.958313	0.922581
Cubic	0.124746	2	0.062373	0.150076	5	0.030015	2.07806	0.220367	0.977235	0.940812
Total Adjusted	6.592521	13	0.507117							

Cuadro 11B: Coeficiente de modelo matemático para el OLOR del pan de molde.

Coeffs (recoded comps); Var.: OLOR; R-sqr=.9531; Adj.:.9237 (Matriz Análisis Sensorial Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs DV: OLOR; MS Residual=.038689

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	6.11536	0.136388	44.83787	0.000000	5.80085	6.42988
(B)GCF (%)	7.14963	0.136523	52.36928	0.000000	6.83481	7.46446
(C)WF (%)	7.74487	0.136523	56.72925	0.000000	7.43005	8.05970
AB	-4.80885	0.774145	-6.21182	0.000256	-6.59403	-3.02367
AC	2.52258	0.774145	3.25853	0.011553	0.73740	4.30776
BC	-2.79041	0.645866	-4.32041	0.002545	-4.27978	-1.30104

Cuadro 11C: Análisis de Varianza para el parámetro COLOR del pan de molde.

ANOVA; Var.: COLOR (Matriz Análisis Sensorial Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total = 100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	0.065192	2	0.032596	0.507494	11	0.046136	0.706523	0.514433	0.113836	0.000000
Quadratic	0.249803	3	0.083268	0.257691	8	0.032211	2.585033	0.125773	0.550030	0.268799
Special Cubic	0.074014	1	0.074014	0.183677	7	0.026240	2.820694	0.136948	0.679270	0.404359
Cubic	0.019902	2	0.009951	0.163775	5	0.032755	0.303806	0.750724	0.714023	0.256460
Total Adjusted	0.572686	13	0.044053							

Cuadro 11D: Coeficiente de modelo matemático para el COLOR del pan de molde.

Coeffs (recoded comps); Var.: COLOR; R-sqr=.6793; Adj:.4044 (Matriz Análisis Sensorial Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs DV: COLOR; MS Residual=.0262396

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	7.18573	0.112521	63.86104	0.000000	6.91966	7.45181
(B)GCF (%)	7.51332	0.112539	66.76203	0.000000	7.24721	7.77943
(C)WF (%)	7.26094	0.112539	64.51942	0.000000	6.99482	7.52705
AB	-1.64569	0.710715	-2.31554	0.053746	-3.32626	0.03489
AC	-0.55997	0.710715	-0.78790	0.456601	-2.24055	1.12060
BC	-1.63149	0.559103	-2.91805	0.022402	-2.95356	-0.30942
ABC	8.26976	4.923967	1.67949	0.136948	-3.37357	19.91310

Cuadro 11E: Análisis de Varianza para el parámetro SABOR del pan de molde.

ANOVA; Var.:SABOR (Matriz Análisis Sensorial Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	8.240646	2	4.120323	0.870275	11	0.079116	52.07958	0.000002	0.904480	0.887113
Quadratic	0.465896	3	0.155299	0.404379	8	0.050547	3.07235	0.090771	0.955616	0.927876
Special Cubic	0.041885	1	0.041885	0.362493	7	0.051785	0.80883	0.398346	0.960213	0.926110
Cubic	0.071105	2	0.035552	0.291388	5	0.058278	0.61005	0.579336	0.968018	0.916846
Total Adjusted	9.110921	13	0.700840							

Cuadro 11F: Coeficiente de modelo matemático para el SABOR del pan de molde.

Coeffs (recoded comps); Var.: SABOR; R-sqr=.9045; Adj:.8871 (Matriz Análisis Sensorial Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs DV: SABOR; MS Residual=.0791159

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	6.161143	0.164205	37.52105	0.000000	5.799731	6.522556
(B)GCF (%)	6.207453	0.160490	38.67814	0.000000	5.854217	6.560689
(C)WF (%)	8.389453	0.160490	52.27401	0.000000	8.036217	8.742689

Cuadro 11G: Análisis de Varianza para el parámetro TEXTURA del pan de molde.

ANOVA; Var.:TEXTURA (Matriz Análisis Sensorial Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	1.068371	2	0.534185	0.405951	11	0.036905	14.47475	0.000831	0.724652	0.674589
Quadratic	0.192200	3	0.064067	0.213751	8	0.026719	2.39781	0.143535	0.855018	0.764404
Special Cubic	0.003794	1	0.003794	0.209956	7	0.029994	0.12650	0.732563	0.857591	0.735526
Cubic	0.065161	2	0.032581	0.144795	5	0.028959	1.12507	0.394967	0.901789	0.744651
Total Adjusted	1.474321	13	0.113409							

Cuadro 11H: Coeficiente de modelo matemático para el TEXTURA del pan de molde.

Coeffs (recoded comps); Var.: TEXTURA; R-sqr=.7247; Adj:.6746 (Matriz Análisis Sensorial Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total = 100., 14 Runs DV: TEXTURA; MS Residual=.0369046

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	7.106323	0.112149	63.36511	0.000000	6.859485	7.353161
(B)GCF (%)	7.402269	0.109612	67.53184	0.000000	7.161016	7.643522
(C)WF (%)	7.998269	0.109612	72.96923	0.000000	7.757016	8.239522

ANEXO 12: Análisis del contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante del pan de molde.

Cuadro 12A: Análisis de Varianza para el parámetro TPC del pan de molde.

ANOVA; Var.:TPC: mg GAE/100 g (DRY BASIS) (Matriz Capacidad Antioxidante y Fenoles Spreadsheet1)
3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	30650.50	2	15325.25	4445.998	11	404.1816	37.91673	0.000012	0.873321	0.850288
Quadratic	1067.89	3	355.96	3378.104	8	422.2629	0.84299	0.507744	0.903748	0.843591
Special Cubic	875.68	1	875.68	2502.421	7	357.4887	2.44954	0.161539	0.928699	0.867584
Cubic	1057.93	2	528.96	1444.496	5	288.8991	1.83096	0.253157	0.958842	0.892990
Total Adjusted	35096.49	13	2699.73							

Cuadro 12B: Coeficiente de modelo matemático para TPC del pan de molde.

Coeffs (recoded comps); Var.: TPC: mg GAE/100 g (DRY BASIS); R-sqr=.8733; Adj:.8503 (Matriz Capacidad Antioxidante y Fenoles Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs
DV: TPC: mg GAE/100 g (DRY BASIS); MS Residual=404.1816

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	117.0220	11.73661	9.97068	0.000001	91.1899	142.8541
(B)GCF (%)	258.0343	11.47108	22.49434	0.000000	232.7866	283.2819
(C)WF (%)	131.8403	11.47108	11.49328	0.000000	106.5926	157.0879

Cuadro 12C: Análisis de Varianza para el parámetro GABA del pan de molde.

ANOVA; Var.:GABA (mg/100 g m.s) (GABA PAN KCT.sta) 3 Factor mixture design; Mixture total=99.999, 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	31.86194	2	15.93097	62.39601	11	5.672365	2.808523	0.103422	0.338029	0.217671
Quadratic	13.32736	3	4.44245	49.06865	8	6.133582	0.724284	0.565355	0.479422	0.154060
Special Cubic	0.22430	1	0.22430	48.84436	7	6.977765	0.032145	0.862790	0.481801	0.037631
Cubic	9.99655	2	4.99828	38.84780	5	7.769561	0.643315	0.564131	0.587856	0.000000
Total Adjusted	35096.49	13	2699.73							

Cuadro 12D: Coeficiente de modelo matemático para GABA del pan de molde.

Coeffs (recoded comps); Var.:GABA (mg/100 g m.s); R-sqr=.6787; Adj.:.1647 (GABA PAN KCT.sta) 3 Factor mixture design; Mixture total=99.999, 14 Runs DV: GABA (mg/100 g m.s); MS Residual=23.98521

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	7.27488	576.7030	0.012615	0.990423	-1475.19	1489.737
(B)GCF (%)	20.20363	40.1774	0.502861	0.636424	-83.08	123.483
(C)WF (%)	0.06566	1.2215	0.053750	0.959216	-3.07	3.206
AB	-1.59622	7.5998	-0.210033	0.841932	-21.13	17.940
AC	-0.21827	9.8161	-0.022236	0.983120	-25.45	25.015
BC	-0.20611	0.5188	-0.397247	0.707576	-1.54	1.128
ABC	0.01919	0.0849	0.226104	0.830073	-0.20	0.237
AB(A-B)	0.04369	0.0441	0.991590	0.366928	-0.07	0.157
AC(A-C)	-0.00153	0.0441	-0.034701	0.973661	-0.11	0.112

Cuadro 12E: Análisis de Varianza para el parámetro ORAC del pan de molde.

ANOVA; Var.: ORAC: μ moles TE/mg (DRY BASIS) (Matriz Capacidad Antioxidante y Fenoles Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	708.273	2	354.1363	476.1609	11	43.28735	8.181057	0.006658	0.597984	0.524890
Quadratic	122.115	3	40.7052	354.0454	8	44.25568	0.919773	0.473860	0.701085	0.514262
Special Cubic	9.767	1	9.7672	344.2782	7	49.18261	0.198590	0.669318	0.709331	0.460186
Cubic	46.214	2	23.1068	298.0647	5	59.61295	0.387613	0.697433	0.748348	0.345705
Total Adjusted	1184.433	13	91.1103							

Cuadro 12F: Coeficiente de modelo matemático para ORAC del pan de molde.

Coeffs (recoded comps); Var.: ORAC: μ moles TE/mg (DRY BASIS); R-sqr=.598; Adj.:.5249 (Matriz Capacidad Antioxidante y Fenoles Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs
DV: ORAC: μ moles TE/mg (DRY BASIS); MS Residual=43.28735

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	46.39530	3.840917	12.07923	0.000000	37.94150	54.84910
(B)GCF (%)	64.72779	3.754018	17.24227	0.000000	56.46525	72.99033
(C)WF (%)	42.53613	3.754018	11.33083	0.000000	34.27359	50.79866

Cuadro 12G: Análisis de Varianza para el parámetro AF del pan de molde.

ANOVA; Var.: **Ácido fítico (g/100g)** (ÁCIDO FÍTICO PAN KCT) 3 Factor mixture design; Mixture total=99.999, 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	0.015401	2	0.007700	0.015450	11	0.001405	5.482696	0.022289	0.499212	0.408160
Quadratic	0.000929	3	0.000310	0.014521	8	0.001815	0.170541	0.913310	0.529314	0.235135
Special Cubic	0.001313	1	0.001313	0.013208	7	0.001887	0.695823	0.431732	0.571871	0.204904
Cubic	0.001253	2	0.000626	0.011955	5	0.002391	0.261946	0.779493	0.612476	0.000000
Total Adjusted	0.030850	13	0.002373							

Cuadro 12H: Coeficiente de modelo matemático para AF del pan de molde.

Coeffs (recoded comps); Var.: **Ácido fítico (g/100g)**; R-sqr=.4992; Adj:.4082 (ÁCIDO FÍTICO PAN KCT) 3 Factor mixture design; Mixture total=99.999, 14 Runs DV: **Ácido fítico (g/100g)**; MS Residual=.0014045

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	0.363775	0.021878	16.62722	0.000000	0.315622	0.411929
(B)GCF (%)	0.266941	0.021383	12.48360	0.000000	0.219876	0.314005
(C)WF (%)	0.274472	0.021384	12.83565	0.000000	0.227407	0.321537

ANEXO 13: Proceso de elaboración de galletas.



Mezclado y amasado de insumos para la elaboración de galletas.



Laminado de la masa.



Horneado de galletas.



Empacado de galletas.

ANEXO 14: Análisis del contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante de galletas.

Cuadro 14A: Análisis de Varianza para el parámetro TPC de galletas.

ANOVA; Var.:TPC (mg GAE/100 g) (Galleta KCT 10 06 21) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	11892.22	2	5946.111	32193.75	11	2926.705	2.031674	0.177456	0.269751	0.136978
Quadratic	4907.70	3	1635.900	27286.05	8	3410.756	0.479630	0.705372	0.381072	0.000000
Special Cubic	6711.09	1	6711.095	20574.96	7	2939.279	2.283245	0.174530	0.533299	0.133270
Cubic	0.00	0	0.000	20574.96	7	2939.279			0.533299	0.133270
Total Adjusted	44085.97	13	3391.229							

Cuadro 14B: Coeficiente de modelo matemático para TPC de galletas.

Coeffs (recoded comps); Var.: TPC (mg GAE/100 g); R-sqr=.5333; Adj.:.1333 (Galleta KCT 10 06 21) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs DV: TPC (mg GAE/100 g); MS Residual=2939.279

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	107.51	240.428	0.44716	0.668265	-461.01	676.034
(B)GCF (%)	-108.97	282.578	-0.38563	0.711221	-777.16	559.220
(C)WF (%)	-54.40	282.578	-0.19251	0.852812	-722.59	613.793
AB	1140.96	990.818	1.15154	0.287319	-1201.95	3483.876
AC	640.65	990.818	0.64659	0.538511	-1702.26	2983.566
BC	1365.83	1051.270	1.29922	0.235021	-1120.03	3851.691
ABC	-2758.69	1825.690	-1.51104	0.174530	-7075.76	1558.378

Cuadro 14C: Análisis de Varianza para el parámetro GABA de galletas.

ANOVA; Var.:Ácido fóico (g/100g) (Galleta KCT 10 06 21) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	2.081157	2	1.040579	0.707295	11	0.064300	16.18330	0.000529	0.746349	0.700230
Quadratic	0.077662	3	0.025887	0.629633	8	0.078704	0.32892	0.804825	0.774200	0.633075
Special Cubic	0.161539	1	0.161539	0.468094	7	0.066871	2.41569	0.164073	0.832131	0.688244
Cubic	0.000000	0	0.000000	0.468094	7	0.066871			0.832131	0.688244
Total Adjusted	2.788452	13	0.214496							

Cuadro 14D: Coeficiente de modelo matemático para GABA de galletas.

Coeffs (recoded comps); Var.:GABA (mg/100 g m.s); R-sqr=.7463; Adj:.7002 (GABA GALLETA KCT.sta) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs DV: GABA (mg/100 g m.s); MS Residual=.0642995

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	3.020678	0.197763	15.27427	0.000000	2.585405	3.455950
(B)GCF (%)	4.176965	0.217706	19.18624	0.000000	3.697796	4.656133
(C)WF (%)	2.144188	0.217706	9.84899	0.000001	1.665020	2.623357

Cuadro 14E: Análisis de Varianza para el parámetro ÁCIDO FÍTICO de galletas.

ANOVA; Var.Ácido fítico (g/100g) (Galleta KCT 10 06 21) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	0.012831	2	0.006416	0.012599	11	0.001145	5.601313	0.021010	0.504563	0.414484
Quadratic	0.001305	3	0.000435	0.011294	8	0.001412	0.308119	0.819091	0.555879	0.278303
Special Cubic	0.000708	1	0.000708	0.010586	7	0.001512	0.468055	0.515886	0.583714	0.226897
Cubic	0.000000	0	0.000000	0.010586	7	0.001512			0.583714	0.226897
Total Adjusted	0.025430	13	0.001956							

Cuadro 14F: Coeficiente de modelo matemático para ÁCIDO FÍTICO de galletas.

Coeffs (recoded comps); Var.:Ácido fítico (g/100g); R-sqr=.5046; Adj:.4145 (Galleta KCT 10 06 21) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs DV: Ácido fítico (g/100g); MS Residual=.0011454

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	0.252641	0.026395	9.571696	0.000001	0.194547	0.310735
(B)GCF (%)	0.178807	0.029056	6.153808	0.000072	0.114855	0.242760
(C)WF (%)	0.100880	0.029056	3.471855	0.005223	0.036927	0.164832

Cuadro 14G: Análisis de Varianza para el parámetro ORAC de galletas.

ANOVA; Var: ORAC (μ moles TE/mg) (Galleta KCT 10 06 21) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr - Adjusted
Linear	3125.044	2	1562.522	1092.358	11	99.3053	15.73453	0.000593	0.740988	0.693895
Quadratic	47.762	3	15.921	1044.597	8	130.5746	0.12193	0.944578	0.752313	0.597508
Special Cubic	437.577	1	437.577	607.020	7	86.7171	5.04602	0.059519	0.856068	0.732697
Cubic	0.000	0	0.000	607.020	7	86.7171			0.856068	0.732697
Total Adjusted	4217.402	13	324.416							

Cuadro 14H: Coeficiente de modelo matemático para ORAC de galletas.

Coeffs (recoded comps); Var.:ORAC (μ moles TE/mg); R-sqr=.741; Adj:.6939 (Galleta KCT 10 06 21) 3 Factor mixture design; Mixture total=100., 14 Runs DV: ORAC (μ moles TE/mg); MS Residual=99.30529

	Coeff.	Std.Err.	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)GKF (%)	65.4591	7.771884	8.42255	0.000004	48.3533	82.5649
(B)GCF (%)	133.0081	8.555657	15.54622	0.000000	114.1772	151.8390
(C)WF (%)	66.3028	8.555657	7.74959	0.000009	47.4719	85.1337

TESIS.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

21%

FUENTES DE INTERNET

9%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	digital.csic.es Fuente de Internet	3%
2	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	www.scipedia.com Fuente de Internet	2%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
5	www.ncbi.nlm.nih.gov Fuente de Internet	1%
6	repositorio.upeu.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	www.dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	Submitted to University of Stellenbosch, South Africa Trabajo del estudiante	1%

9	Submitted to Brigham Young University, Hawaii Trabajo del estudiante	1 %
10	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
11	dsp-psd.pwgsc.gc.ca Fuente de Internet	<1 %
12	drugg.fgg.uni-lj.si Fuente de Internet	<1 %
13	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	purl.org Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
17	www.colibri.udelar.edu.uy Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
19	www.h-a-d.hr Fuente de Internet	<1 %
20	repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080	

Fuente de Internet

<1 %

21

CARLOS AUGUSTO KAFFURE RUIZ.

"Modelización de perfiles del ruido producido por vehículos en dispositivos moderadores de tráfico.", 'Universitat Politecnica de Valencia', 2015

Fuente de Internet

<1 %

22

repositorio.unas.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

23

repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

24

uenf.br

Fuente de Internet

<1 %

25

www.intersections.ro

Fuente de Internet

<1 %

26

repositorio.uam.es

Fuente de Internet

<1 %

27

www.dspace.espol.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

28

doaj.org

Fuente de Internet

<1 %

29

1library.co

Fuente de Internet

<1 %

Submitted to Universidad de Málaga - Tii

30

Trabajo del estudiante

<1 %

31

repositorio.unheval.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

32

Submitted to Universidad Nacional del Santa

Trabajo del estudiante

<1 %

33

repositorio.uchile.cl

Fuente de Internet

<1 %

34

repositorio.ute.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

35

tesis.ucsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

36

sciforum.net

Fuente de Internet

<1 %

37

roderic.uv.es

Fuente de Internet

<1 %

38

iananindya.blogspot.com

Fuente de Internet

<1 %

39

orcid.org

Fuente de Internet

<1 %

40

fcai.uncuyo.edu.ar

Fuente de Internet

<1 %

41

es.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

42	Submitted to UNIV DE LAS AMERICAS Trabajo del estudiante	<1 %
43	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
44	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
45	www.bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
46	revistas.udca.edu.co Fuente de Internet	<1 %
47	www.tandfonline.com Fuente de Internet	<1 %
48	Daniele Martins Firmiano, Gabriela Marques Bittencourt, Alessandra Lopes de Oliveira. "Antioxidant Activity and Phenolic Content of Campomanesia Phaea Extracts Obtained by Pressurized Liquid Extraction", The Open Food Science Journal, 2019 Publicación	<1 %
49	dokumen.site Fuente de Internet	<1 %
50	Luz María Paucar-Menacho, Cristina Martínez-Villaluenga, Montserrat Dueñas, Juana Frias, Elena Peñas. "Optimization of germination time and temperature to maximize the	<1 %

content of bioactive compounds and the antioxidant activity of purple corn (*Zea mays* L.) by response surface methodology", *LWT - Food Science and Technology*, 2017

Publicación

51

Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru

Trabajo del estudiante

<1 %

52

Shimajiri, Yasuka, Takayuki Oonishi, Kae Ozaki, Kumiko Kainou, and Kazuhito Akama. "Genetic manipulation of the γ -aminobutyric acid (GABA) shunt in rice: overexpression of truncated glutamate decarboxylase (GAD2) and knockdown of γ -aminobutyric acid transaminase (GABA-T) lead to sustained and high levels of GABA accumulation in rice kern", *Plant Biotechnology Journal*, 2013.

Publicación

<1 %

53

Eugene Marfo Obeng, Clarence M Ongkudon, Cahyo Budiman, Ruth Maas, Joachim Jose. "An optimal blend of single autodisplayed cellulases for cellulose saccharification-a proof of concept", *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 2018

Publicación

<1 %

54

Luz María Paucar-Menacho, Cristina Martínez-Villaluenga, Montserrat Dueñas, Juana Frias, Elena Peñas. "Response surface optimisation

<1 %

of germination conditions to improve the accumulation of bioactive compounds and the antioxidant activity in quinoa", International Journal of Food Science & Technology, 2018

Publicación

55	bolivianchemistryjournal.org Fuente de Internet	<1 %
56	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
57	dspace.udla.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
58	www.jove.com Fuente de Internet	<1 %
59	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	<1 %
60	openprairie.sdstate.edu Fuente de Internet	<1 %
61	foods.pe Fuente de Internet	<1 %
62	rmf.smf.org.mx Fuente de Internet	<1 %
63	repository.unad.edu.co Fuente de Internet	<1 %
64	www.clubensayos.com Fuente de Internet	<1 %

65

Barbara Speranza, Maria Rosaria Corbo, Daniela Campaniello, Clelia Altieri, Milena Sinigaglia, Antonio Bevilacqua. "Biofilm formation by potentially probiotic *Saccharomyces cerevisiae* strains", *Food Microbiology*, 2020

Publicación

<1 %

66

Grethel Teresa Choque Delgado, Katerin Victoria Carlos Tapia, Maria Cecilia Pacco Huamani, Bruce R. Hamaker. "Peruvian Andean grains: Nutritional, functional properties and industrial uses", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022

Publicación

<1 %

67

agrociencia-colpos.mx

Fuente de Internet

<1 %

68

issuu.com

Fuente de Internet

<1 %

69

revistas.uss.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

70

JUAN MARIO SANZ PENELLA. "NUEVAS ESTRATEGIAS PARA INCREMENTAR LA CALIDAD NUTRICIONAL DE PRODUCTOS DE PANADERÍA. EFECTO SOBRE EL CONTENIDO DE FITATOS Y LA BIODISPONIBILIDAD DE HIERRO EN CACO-2", *Universitat Politecnica de Valencia*, 2012

Publicación

<1 %

Excluir citas Activo

Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 15 words