



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

TESIS

Optimización de las características texturales y sensoriales del pan de molde a base de harina de *Prosopis pallida*, *Amaranthus caudatus* y almidón de papa.

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO (A) DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

PRESENTADO POR:
BACH. GARCÍA ARÁMBULO ROBERTO JAHIR
BACH. MECHÁN LLONTOP JESSICA

ASESORADO POR:
DRA. LEÓN ROQUE NOEMÍ - <https://orcid.org/0000-0001-5001-1558>

LAMBAYEQUE – PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

TESIS

Optimización de las características texturales y sensoriales del pan de molde a base de harina
de *Prosopis pallida*, *Amaranthus caudatus* y almidón de papa.

PRESENTADO POR:

Bach. García Arámbulo Roberto Jahir

Bach. Mechán Llontop Jessica

ASESOR:

Dra. Noemí León Roque

LAMBAYEQUE – PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

TESIS

Optimización de las características texturales y sensoriales del pan de molde a base de harina de *Prosopis pallida*, *Amaranthus caudatus* y almidón de papa.

APROBADO POR:

Dr. Cesar Augusto Monteza Arbulú

Presidente del Jurado

M. Sc. Juan Francisco Robles Ruiz

Secretario del Jurado

Ing. Carmen Annabella Campos Salazar

Vocal del Jurado

LAMBAYEQUE – PERÚ

2022



ACTA DE SUSTENTACIÓN



ACTA DE SUSTENTACIÓN N°060-2022-UINV-FIQIA-VIRTUAL

Siendo las 2pm del día 22 de julio del 2022, se reunieron vía plataforma virtual, <https://meet.google.com/iuu-cvbt-jnx>, los miembros de jurado evaluador de la Tesis Titulada:

“OPTIMIZACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS TEXTURALES Y SENSORIALES DEL PAN DE MOLDE A BASE DE HARINAS DE *Prosopis pallida*, *Amaranthus caudatus* Y ALMIDÓN DE PAPA”; designados por Decreto N° 093-2019-UINV-FIQIA de fecha 29 de abril de 2019 con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformados por los siguientes docentes:

- ✓ Dr. CÉSAR AUGUSTO MONTEZA ARBULU PRESIDENTE
- ✓ M.Sc. JUAN FRANCISCO ROBLES RUIZ SECRETARIO
- ✓ Ing. CARMEN ANNABELLA CAMPOS SALAZAR VOCAL.

La tesis fue asesorada por la Dra. NOEMI LEÓN ROQUE nombrada por Decreto N° 014-2019UINV-FIQIA de fecha 17 de enero de 2019. El acto de sustentación fue autorizado por Decreto N° 242-2022-D-FIQIA-VIRTUAL de fecha 19 de julio de 2022. La Tesis fue presentada y sustentada por los Bachilleres: MECHÁN LLONTOP JESSICA y GARCÍA ARÁMBULO ROBERTO JAHIR y tuvo una duración de 1 hora y 20 minutos.

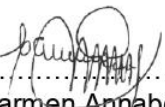
Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado; se procedió a la calificación respectiva, otorgándole a la Bach. MECHÁN LLONTOP JESSICA el calificativo de (17) (DIECISIETE) en la escala vigesimal, mención BUENO y al Bach. GARCÍA ARÁMBULO ROBERTO JAHIR el calificativo de (18) (DIECIOCHO) en la escala vigesimal, mención MUY BUENO. Por lo que quedan APTOS para obtener el Título Profesional de INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.


Siendo las 3:20 pm se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto, con la firma de los miembros del jurado.

Firmas


.....
Dr. Cesar Augusto Monteza Arbulu
Presidente


.....
M.Sc. Juan Francisco Robles Ruiz
Secretario


.....
Ing. Carmen Annabella Campos Salazar
Vocal


.....
Dra. Noemi Leon Roque
Asesor

CONSTANCIA DE SIMILITUD

Por el presente documento se deja constancia, que se ha revisado el Informe de Tesis, titulado:

“Optimización de las características texturales y sensoriales del pan de molde a base de harinas de *Prosopis pallida*, *Amaranthus caudatus* y almidón de papa”, elaborado por los autores:

Bachiller: **Garcia Arámbulo Roberto Jahir**

Bachiller: **Mechán Llontop Jessica**

La revisión se realizó con el programa anti plagio TURNITIN, registrado con el identificador N° 1614690802, de fecha 01 de julio del 2021, dando el siguiente resultado:

PORCENTAJE DE SIMILITUD: 18%

Se adjunta copia del resumen de coincidencias, y se firma dando constancia del porcentaje de similitud, y pueda ser utilizado para los fines que considere conveniente.

Lambayeque, 08 de julio del 2022



Dra. León Roque Noemí

DEDICATORIA

A Dios:

Expresarle mi gratitud, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia con bienestar, quien nos mantiene siempre con esperanza aún en difíciles momentos.

A mis padres:

Quienes con su amor, dedicación y paciencia me han permitido consumir una meta lograda más en mi vida, infinitas gracias por todo lo bueno y valioso que siempre me inculcaron, son y serán ejemplo de vida para mí. Dios los bendiga.

Bach. Roberto Jahir García Arámbulo

DEDICATORIA

A Dios:

Por la salud que nos brinda, por mantener unidas a nuestras familias y porque gracias a él nos encontramos dando un paso más como profesionales, a él le debemos cada uno de nuestros triunfos y alegrías; así como también gracias a él hemos logrado superar cada inconveniente presentado a lo largo de nuestra vida.

A mis padres:

Gracias por apoyarnos a lo largo de este proceso, por darnos fuerza, ser nuestra guía y el motivo por el que decidimos continuar con cada una de nuestras metas, para que se sientan orgullosos de cada uno de nosotros, todo nuestro amor y respeto hacia ustedes.

Bach. Jessica Mechán Llontop

AGRADECIMIENTO

A nuestra asesora, Dra Noemi León Roque; por su apoyo incondicional, por cada uno de sus consejos y pautas brindadas durante nuestra investigación para lograr nuestro propósito y por ser una persona ejemplar la cual nos motiva a salir adelante como profesionales.

Al Dr. Julio Vidaurre, por todo el apoyo que nos ha brindado durante nuestra investigación, por motivarnos a investigar y a realizar cosas nuevas que nos lleven a ser unos buenos profesionales.

Los autores

ÍNDICE GENERAL

I.	MARCO TEÓRICO	3
1.1	Algarroba.....	3
1.1.1	Generalidades	3
1.1.2	Taxonomía.....	4
1.1.3	Valor nutricional de la algarroba.....	5
1.1.4	Harina de algarroba	5
1.1.5	Exportación de la algarroba.....	6
1.2	Kiwicha	7
1.2.1	Generalidades	7
1.2.2	Taxonomía.....	8
1.2.3	Valor nutricional de la kiwicha	9
1.2.4	Harina de kiwicha.....	9
1.2.5	Exportación de kiwicha.....	10
1.3	Almidón de papa	11
1.4	Pan de molde	11
1.4.1	Sistema de elaboración de pan de molde.....	12
1.4.2	Formulación, insumos y flujograma.....	12
1.5	Pan de molde sin gluten	17

1.5.1	Elaboración.....	17
1.5.2	Formulación	17
1.6	Hidrocoloides en panes sin gluten.....	19
1.6.1	Goma xantana	20
1.6.2	Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC)	20
1.6.3	Goma tara	21
1.7	Evaluación sensorial.....	22
1.7.1	Condiciones generales para el desarrollo de la prueba sensorial	22
1.7.2	Jueces	22
1.7.3	Clasificación de pruebas sensoriales	23
1.8	Evaluación sensorial del pan	24
1.8.1	Atributos de color.....	24
1.8.2	Atributos de olor.....	24
1.8.3	Atributos de textura.....	24
1.8.4	Pruebas de aceptabilidad (escala hedónica)	24
1.9	Enfermedad celiaca	25
1.10	Análisis de perfil de textura (TPA)	25
1.10.1	Parámetros del análisis del perfil de textura	26
1.11	Diseño de experimentos con mezclas.....	28
1.11.1	Generalidades	28

1.11.2	Tipos de diseño de mezcla	29
1.11.3	Diseño de mezclas con restricciones	35
1.11.4	Optimización en diseño de mezclas	36
II.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
2.1	Lugar de ejecución	38
2.2	Población y muestra	38
2.2.1	Población.....	38
2.2.2	Muestra.....	38
2.3	Variables de estudio	38
2.3.1	Variables dependientes	38
2.3.2	Variables independientes	39
2.4	Técnicas, instrumentos, equipos y materiales	39
2.4.1.1	Materia prima e insumos	39
2.4.1.2	Equipos e instrumentos	40
2.4.1.3	Materiales de laboratorio.....	40
2.4.2	Métodos de análisis	41
2.4.2.1	Análisis microbiológicos	41
2.4.2.2	Análisis proximal y determinación del contenido de gluten	41
2.4.2.3	Análisis de perfil de textura	41

2.4.2.4	Análisis sensorial	42
2.5	Metodología experimental.....	43
2.5.1	Procedimiento experimental	43
2.5.1.1	Procedimiento de pruebas pre experimentales	43
2.5.1.2	Procedimiento de la elaboración de los tratamientos	45
2.5.2	Diseño experimental	48
2.5.2.1	Caracterización de la materia prima	48
2.5.2.2	Diseño de tratamientos y elaboración del pan de molde libre de gluten	48
2.5.2.3	Evaluación de los tratamientos del pan de molde libre de gluten	50
2.5.2.4	Optimización de las variables respuestas significativas	51
2.5.2.5	Caracterización proximal y microbiológica de la mezcla óptima	51
2.5.3	Análisis estadístico de los datos	51
III.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	54
3.1	Caracterización de las materias primas	54
3.1.1	Análisis químico-proximal y determinación del contenido de gluten	54
3.1.2	Análisis microbiológico	57
3.2	Evaluación del análisis estadístico y efecto de los ingredientes sobre el análisis de las variables respuestas.....	58
3.2.1	Firmeza	58

3.2.1.1	Evaluación del análisis estadístico	58
3.2.1.2	Efecto de los ingredientes sobre la firmeza del pan de molde libre de gluten	63
3.2.2	Elasticidad	67
3.2.2.1	Evaluación del análisis estadístico	67
3.2.3	Cohesividad	69
3.2.3.1	Evaluación del análisis estadístico	69
3.2.4	Color	70
3.2.4.1	Evaluación del análisis estadístico	70
3.2.4.2	Efecto de los ingredientes sobre el color del pan de molde libre de gluten	73
3.2.5	Olor	77
3.2.5.1	Evaluación del análisis estadístico	77
3.2.6	Sabor	78
3.2.6.1	Evaluación del análisis estadístico	78
3.2.7	Textura	79
3.2.7.1	Evaluación del análisis estadístico	79
3.2.7.2	Efecto de los ingredientes sobre la textura del pan de molde libre de gluten	82
3.3	Optimización de variables respuesta	87
3.4	Resultados del análisis microbiológico y químico-proximal del pan de molde optimizado	90

IV.	CONCLUSIONES	92
V.	RECOMENDACIONES	93
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
VII.	ANEXOS	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición de la pulpa del fruto de Algarroba (g/100g)	05
Tabla 2. Análisis proximal de extracto de algarrobo en polvo (g/100g)	06
Tabla 3. Composición química de la kiwicha (g/100g)	09
Tabla 4. Análisis de la harina integral de kiwicha (g/100g)	10
Tabla 5. Características fisicoquímicas del pan de molde	11
Tabla 6. Formulación típica para pan de molde	13
Tabla 7. Formulaciones aceptables de pan sin gluten, con harina de quinua y almidón de papa	18
Tabla 8. Formulación de pan sin gluten con empleo harina de granos andinos.....	18
Tabla 9. Formulación de pan con sustitución parcial de harina de algarroba (al 35%) con aplicación de enzima transglutaminasa	19
Tabla 10. Clasificación de las pruebas sensoriales	23
Tabla 11. Parámetros medidos por un Análisis de Perfil de Textura (TPA)	27
Tabla 12. Operacionalización de variables	39
Tabla 13. Clasificación y puntaje para cada pregunta	43
Tabla 14. Formulación porcentual de los ingredientes para la elaboración del pan a base de harinas de algarroba, kiwicha y almidón de papa (650 g por unidad)	48
Tabla 15. Restricciones sobre los ingredientes de la masa principal (%)	49
Tabla 16. Tratamientos obtenidos en el software Design Expert 11.0® de acuerdo con las restricciones establecidas (%)	49
Tabla 17. Composición químico proximal y porcentaje de gluten de las harinas de algarroba, kiwicha y almidón de papa.....	54

Tabla 18. Análisis de varianza (ANVA) de la composición químico proximal de los ingredientes	55
Tabla 19. Prueba de Tukey de la composición químico proximal de los ingredientes	56
Tabla 20. Valores microbiológicos obtenidos en los ingredientes	57
Tabla 21. Resultados experimentales y estimados de firmeza, color y textura sensorial en los tratamientos del pan de molde libre de gluten	58
Tabla 22. Prueba de falta de ajuste de los modelos aplicados a la variable respuesta firmeza	59
Tabla 23. Resumen estadístico de los modelos aplicados a la firmeza	59
Tabla 24. Análisis de varianza (ANVA) del modelo cuártico especial de la variable respuesta firmeza	61
Tabla 25. Prueba de significancia para los coeficientes del modelo de regresión de la firmeza	62
Tabla 26. Prueba de falta de ajuste de los modelos aplicados a la variable respuesta elasticidad	67
Tabla 27. Resumen estadístico de los modelos aplicados a la elasticidad	68
Tabla 28. Prueba de falta de ajuste de los modelos aplicados a la variable respuesta cohesividad	69
Tabla 29. Resumen estadístico de los modelos aplicados a la cohesividad	69
Tabla 30. Prueba de falta de ajuste de los modelos aplicados a la variable respuesta color	70
Tabla 31. Resumen estadístico de los modelos aplicados al color	70
Tabla 32. Análisis de varianza (ANVA) del modelo cúbico de la variable respuesta color	71
Tabla 33. Prueba de significancia para los coeficientes del modelo de regresión del color	72
Tabla 34. Prueba de falta de ajuste de los modelos aplicados a la variable respuesta olor	77

Tabla 35. Resumen estadístico de los modelos aplicados al olor	77
Tabla 36. Prueba de falta de ajuste de los modelos aplicados a la variable respuesta sabor	78
Tabla 37. Resumen estadístico de los modelos aplicados al sabor	78
Tabla 38. Prueba de falta de ajuste de los modelos aplicados a la variable respuesta textura	79
Tabla 39. Resumen estadístico de los modelos aplicados a la textura	80
Tabla 40. Análisis de varianza (ANVA) del modelo cuártico especial de la variable respuesta textura	81
Tabla 41. Prueba de significancia para los coeficientes del modelo de regresión de la textura	82
Tabla 42. Resultados de los análisis de las variables respuesta del pan de molde patrón	87
Tabla 43. Restricciones para la optimización	87
Tabla 44. Tratamiento optimizado obtenido con mayor deseabilidad	88
Tabla 45. Valores microbiológicos obtenidos en el pan de molde optimizado	90
Tabla 46. Composición químico proximal del pan de molde optimizado	91
Tabla 47. Análisis químico proximal del producto final	105
Tabla 48. Reclutamiento de jueces	112
Tabla 49. Datos de la encuesta realizada	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplar de <i>Prosopis pallida</i> en la región Lambayeque.....	03
Figura 2. Frutos de <i>Prosopis pallida</i>	05
Figura 3. Exportación del algarrobo según sus principales mercados del año 2017	07
Figura 4. Ejemplares de kiwicha	08
Figura 5. Exportaciones peruanas de Kiwicha FOB%	10
Figura 6. Diagrama de bloques de elaboración de pan de molde por método directo	16
Figura 7. Ciclos de compresión de un análisis típico TPA	26
Figura 8. Gráfica general de un análisis de perfil de textura	27
Figura 9. Región experimental con $q=2$	30
Figura 10. Región experimental con $q=3$	31
Figura 11. Diseño símplex reticular con a) {3, 2} y b) {3, 3}	32
Figura 12. Diseño símplex reticular aumentado	34
Figura 13. Regiones experimentales con restricciones para $q=3$	35
Figura 14. Representación del óptimo simultáneo (solución de compromiso)	37
Figura 15. Diagrama de bloques de la elaboración de pan de molde libre de gluten por el método directo	45
Figura 16. Ubicación de puntos experimentales de las corridas obtenidas	50
Figura 17. Esquema experimental de la investigación	53
Figura 18. Gráfico de superficie de respuesta tridimensional de la firmeza	66
Figura 19. Gráfico de ploteo de contornos bidimensional de la firmeza	66
Figura 20. Gráfico de trazas de Cox de la firmeza	67
Figura 21. Gráfico de superficie de respuesta tridimensional del color	75
Figura 22. Gráfico de ploteo de contornos bidimensional del color	76

Figura 23. Gráfico de trazas de Cox del color	76
Figura 24. Gráfico de superficie de respuesta tridimensional de la textura	85
Figura 25. Gráfico de ploteo de contornos bidimensional de la textura	86
Figura 26. Gráfico de trazas de Cox de la textura	86
Figura 27. Gráfico de ploteo de contornos bidimensional de deseabilidad	88
Figura 28. Gráfico de ploteo de contornos bidimensional de la zona óptima de la firmeza	89
Figura 29. Gráfico de ploteo de contornos bidimensional de la zona óptima del color	89
Figura 30. Gráfico de ploteo de contornos bidimensional de la zona óptima de la textura	90
Figura 31. “Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería”	100
Figura 32. Resultado del análisis microbiológico de la harina de kiwicha	101
Figura 33. Resultado del análisis microbiológico de la harina de algarroba	102
Figura 34. Resultado del análisis microbiológico del almidón de papa	103
Figura 35. Resultado del análisis microbiológico y proximal del pan de molde optimizado	104
Figura 36. Resultado del análisis químico-proximal de las materias primas	108
Figura 37. Resultados del análisis de determinación del contenido de gluten de la harina de algarroba	109
Figura 38. Resultados del análisis de determinación del contenido de gluten de la harina de kiwicha	110
Figura 39. Panelistas evaluando sensorialmente el pan de molde	111
Figura 40. Cabina personal de evaluación sensorial	112
Figura 41. Formato de encuesta para seleccionar a los panelistas a entrenar	114
Figura 42. Material informativo: Color de pan, olor del pan, sabor del pan y textura del pan.....	115

Figura 43. Formato de prueba de escala hedónica	116
Figura 44. Tratamientos obtenidos para la primera prueba pre-experimental	117
Figura 45. Tratamiento 5 (izquierda) y 7 (derecha) elaborado de la primera prueba pre-experimental	117
Figura 46. Tratamientos obtenidos para la segunda prueba pre-experimental	118
Figura 47. Tratamiento 10 (izquierda) y 6 (derecha) elaborado de la segunda prueba pre-experimental	118
Figura 48. Tratamientos obtenidos para la tercera prueba pre-experimental	119
Figura 49. Tratamiento 2 elaborado de la tercera prueba pre-experimental con 80% (izquierda) y 100% (derecha) de agua.....	119
Figura 50. Pan control	120
Figura 51. Materia prima e ingredientes	121
Figura 52. Mezcla batida y moldeada (izquierda) y fermentación (derecha)	122
Figura 53. Fermentación terminada (izquierda) y horneado (derecha).....	122
Figura 54. Horneado terminado	123
Figura 55. Enfriado	123
Figura 56. Texturómetro Instron modelo 3342	124
Figura 57. Análisis de varianza de la firmeza, elasticidad y cohesividad	125
Figura 58. Análisis de varianza del color, sabor y textura.....	126

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Metodología del análisis microbiológico	100
Anexo 2. Metodología del análisis proximal y determinación del contenido de gluten	105
Anexo 3. Metodología del análisis de perfil de textura	111
Anexo 4. Metodología del análisis sensorial	111
Anexo 5. Pruebas pre-experimentales	117
Anexo 5a. Primera prueba pre-experimental	117
Anexo 5b. Segunda prueba pre-experimental	118
Anexo 5c. Tercera prueba pre-experimental	119
Anexo 6. Pan control	120
Anexo 7. Elaboración de pan de molde	121
Anexo 8. Análisis estadísticos de las variables dependientes en Design-Expert 11.0®	125

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal optimizar las características texturales y sensoriales del pan de molde a base de harinas de *Prosopis pallida*, *Amaranthus caudatus* y almidón de papa, mediante el Diseño óptimo de mezclas, a través del uso del software Design-Expert 11.0®. Para efectos de la investigación, en la primera etapa se realizaron pruebas pre experimentales para establecer las restricciones porcentuales de las harinas de algarroba, kiwicha y almidón de papa, las cuales se definieron en 5-10%, 35-45% y 45-55%, respectivamente. Una vez obtenidas estas restricciones y luego de ser ingresadas al software, se obtuvo los 15 tratamientos a analizar por las variables dependientes, tales como firmeza, elasticidad, cohesividad, color, olor, sabor y textura. Al elaborar y realizar los análisis al producto con la respectiva metodología para cada uno, se obtuvo los resultados, los cuales fueron introducidos en el software para el correspondiente análisis estadístico y determinación de las variables dependientes significativas, las cuales fueron la firmeza, color y textura; la siguiente etapa consistió en realizar dichos análisis al pan control. Para la última etapa, una vez obtenidos estos resultados, se tomaron esos valores como referencia para realizar la optimización del producto en estudio, con los siguientes criterios “Objetivo” para la firmeza de 9,930 N y “En rango” para el color y textura de 3 – 4. Es así, que se obtuvo un tratamiento optimizado con una deseabilidad de 0,693 y los valores estimados de las variables dependientes significativas, los cuales fueron 5% harina de algarroba, 40,536% harina de kiwicha y 54,464% almidón de papa, con una firmeza de 10,272 N, color de 3,3 puntos y textura de 3,0 puntos.

Palabras claves: Optimización de mezclas, pan de molde, harina de algarroba, harina de kiwicha, almidón de papa.

ABSTRACT

The main objective of this research was to optimize the textural and sensory characteristics of bread made from *Prosopis pallida*, *Amaranthus caudatus* and potato starch flours, by means of Optimal Mix Design, using Design-Expert 11.0® software. For the purposes of the research, in the first stage, pre-experimental tests were carried out to establish the percentage restrictions of carob flour, kiwicha flour and potato starch, which were defined as 5-10%, 35-45% and 45-55%, respectively. Once these restrictions were obtained and after being entered into the software, the 15 treatments were obtained to be analyzed by the dependent variables, such as firmness, elasticity, cohesiveness, color, odor, flavor and texture. When the product was elaborated and the analyses were carried out with the respective methodology for each one, the results were obtained, which were entered into the software for the corresponding statistical analysis and determination of the significant dependent variables, which were firmness, color and texture; the next stage consisted of performing these analyses on the control bread. For the last stage, once these results were obtained, these values were taken as a reference to perform the optimization of the product under study, with the following criteria "Objective" for firmness of 9,930 N and "In range" for color and texture of 3 - 4. Therefore, an optimized treatment was obtained with a desirability of 0,693 and the estimated values of the significant dependent variables, which were 5% of carob flour, 40,536% of kiwicha flour and 54,464% of potato starch, with a firmness of 10,272 N, color of 3,3 points and texture of 3,0 points.

Key words: Mix optimization, bread, carob flour, kiwicha flour, potato starch.

INTRODUCCIÓN

La enfermedad celiaca es una patología que afecta a cierta parte de la población en todo el mundo, actualmente en nuestro país existen personas afectadas por esta enfermedad. Esta enfermedad se caracteriza por hacer reacción en las personas ante el consumo de gluten, provocando afección a la mucosa del intestino delgado a causa de la fracción de gliadina del gluten del trigo. Hasta la fecha, el único tratamiento, es la rigurosa exclusión permanente del gluten en la dieta (Pacheco, 2016).

Durante años se han venido realizando distintos estudios con los que se ha descubierto que se pueden elaborar alimentos sin utilizar el gluten del trigo y además sin perder su contenido nutricional; en el año 2010 Schoenlechner , Mandala, Kiskini, Kostaropoulos, y Berghofer, realizaron una investigación titulada: “Efecto del agua, albúmina y grasa en la calidad del pan que contiene el amaranto sin gluten”, en el año 2017 Horstmann, Foschia, y Arendt, con su investigación: “El análisis de correlación de las características de calidad de las proteínas con propiedades de pan sin gluten” y en el 2019 Vidaurre-Ruiz, y otros, en su investigación “Influencia de la goma de tara y goma de xantana en las propiedades reológicas y de textura de la masa y el pan sin gluten a base de almidón”, estas investigaciones demuestran que, fácilmente se puede optar por elaborar productos libres de gluten y a su vez conservar sus propiedades nutritivas.

La harina de *Prosopis pallida* y *Amaranthus caudatus*, ambas harinas libres de gluten, son harinas que fácilmente pueden sustituir a la harina de trigo ya que aportarán un alto valor nutricional para contrarrestar el déficit de nutrientes en los pacientes con este tipo de enfermedad, convirtiéndose en una alternativa tentadora para elaborar productos libres de gluten en el mercado (Prakriti, 2016).

En virtud del problema descrito, en la presente investigación se ha optado por elaborar un pan de molde sin utilizar harina de trigo y que éste a su vez sea de alto valor nutricional, por lo cual la hipótesis pretende optimizar las características texturales y sensoriales del pan de molde a base de harinas de algarroba, kiwicha y almidón de papa, con las siguientes restricciones: $5\% \leq$ Harina de

algarroba $\leq 10\%$, $35\% \leq$ Harina de kiwicha $\leq 45\%$ y $45\% \leq$ Almidón de papa $\leq 55\%$, así, se podrá obtener un pan de molde aceptable texturalmente y sensorialmente y aprobado por los consumidores.

Se tiene como objetivo principal optimizar las características texturales y sensoriales del pan de molde a base de harinas de *Prosopis pallida*, *Amaranthus caudatus* y almidón de papa.

Los objetivos específicos son:

- Caracterizar las harinas de algarroba, harina de kiwicha y almidón de papa mediante análisis proximal y determinación de contenido de gluten.
- Formular ingredientes y determinar parámetros para la elaboración del pan de molde libre de gluten.
- Establecer las características texturales (firmeza, cohesividad y elasticidad) y sensoriales (sabor, olor, color y textura) de los tratamientos obtenidos en el software Design-Expert 11.0®.
- Optimizar el pan de molde a base de harinas de algarroba, kiwicha y almidón de papa comparándolo con el pan control, mediante los resultados de los análisis de las variables respuestas significativas.
- Realizar análisis proximal y microbiológico de mohos (ufc/g), coliformes totales (nmp/g) y *Salmonella sp* (ausencia/25g) a la materia prima y al pan de molde optimizado a base de harinas de algarroba, kiwicha y almidón de papa.

I. MARCO TEÓRICO

1.1 Algarroba

1.1.1 Generalidades

El fruto de algarrobo proviene de un árbol del cual proviene su nombre común. El algarrobo es un árbol que puede desarrollarse con normalidad por encima de los 5 °C y también tolera más de 45 °C, no resiste alteraciones abruptas de temperatura ni inundaciones persistentes. En nuestra región de Lambayeque las condiciones climatológicas favorecen el crecimiento de este árbol, pues las temperaturas mínima y máxima son 22,4 °C y 24,6 °C respectivamente con una precipitación anual de 222,7 mm (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO, s.f.).

El árbol del algarrobo puede alcanzar una altura hasta de 10 metros con un tronco de hasta 65 centímetros de diámetro, recto, y con abundantes ramas ascendentes. Las hojas de 6 a 12 centímetros de largo y con flores amarillas que se disponen en racimos con un largo entre 6 y 17 centímetros (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO, s.f.).

Figura 1

Ejemplar de Prosopis pallida en la región Lambayeque



Nota. Recuperado de Agencia Andina (2021).

1.1.2 Taxonomía

El género *Prosopis* comprende 44 especies repartidas por América, África y Asia dentro de este género se encuentra el árbol del algarrobo. Las especies de *Prosopis* situadas en el continente americano se ubican desde el sud-oeste de Estados Unidos hasta la Patagonia Argentina y Chile. Argentina cuenta con la mayor diversidad de estas especies (Bigne, 2016).

De acuerdo con lo citado por Muro (2017), la clasificación taxonómica de la algarroba se detalla de la siguiente manera:

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Subclase: *Rosidae*

Orden: *Fabales*

Familia: *Mimosaceae*

Género: *Prosopis* L.

Especie: *Prosopis pallida*

La algarroba, específicamente la especie *Prosopis pallida* variedad *pallida* es una legumbre muy dulce, recta o levemente falcada, de color amarillo, semicomprimido y comestible. La vaina tiene una longitud mínima de 16 cm y máxima de 25 cm, un ancho de 8 a 15 mm y un grosor de 4 a 9 mm. Sus semillas son oblongas con un largo máximo de 6,5 mm y un ancho máximo de 5 mm (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO, s.f.).

Figura 2
Frutos de *Prosopis pallida*



Nota. Recuperado de Valor nutritivo del algarrobo, 2022.

1.1.3 Valor nutricional de la algarroba

Facundo (2016), en su tesis menciona que la pulpa del fruto de Algarroba *Prosopis pallida* se compone de 46% sacarosa, 32% fibra dietaria, 8% proteína, 2% azúcares reductores, 0,8% pectinas y 0,8% grasa. Una investigación más completa y reciente, muestra la siguiente composición:

Tabla 1
Composición de la pulpa del fruto de Algarroba (g/100g)

Composición	<i>Prosopis pallida</i>
Agua	14,60
Proteína	5,90
Grasa	2,20
Cenizas	3,60
Carbohidratos totales	75,30
Fibra	13,40
Calcio (mg/g)	28,00
Fosforo (mg/g)	143,00
Hierro (mg/g)	3,20
Tiamina (mg/g)	0,23
Riboflavina (mg/g)	0,14
Niacina (mg/g)	4,10
Ácido ascórbico (mg/g)	11,00

Nota. Adaptado de “Propiedades nutricionales y funcionales del fruto del algarrobo” Lamadrid, 2019.

1.1.4 Harina de algarroba

Según la Norma Técnica Peruana 209.602-2007 (Harina de Algarroba), es un producto obtenido por molienda de vainas de algarroba (*Prosopis pallida*), sanas, previamente lavadas, de las que se han separado el carozo y la mayoría de semillas, y secadas hasta una humedad adecuada que

permita la molienda fina, hasta obtener una harina de granulometría establecida. Tiene un contenido muy alto de azúcares naturales, la proteína principal presente en la harina de Algarroba, es el triptófano, mientras que la gran ausente es la glutenina, proteína formadora del gluten, esto hace que productos elaborados a base de esta harina de Algarroba, sean consumibles también para la población celíaca (Flores, 2019).

A continuación, se muestra el valor nutricional:

Tabla 2

Análisis proximal de Extracto de Algarrobo en polvo (g/100g)

Composición	<i>Prosopis pallida</i>
Valor energético (Kcal/100g)	340,00
Agua	12,50
Proteína	12,00
Carbohidratos	65,80
Grasa	3,20
Cenizas	6,50
Calcio (mg/g)	450,00
Hierro (mg/g)	6,60
Fosforo (mg/g)	617,00
Tiamina (mg/g)	0,18
Riboflavina	0,29
Niacina	2,50

Nota. Adaptado de “*Tablas peruanas de composición de alimentos*”, Reyes et al., 2017, Lima.

1.1.5 Exportación de la algarroba

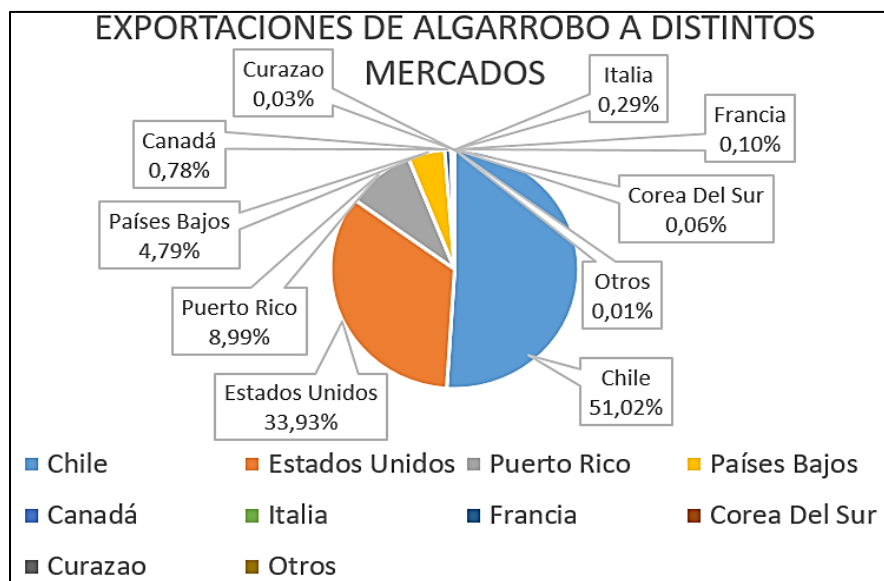
La comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo (PROMPERÚ), da a conocer las exportaciones del producto de algarrobo según sus principales mercados entre los años 2014 y 2017, indicando que, en el último de estos años, el país al que mayor cantidad se le ha exportado, ha sido el país de Chile con un 51,02% del total de las exportaciones en el mercado global.

De acuerdo a los datos de PROMPERÚ, la evolución desde el año 2014 hasta el año 2017 tuvo un aumento significativo de exportación de este producto, en el año 2014 se logró exportar 14866,38 toneladas de algarroba en sus distintas presentaciones (harina, miel, jarabe, extracto, semillas, etc.), en el 2015 y 2016 se exportó en promedio 32444,61 toneladas y en el 2017 se registró una ligera

disminución producto de las lluvias Niño costero, exportando 27201,09 toneladas de algarroba y sus derivados al mercado global.

Figura 3

Exportación del algarrobo según sus principales mercados del año 2017.



Nota. Adaptado de PROMPERÚ, 2018.

1.2 Kiwicha

1.2.1 Generalidades

La kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) es una especie oriunda de los Andes de América, mayormente crece en los valles de la sierra del Perú, Bolivia, Argentina y Ecuador; presenta un elevado porcentaje nutricional con contenidos muy significativos de proteína, carbohidratos, grasa, vitaminas y minerales, por lo que define a la kiwicha como un excelente alimento. *Amaranthus caudatus* L. es una planta que crece en climas tropicales y templados, húmedos y subhúmedos, donde su temperatura ambiente promedio es alrededor de 18° C y la temperatura del suelo óptima para la germinación está alrededor de 18° a 24° C., las altas temperaturas dañan gravemente al cultivo. Temperaturas inferiores a 18°C interfieren en el crecimiento de la planta, por ello la temperatura óptima se encuentra entre los 18 y 20° C (Chamorro, 2018).

Figura 4
Ejemplares de kiwicha.



Nota. Recuperado de Noticias MINAGRI – INIA, 2020.

A continuación, se presentan 3 variedades de especies de *Amaranthus* (Ibarra, 2019):

- *Amaranthus caudatus* L
- *Amaranthus cruentus* L
- *Amaranthus hypocondriacus* L

1.2.2 Taxonomía

Según Ibarra (2019), el amaranto es una planta propia de la familia botánica *Amaranthaceas* y género *Amaranthus*, mostrándose incluida en la siguiente clasificación taxonómica.

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Caryophyllales*

Familia : *Amaranthaceae*

Sub familia : *Amatanthoideae*

Género : *Amaranthus*

Especie : *caudatus*

1.2.3 Valor nutricional de la kiwicha

La kiwicha es un grano que tiene gran cantidad de proteínas, aminoácidos esenciales, calcio, fósforo, hierro, potasio, zinc, niacina, etc. y una serie de características fisicoquímicas que sobrepasan a las características de otro tipo de granos andinos (Huaman et al., 2018).

Tabla 3

Composición química de la kiwicha (g/100)

Componente	Cantidad
Energía (Kcal)	351,00
Agua (g)	9,20
Proteína (g)	12,80
Grasa (g)	6,60
Carbohidratos (g)	69,10
Fibra (g)	9,30
Ceniza (g)	2,30
Calcio (mg)	236,00
Fósforo (mg)	453,00
Hierro (mg)	7,32
Zinc (mg)	2,68
β caroteno (μ g)	57,00
Vitamina A (μ g)	10,00
Tiamina (mg)	0,09
Riboflavina (mg)	0,18
Niacina (mg)	1,58
Vitamina C (mg)	1,30

Nota. Adaptado de “*Tablas peruanas de composición de alimentos*”, Reyes et al., 2017, Lima.

1.2.4 Harina de kiwicha

La harina de kiwicha según MINAGRI es un alimento utilizado como sustituto de la harina de trigo, avena, cebada o centeno, recomendado para las personas intolerantes a este tipo de harinas, además favorece el desarrollo y crecimiento de los niños, su consumo es recomendado durante los primeros años de vida ayudando al desarrollo de las células cerebrales y fortaleciendo la memoria.

Tabla 4

Análisis de la harina integral de kiwicha (g/100g)

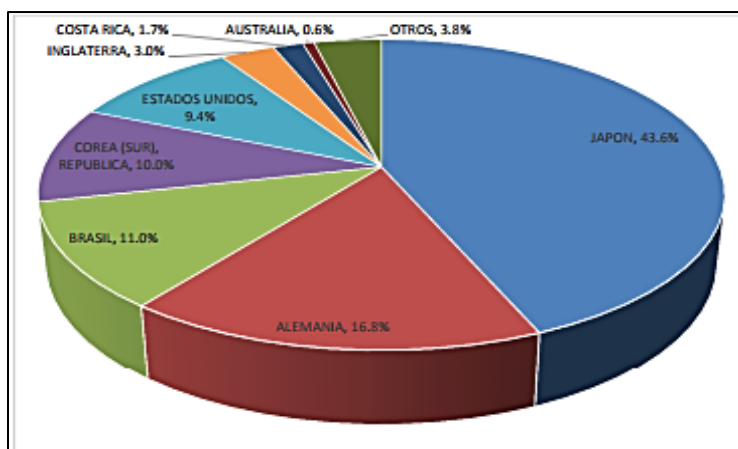
Componente	Cantidad
Humedad	10,9
Proteína	12,2
Grasa	7,9
Fibra dietaria	8,4
Cenizas	2,6
Carbohidratos totales	66,4

Nota. Adaptado de “*Tabla de composición de alimentos*”, Reyes et, 2017.

1.2.5 Exportación de kiwicha

El Perú es un país destacado mundialmente por sus granos y cereales, por ello en el año 2016 sus principales clientes fueron Japón con 43,6% y Alemania con 16,8%, Brasil con 11%, La República de Corea del Sur con 10%, Estados Unidos con 9,4% y Reino Unido con 3%.

Figura 5

Exportaciones peruanas de Kiwicha FOB%.

Nota. Recuperado de Planeamiento estratégico para la industria Arequipeña de la Kiwicha, 2018.

Según datos de Veritrade, Perú posee 79 empresas exportadores de Kiwicha, las cuales el año 2016 han exportado 1047 toneladas, y notificaron US\$ 2,495 millones en ventas. Además, cabe mencionar que cerca del 80% del mercado exportador de Kiwicha prevaleció en 9 empresas. Estas empresas tuvieron sede en Lima; abasteciéndose de las ciudades de Cusco, Junín y especialmente de Arequipa. Acorde con información del MINAGRI, el rendimiento de Kiwicha del 2015 fue de 4836 toneladas, con lo que se puede considerar aproximadamente que la producción del año 2016

fue de 3395 toneladas. En función de ello, la exportación de Kiwicha peruana representó el 30%, aproximadamente, del total producido (Amado et al., 2018).

1.3 Almidón de papa

El almidón es el principal componente presente en las semillas, raíces y tubérculos, también se encuentra en los tallos, hojas y frutos. En la papa el almidón es el componente principal, los gránulos del almidón se hallan libres dentro de las vacuolas celulares y representa del 15 al 28% de su peso (Vargas, 2015).

La amilopectina, amilosa, moléculas intermedias entre la amilosa y la amilopectina, lípidos, monoéster de fosfato y proteínas/enzimas, son componentes que se encuentran presentes en el almidón. Los polisacáridos amilosa y amilopectina son los más abundantes, además el almidón de papa posee alto contenido de fósforo, viscosidad, claridad del gel (Peña, 2017).

1.4 Pan de molde

La Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería RM N° 1020-2010/MINSA.), define al pan de molde como un producto alimenticio hecho en moldes, producido por el horneado de una masa fermentada hecha esencialmente con harina de trigo, agua potable, sal, azúcar, levadura y manteca, pudiendo contener otros ingredientes y aditivos permitidos (ver Tabla 5). Este tipo de pan se conserva mucho más tiempo a diferencia de los otros panes (Tavara, 2015).

Tabla 5

Características fisicoquímicas del pan de molde

Especificaciones	Máximo
Humedad	40% (base húmeda)
Acidez	0,5% (base seca) expresado en ácido sulfúrico
Cenizas	4,0% (base seca)

Nota. Adaptado de “Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería RM N° 1020-2010/MINSA.), 2016, Perú.

1.4.1 Sistema de elaboración de pan de molde

Método Esponja: o «poolish»: Empleado en la elaboración de pan francés y sobre todo en la de pan de molde, se denomina así porque una parte de harina (aproximadamente el 60% - 70% del total) se mezcla con casi toda el agua y la levadura, se forma una masa líquida y luego de la fermentación de entre 5 horas aproximadamente la masa tiene una apariencia parecida a una esponja. La levadura y harina sobrante se mezcla con todos los ingredientes y también con la esponja ya formada hasta conseguir la formación del gluten. En este método se realizan 3 fermentaciones; la primera fermentación dura 40 minutos como máximo, y la masa es dividida en porciones iguales, luego de ello la masa es fermentada por 22 minutos más aproximadamente, prensada, moldeada y finalmente es fermentada por tercera y última vez entre 50-65 minutos antes de pasar al horneado (Pisfil, 2017).

1.4.2 Formulación, insumos y flujograma

Godon et al. (1981, como se citó en Hurtado, 2016) mencionaron que la formulación del pan elaborado con harina de trigo, que habitualmente se emplea, consta de 100 partes de harina de trigo, 60 partes de agua, 2 partes de sal y 2 partes de levadura ecológica. Además, puede contar con otros ingredientes y aditivos como azúcar, leche descremada en polvo, malta, emulsionantes, inhibidores de molde, enzimas y oxidantes.

Tabla 6
Formulación típica para pan de molde

Ingredientes	Sistema de panificación directo
Harina (100%)	100
Agua	66
Levadura fresca	3,0
Sal	2,0
Azúcar	7,0
Manteca vegetal	3,5
Alimento de levadura	0,5
Lecha en polvo descremada	2,0
Emulsificante	0,5
Propionato de calcio	0,2
Ácido ascórbico	100 ppm

Nota. Adaptado de “*Química, almacenamiento e industrialización de los cereales*”, Serna, 1996, México, A.G.T. Editor.

Tavara (2015), nos detalla ciertas características y funciones de cada uno de estos ingredientes utilizados en la panificación:

Harina: Es el ingrediente principal, se encarga sobretodo de formar con el agua la masa elástica encargada de retener los gases formados en la fermentación. La relación entre su buena calidad de la masa depende de la cantidad y calidad de gluten presente en la misma. Es el gluten que brinda la elasticidad de la masa, además de su extensibilidad y cohesividad.; y esto es posible gracias a las proteínas, gliadina y glutenina. Sin embargo, parte de nuestro estudio consiste en añadir con porcentajes adecuados como ingrediente principal a la harina de algarroba y kiwicha, lo que implica requerir de otros ingredientes para conseguir las características típicas de una masa bien desarrollada y por ende un producto terminado característico.

Agua: Componente primordial para disolver los ingredientes de panificación, hidratar e hinchar a los gránulos de almidón, además es importante porque desarrolla y forma la masa con ayuda de la acción mecánica (amasado). Después que la masa se hornea pierde aproximadamente 10% de humedad.

Levadura: La levadura comúnmente utilizada es la *Saccharomyces cereviceae*, ésta fermenta los azúcares sencillos en etanol, bióxido de carbono y energía. Los productos secundarios de la fermentación alcohólica de los azúcares son los que le dan el sabor típico al pan, como los aldehídos y cetonas, otros compuestos responsables de bajar el pH son los ácidos orgánicos.

Los parámetros para regular la fermentación del pan son temperatura de 26-30 °C y humedad relativa superior a 85%. El porcentaje de levadura que se añade en promedio a las formulaciones son 1,8% y 5,3 % de levadura seca y fresca comprimida, respectivamente.

Azúcar: Las tres funciones básicas de este ingrediente son: proporcionar sabor, color y ser el sustrato principal de la levadura. El azúcar usualmente utilizado es la sacarosa, los carbohidratos imparten sabor directa e indirectamente. Este último proceso se debe a los compuestos obtenidos en la fermentación. Una vez la masa fermentada es introducida en el horno es cuando se produce la reacción de Maillard, lo que le otorga el color típico del pan gracias al azúcar contenido.

Sal: Es otro agente saborizante que tiene como función principal contrarrestar el sabor dulce del azúcar o edulcorantes que puedan ser añadidos. También baja ligeramente la actividad de agua del sistema, por esa razón, sirve como agente conservador.

Manteca: Este ingrediente actúa como agente lubricador mejorando el comportamiento de la masa a lo largo de la mezcla, reduciendo el problema de pegajosidad. No obstante, su función primordial es mejorar la textura del pan desarrollando una miga más suave.

Emulsificantes o acondicionadores: Son compuestos químicos con grupos hidrofílicos y lipofílicos. Por ende, funcionan como enlace entre los grupos polares y no polares. Al igual que la manteca, los emulsificantes retrasan las reacciones de retrogradación entre las moléculas de amilosa, de esta manera mantienen la frescura y suavidad del producto. Los emulsificantes más utilizados son la lecitina, estearilo-2 lactilato de sodio y mono/diglicéridos destilados o modificados.

Agentes oxidantes: Intervienen en las propiedades reológicas de la masa, como su capacidad de retención de gases. Los agentes favorecen la formación de enlaces disulfuro, lo que permite a la masa ser más firme y extensible. Así es como mejoran la textura de la masa, además de facilitar el procesamiento de la textura interna durante el horneado.

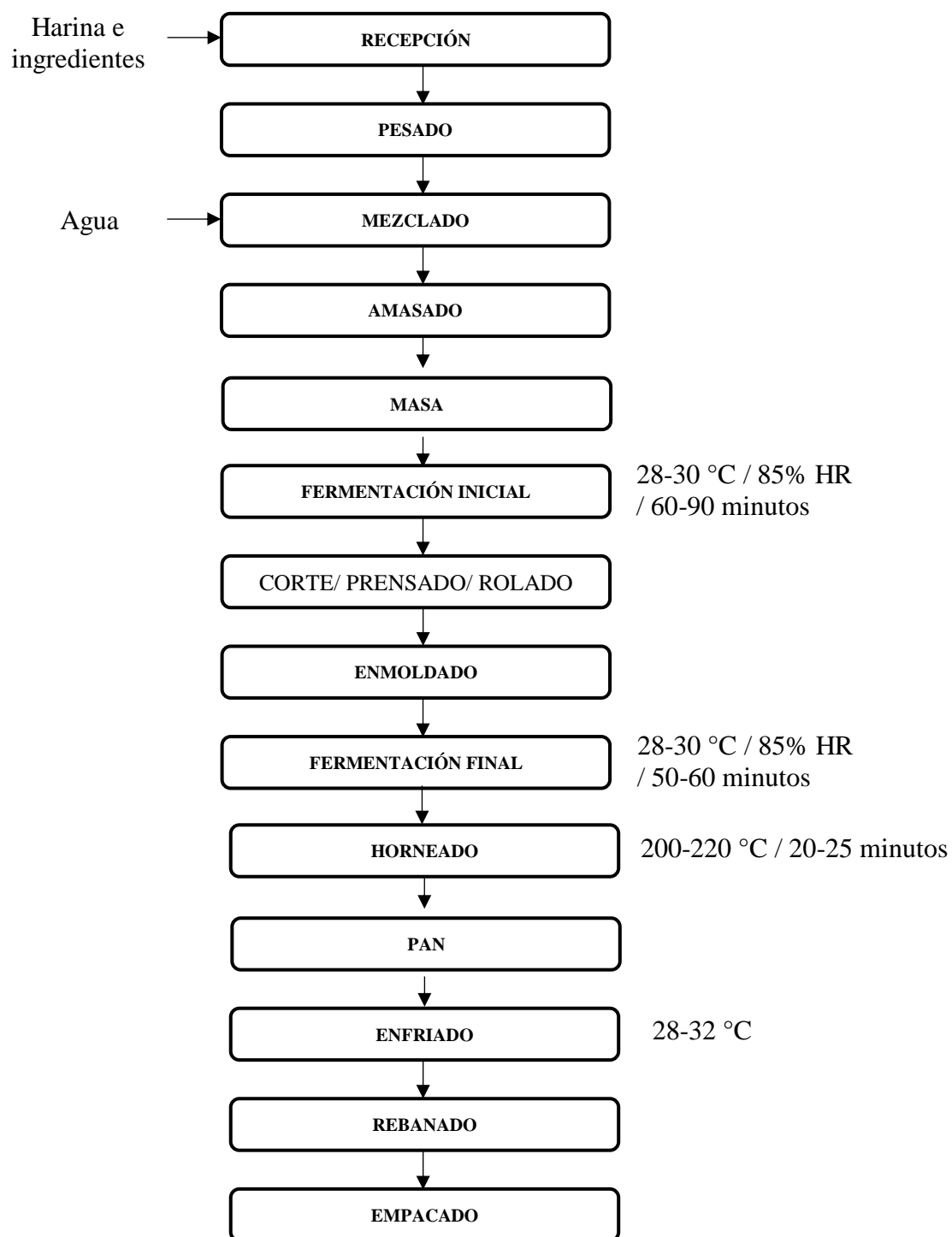
Conservadores: Microbiológicamente, los panes son primordialmente contaminados por hongos del género *Fusarium*, *Aspergillus* y *Penicillium*. Las sales de propionatos (como el propionato de calcio) son los más utilizados, estos tienen la capacidad de inhibir eficazmente a los hongos amilolíticos sin perjudicar el proceso de fermentación. Entre más bajo sea el pH más efectivo serán los conservadores y mayor será el tiempo de vida útil.

Alimento para levadura: Consiste en una mezcla de sales minerales y compuestos nitrogenados que puedan asegurar la activación de la levadura para una correcta fermentación. Los más empleados son el sulfato de amonio, fosfato ácido de calcio, fosfato dicálcico y cloruro de sodio.

Leche en polvo descremada: Este ingrediente incrementa tenuemente la tasa de absorción de agua y mejora considerablemente el color de la corteza del pan (más dorado).

Figura 6

Diagrama de bloques de elaboración de pan de molde por método directo.



Nota. Adaptado de Parra y Valencia, 2017.

1.5 Pan de molde sin gluten

1.5.1 Elaboración

Existen diferentes tipos de formulaciones en la preparación de pan de molde sin gluten, como por ejemplo según Morán y Soledispa (2015) utilizó el siguiente método en el trabajo de investigación del “Efecto de la goma xanthan y la hidroxipropilmetilcelulosa en las características físicas y reológicas del pan de arroz libre de gluten tipo molde”:

Recepción: Se recepciona la materia prima (harinas de algarroba y kiwicha) teniendo en cuenta condiciones de almacenamiento, temperatura, características organolépticas y peso adecuados.

Pre-mezcla: Se realiza una premezcla, harina y agua a 100°C por 5 minutos. Después se enfría la masa hasta 30°C con ayuda de una batidora.

Mezcla: A la pre-mezcla se le añade resto de ingredientes y se sigue batiendo por 2 minutos más.

Moldeado: Se coloca en sus respectivos moldes 200g en cada uno.

Fermentación: Se fermenta en una incubadora a 35°C durante 15 minutos y a una humedad relativa de 100%.

Horneo: Se pre-calienta el horno a 175°C para luego realizar el horneado por 40-50 minutos.

Enfriamiento: Se enfría a temperatura ambiente por 60 minutos y se coloca en bolsas de polipropileno.

1.5.2 Formulación

Llevar a cabo la elaboración de pan sin gluten, muestra ciertos inconvenientes tecnológicos ya que el gluten es un ingrediente importante y elemental en la conformación de la estructura de la miga y su omisión genera pérdidas de las propiedades viscoelásticas y de la capacidad de retención de gases, es por ello que se realizan una serie de formulaciones para evaluar cuál de todas es la más apta y aceptable por el público consumidor, al mismo tiempo evaluar el valor nutritivo y las condiciones principales que debe tener un pan de molde.

Tabla 7

Formulaciones aceptables de pan sin gluten, con harina de quinua y almidón de papa

Código	Harina de quinua		Almidón de papa		Agua		Deseabilidad
	%	Gr	%	gr	%	gr	%
1	33,038	140,41	20	85	46,962	199,59	72
2	21,757	92,47	30,909	131,36	47,333	201,17	69
3	16,883	71,75	35,784	152,08	47,333	201,17	66

Nota. Adaptado de “Elaboración de panes sin gluten utilizando harina de quinua (*Chenopodium quinoa willd.*) y almidón de papa (*Solanum tuberosum*)”, Pacheco, 2016, Perú.

Vidaurre-Ruiz (2020) empleó en su investigación harina de granos andinos en la elaboración de pan libre de gluten, realizando la siguiente formulación:

Tabla 8

Formulación de pan sin gluten con empleo de harina de granos andinos

Ingredientes (% base harina / Almidón)	Almidón de maíz / Goma	Almidón de maíz/ Goma	Almidón de papa / Goma	Almidón de papa / Goma
	xantana	de tara	xantana	de tara
Almidón de maíz	100	100	0	0
Almidón de papa	0	0	100	100
Levadura	3	3	3	3
Azúcar	3	3	3	3
Sal	2	2	2	2
Aceite de soya	6	6	6	6
Goma xantana	0.5	-	0.5	-
Goma de tara	-	0.5	-	0.5
Agua	75	75	75	75

Nota. Adaptado de “Desarrollo de panes libres de gluten con harinas de granos andinos” Vidaurre-Ruiz, 2020, Perú.

En otro estudio, realizado por Bigne (2016), se concluyó que a consecuencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de algarroba en un 35%, se lograron productos con elevado nivel de fibra y minerales, apta calidad tecnológica, además de contar con la aprobación por parte del panel sensorial no entrenado. Cabe resaltar que en este trabajo de investigación se utilizó transglutaminasas, un aditivo que según Caballero et al. (2007, como se citó en Bigne, 2016) potencia el entrelazamiento de la red de gluten, reforzándola y desarrollando por ende una masa más tenaz.

Tabla 9

Formulación de pan con sustitución parcial de harina de algarroba (al 35%) con aplicación de enzima transglutaminasa

Ingredientes	Formulación (g)
Harina de trigo (g)	65
Harina de algarroba (g)	35
Agua (g)	52,4
Margarina (g)	4
NaCl (g)	2
Transglutaminasa	0,1 – 0,01
Levadura (g)	3

Nota. Adaptado de “Aplicación de harina de fruto de algarrobo en el desarrollo de productos panificados saludables”, Facundo, 2016, Argentina.

1.6 Hidrocoloides en panes sin gluten

Los hidrocoloides o gomas, son polímeros hidrófilos de origen vegetal en su gran mayoría, animal, microbiano o sintético (Pacheco, 2016). Diversos investigadores citados por Pacheco (2016) han mencionado varias funciones de este aditivo, por ejemplo: Armero y Collar (1996), mencionaron que este aditivo es comúnmente empleado para enriquecer la textura de los alimentos y sus propiedades viscoelásticas; Davidou (1996) indicó que pueden frenar la retrogradación del almidón y Toufeili et al. (1994) enfatizó en que los hidrocoloides funcionan como sustituto del gluten en la formación de esta clase de panes.

Brites (2018), menciona que los hidrocoloides provienen de una gran gama de algas (carrageninas y alginatos), bacterias (goma de xantana), cítricos y manzanas (pectina), extractos de semillas (goma de guar y goma de algarroba), exudados de plantas (goma arábica) y derivados de celulosa (carboximetilcelulosa, hidroxipropilmetilcelulosa y celulosa microcristalina), además tienen la gran capacidad de absorber hasta 100 veces su peso en agua, puede funcionar también como retenedor de humedad y formador de geles muy viscosos.

Tsatsaragkou et al. (2016, como se citó en Vidaurre-Ruiz, 2020), menciona que las gomas tienen un gran impacto sobre las propiedades del pan, como la textura, estabilizando la estructura de la

masa; liberación de aroma y apariencia, esto contribuye a la aceptabilidad del producto y su prolongación de vida útil.

1.6.1 **Goma xantana**

Definido como polisacárido y obtenido por bacterias del género *Xhantomonas campestris*, es soluble en agua fría, estable en un extenso rango de pH y a la presencia de sales alcalinotérreas. Esta goma en singergia con la goma garrofin, se obtiene estructuras de gel flexible, y asimismo con la goma guar, en esta situación incrementando la viscosidad del producto (Pacheco, 2016).

Martínez (2010, como se citó en Gutierrez, 2015), menciona que esta goma es el ingrediente que sustituye las funciones del gluten dentro de la elaboración del pan sin gluten, a causa de la capacidad de absorción de agua, de viscoelasticidad y de termo-coagulación.

Según Aurica (2015), en su tesis indica que la elaboración de pan hecho de almidón de papa y harina de maíz (20-80%, respectivamente) libre de gluten con una concentración del 1% de goma xantana, fue la mejor opción pues incrementó el volumen del producto y le confirió una textura más suave en comparación a otras concentraciones.

Pacheco (2016), propone que la proporción de esta goma al 0,5% en la preparación de pan a base de harina de quinua y almidón de papa (33,04-20%, respectivamente), es una formulación óptima.

1.6.2 **Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC)**

Es una goma sintética producto de una modificación de celulosa, la cual es más soluble en agua fría que en caliente, su estabilidad se encuentra en un pH de 2-13. En la industria panadera, esta goma, gracias a su propiedad hidrofílica, puede actuar como emulsificante y espesante, aumentando a su vez la humedad en la miga. Este aditivo sintético, mejora el volumen del pan puesto que al hidratar sus cadenas expuestas a temperaturas de horneado presenta una fuerte interacción, consecuentemente se establece una cadena temporal, que se desintegra al tiempo que el producto se enfría, haciendo mayor su expansión (Morán y Soledispa, 2015).

Según Morán y Soledispa (2015), la HPMC a una concentración del 2% en la preparación de pan a base de harina de arroz (100%) tipo molde, fue la alternativa que presentó mejores resultados, ya que formaron una red suficientemente fuerte para contener el gas durante la fermentación, presentando un aumento en el volumen y una textura al tacto más suave.

1.6.3 Goma tara

Polisacárido soluble en agua con forma de polvo, de color blanco, no tiene sabor y forma geles viscosos cuando es mezclado con agua, proviene de una planta cuyo nombre científico es *Caesalpinia spinosa*, nativa de la región de Huánuco, proviene del endospermo molido de la semilla de Tara. Las gomas de Tara están clasificadas dentro del Codex Alimentarius con el N° 417 del Sistema Internacional de Numeración. En el continente europeo aparece como E417. La industria alimentaria la emplea como estabilizante, emulgente o espesante y a pesar de que no hacen ningún aporte al aroma, sabor o contenido nutricional de los alimentos, pueden incurrir en su aceptabilidad mejorando las propiedades de textura o consistencia (Valverde et al., 2014).

Valverde et al. (2014), concluyen en su tesis que la adición de goma de Tara a un nivel de 0,5%, incrementó la absorción de agua en el amasado, la extensibilidad de la masa se vio reducida e incrementó la tenacidad. En el producto terminado mejoró las dimensiones, el volumen y la densidad de los panes, disminuyó la firmeza, mejoró también la suavidad y esponjosidad y retrasó además la variación de humedad en los días de almacenamiento.

1.7 Evaluación sensorial

El análisis sensorial es una disciplina científica empleada para analizar e interpretar aquellas características de los alimentos donde participan panelistas, quienes utilizan los sentidos para valorar las características sensoriales y la aceptabilidad de los alimentos (Osorio, 2018).

1.7.1 Condiciones generales para el desarrollo de la prueba sensorial

- Tener un área exclusiva, donde se eviten las distracciones y se puedan controlar todas las condiciones; de manera que permita realizar las evaluaciones sin ninguna interferencia.
- Contar con una buena iluminación de preferencia colocar lámparas fluorescentes, ya que éstas no generan demasiado calor y permiten una mayor estandarización.
- Realizar las pruebas preferentemente al finalizar la mañana y la media tarde, ya que la hora del día en que se desarrollan las pruebas influyen en los resultados.
- Las muestras deben ser servidas a la temperatura que son normalmente consumidas.
- Proporcionar el tamaño y número de muestras suficientes para cada evaluación.
- Las muestras tienen que ser correctamente etiquetadas y presentadas aleatoriamente, a fin de que los jueces no puedan identificar su identidad, además deben ser servidas de manera uniforme, del mismo tamaño y color de tal manera que no impartan gusto u olor a las muestras.
- Los alimentos que tiene sabores intensos deben ser presentados con ciertos alimentos que sirvan como medio para degustar otros alimentos o aditivos alimentarios que no pueden ser consumidos solos.
- Tener una muestra patrón para posibilitar una adecuada utilización de las escalas de puntuación en las pruebas, de esta manera se facilitará el análisis y calibración del juez.

1.7.2 Jueces

Son personas que conformaran el panel de las pruebas de evaluación sensorial, las cuales deben recibir un entrenamiento adecuado ya que de ellos depende en buena medida el éxito y validez de

las pruebas. Los tipos de jueces son:

Juez experto: Es quien que tiene vasta experiencia en probar un específico tipo de alimento, además tiene gran sensibilidad para percibir y distinguir cada una de las características del alimento.

Juez entrenado: Es quien tiene habilidad para detectar alguna propiedad sensorial o algún sabor o textura en singular, además de haber recibido algún conocimiento teórico y práctico a cerca de la evaluación sensorial.

Juez semientrenado: Es aquella persona que solo participa en pruebas discriminativas simples, las cuales no requieren una definición precisa de términos o escalas.

Juez consumidor: Son quienes usualmente son tomados al azar, ya sea en la calle, tienda, colegios, etc.

1.7.3 Clasificación de pruebas sensoriales

Tabla 10

Clasificación de las pruebas sensoriales

Clasificación de las pruebas sensoriales				
Pruebas	Tipos y sub-clasificaciones			
PRUEBAS ANALÍTICAS	Discriminatorias	Diferenciación	Pareada	
			Dúo-trío	
			Triangular	
			Ordenamiento	
			Comparación múltiple	
		Sensibilidad	Prueba de umbral	
			Dilución	
	Descriptivas	Escalares	Ordinal	
			De categoría o intervalo	
			Estimación de magnitud	
		Tiempo e intensidad		
		Perfil de sabor		
PRUEBAS AFECTIVAS	Aceptación	Perfil de textura		
		Análisis cuantitativo descriptivo		
		Muestra simple		
	Preferencia	Pareada		
		Ordenamiento		
	Escalares	Escala hedónica		
		Escala de actitud		

Nota. Adaptado de Osorio, 2018.

1.8 Evaluación sensorial del pan

Los análisis sensoriales a los que es sometido el pan generalmente se perciben mediante los sentidos y mediante algunos atributos y pruebas mencionadas a continuación (Medina, 2013):

1.8.1 Atributos de color

El color es una de las pruebas más importantes en la evaluación sensorial del pan. Existen colorímetros especialmente diseñados para alimentos, que nos permite saber de manera más precisa las características del color que debe tener un pan de acuerdo al tipo de pan a elaborar. El color de la miga va de blanco crema hasta marrón claro, va de acuerdo al tipo de harina que se utilice, mientras que el color de la corteza está relacionado a las reacciones de Maillard y de caramelización, que producen compuestos que impactan en el color y al aroma del pan.

1.8.2 Atributos de olor

El olor del pan es otro de los factores más importantes durante la evaluación sensorial. El pan debe presentar ciertas características propias del tipo de harina a utilizar, así como también debe presentar olor a levadura y olor característico del producto elaborado.

1.8.3 Atributos de textura

La textura del pan influye mucho en la aceptación de un producto, debido a que es pan de molde debe tener una textura y apariencia suave. El pan adicionalmente de la suavidad debe tener firmeza y no ser susceptible al desmoronamiento ni a ser pegajoso.

La cantidad de agua agregada a la masa influye en la textura final de la miga del pan.

1.8.4 Pruebas de aceptabilidad (escala hedónica)

Con esta prueba se quiere obtener más información de la aceptación de los productos elaborados, por ello son instrumentos para medir las sensaciones producidas ya sean placenteras o desagradable.

1.9 Enfermedad celiaca

Es un trastorno sistémico ocasionado por la ingesta de gluten y proteínas similares que perjudican a los individuos genéticamente susceptibles. Este trastorno genera daño en la mucosa del intestino delgado, así como también reduce o produce una mala absorción de nutrientes como hierro, calcio, vitaminas y ácido fólico (Prakriti, 2016).

El factor principal que desencadena este trastorno es la ingesta de gluten de trigo que tiene dos familias de proteínas, las gliadinas y gluteninas, éstas llevan el nombre genérico de prolaminas por su elevado contenido en prolina (20%) y glutamina (38%).

Estas proteínas tienen fragmentos de aminoácidos tóxicos para el paciente celíaco. Dichos fragmentos además se encuentran presentes en las proteínas del centeno, cebada (hordeínas) y avena (aveninas) (Polanco, 2013).

1.10 Análisis de perfil de textura (TPA)

La textura de un alimento determina en gran medida la calidad de este. Es un atributo muy utilizado en la industria alimentaria para evaluar la aceptabilidad (Torres et al., 2015).

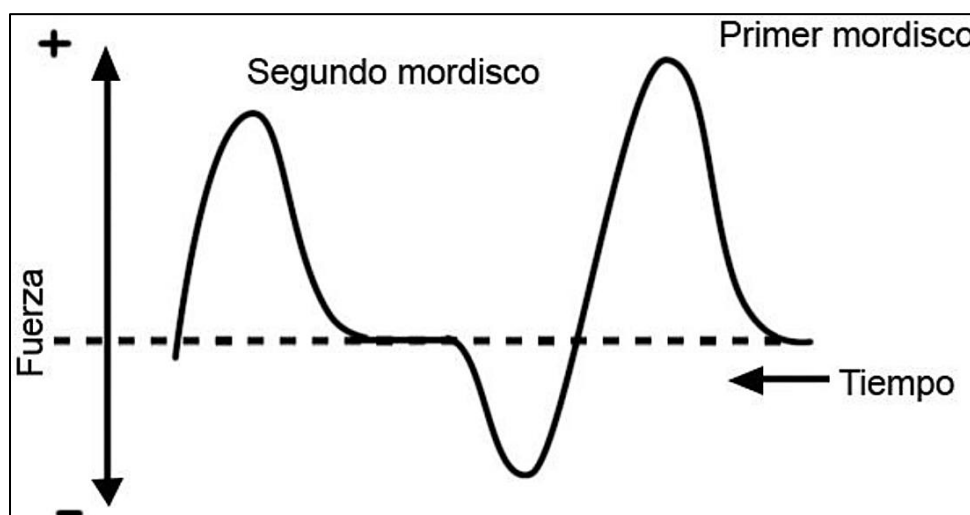
Hernández y Duran (2012, como se citó en Inga y Gonzáles, 2018), mencionan que en la textura de la miga interesan las propiedades mecánicas de firmeza y elasticidad, las cuales son relacionadas a menudo con la masticabilidad, agrega tres parámetros más que están involucrados en la textura como cohesividad, viscosidad y adhesividad.

El análisis de perfil de textura realiza la identificación de la textura mediante la imitación de la masticación de la mandíbula sobre un alimento, este análisis se considera multiparamétrico según lo mencionado por Roudot (2004, como se citó en Lavy, 2016). El texturómetro es el equipo ampliamente utilizado para realizar el análisis de perfil de textura. Rosenthal (2001, como se citó en Lavy, 2016), indicó que el texturómetro de *General Foods* (empresa creadora de este análisis) llevó acabo el estudio en cuestión, utilizando un émbolo acabado plano que hacía contacto con la

muestra, la que tenía una altura de 0,5 pulgadas (1,27 cm). El análisis consistía en dos ciclos de compresión ejercidos por el émbolo a una rapidez de 42,5 pulgadas por minuto y en donde se medía el esfuerzo desarrollado en la muestra a medida que esta era comprimida. Entre la primera y segunda compresión se esperó un determinado tiempo para permitir a la muestra volver a su estado original. La resistencia durante la deformación de la muestra fue anotada en ambos ciclos de “mordida”. La Figura 7 exhibe una curva ejemplar de un análisis de perfil de textura de esfuerzo-deformación diferenciando la primera y segunda compresión.

Figura 7

Ciclos de compresión de un análisis típico TPA.



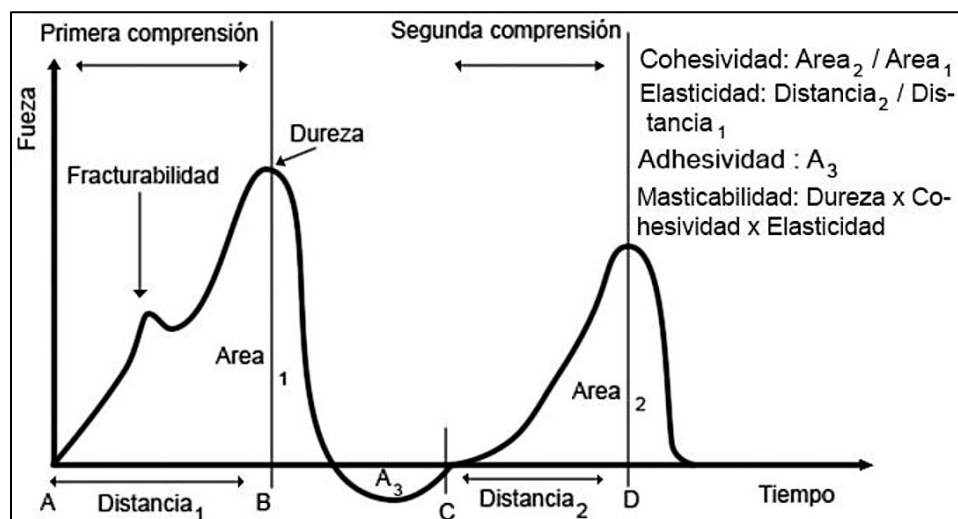
Nota. Recuperado de Rosenthal (2001), citado en Lavy , 2016.

1.10.1 Parámetros del análisis del perfil de textura

El gráfico anterior muestra curvas donde se puede conseguir una simulación del esfuerzo de la mandíbula al morder, dando a conocer el comportamiento del alimento con respecto a la fuerza aplicada (Torres et al., 2015). Actualmente, la manera de interpretar la curva TPA ha ido evolucionando con los años desde su origen, hoy en día se obtienen lecturas de más parámetros utilizando esta curva típica de un análisis TPA (Lavy, 2016). Los demás parámetros mencionados anteriormente como firmeza o dureza, cohesividad, elasticidad, adhesividad y masticabilidad se exponen gráficamente en la Figura 8 y se describen en la Tabla 11.

Figura 8

Gráfica general de un análisis de perfil de textura.



Nota. Recuperado de De la Ossa y Rivera (2012), citado en Lavy, 2016.

Tabla 11

Parámetros medidos por un Análisis de Perfil de Textura (TPA)

Parámetro	Definición	Unidades
Fracturabilidad	Es la fuerza requerida para la primera ruptura (primer pico).	Newton (N)
Dureza (también llamada firmeza)	Es el valor de la fuerza máxima conseguida luego de la primera compresión (segundo pico). Fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares.	Newton (N)
Elasticidad	La extensión a la que un alimento comprimido vuelve a su tamaño original cuando se retira la fuerza.	Milímetro (mm)
Adhesividad	El trabajo necesario para retirar el alimento de la superficie. Corresponde al área de la curva ubicada bajo el eje de abscisas.	Joule (J)
Cohesividad	La fuerza que los enlaces internos hacen sobre el alimento. Se obtiene como el cociente entre el área del segundo pico y el primer pico.	Adimensional
Fragilidad	La fuerza a la que el material se fractura. Los alimentos frágiles nunca son adhesivos.	-
Masticabilidad	La energía necesaria para masticar un alimento sólido hasta que está listo para ser tragado.	Newton (N)

Gomosidad	La energía necesaria para desintegrar un alimento semisólido de modo que esté listo para ser tragado.	Newton (N)
-----------	---	------------

Nota. Rosenthal (2001) y Roudot (2004), citado en Lavy, 2016.

El análisis de perfil de textura realizado mediante un texturómetro, es el método más convencional que se ha podido utilizar, cuenta con un software para cálculos de cada parámetro descrito anteriormente. Con un diseño muy compacto y ligero, adicionalmente de que presenta múltiples opciones de celdas para diversos tipos de experimentos, haciéndolo así más rentables que al utilizar otros equipos. Los resultados son impresos de forma rápida, transferidos a otro dispositivo como una computadora para ser analizados al instante, además en programas como, por ejemplo, Microsoft Excel. Gracias a este gran avance, se puede introducir esta metodología como un medio de ensayo para la gestión del aseguramiento de la calidad en la importante industria alimentaria (Torres et al., 2015).

1.11 Diseño de experimentos con mezclas

1.11.1 Generalidades

A lo largo de los años, investigadores han utilizado varios métodos de análisis y diseño de experimentos para evaluar el efecto que tienen las proporciones de los elementos constituyentes de una formulación sobre distintas variables de respuesta, las cuales son las que se desean optimizarse, con la finalidad de obtener un producto ajustado a los valores deseados para cada variable.

La finalidad de un experimento con mezclas mencionados por Gutiérrez y De La Vara (2012) son:

- Determinar cuáles componentes de la mezcla o interacciones entre ellos tienen mayor impacto sobre una o varias respuestas de interés (variables de respuesta).
- Modelar las respuestas de interés de acuerdo con las proporciones de los componentes de la mezcla.
- Usar dichos modelos para determinar qué porcentaje debe participar en cada componente para lograr que la fórmula tenga las propiedades deseadas.

El diseño de experimentos con mezclas es un método en el que los factores son los elementos o ingredientes de una mezcla, al mismo tiempo, los niveles de estos factores no son autónomos, es decir, la suma de estos siempre representará el 100% de la mezcla. Además, las variables de respuesta están sujetas a las proporciones con las que participa cada componente y no de la cantidad de la misma (Gutiérrez y De la Vara, 2012).

Por tanto:

$$0 \leq X_i \leq 1 ; \text{ para } i = 1, 2, 3, \dots, q$$

Y

$$\sum_{i=1}^q x_i = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_q = 1 \text{ (o sea, 100\%)}$$

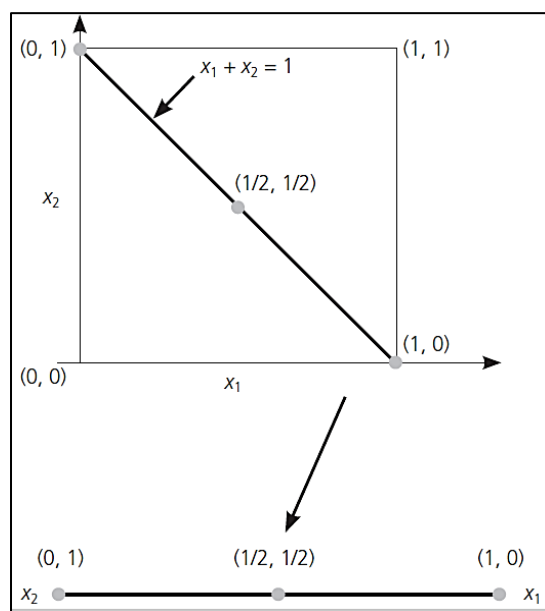
Las proporciones de esta restricción señalan que cada una deben tomar valores entre cero y uno y que además las sumas de todas deberán ser la unidad (100%), aquí se halla la diferencia entre este tipo de experimento con los diseños de experimentos factoriales y los diseños de superficie de respuesta comunes, ya que al incrementar la proporción de un componente inevitablemente disminuye la proporción de los demás componentes, mientras que en los otros tipos de experimentos los niveles de los factores son totalmente independientes. Por otro lado, hay investigaciones donde frecuentemente la región experimental está restringida en ciertos rangos debido a restricciones físicas o conocimientos teóricos, es así que uno o más componentes suelen tomar valores reducidos entre 20 y 40% (Gutiérrez y De la Vara, 2012).

1.11.2 Tipos de diseños de mezcla

El diseño *simplex reticular* (*simplex lattice*) es uno de los tipos más básicos de los diseños de experimentos con mezclas, las restricciones pueden mostrarse gráficamente en la Figura 9 y Figura 10 para $q=2$ y $q=3$ componentes respectivamente, usando $q-1$ dimensiones.

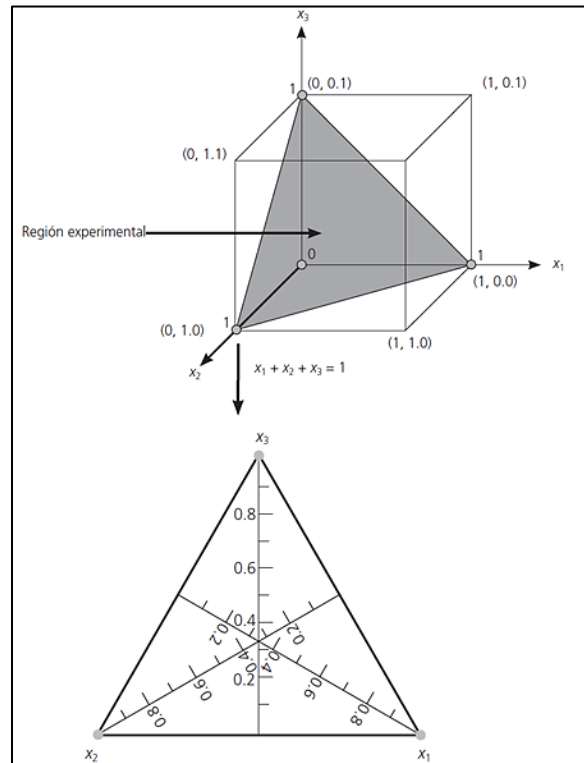
Para dos componentes, el espacio de los dos factores en el diseño está incluido por todos los valores de los dos componentes que estén situados sobre el segmento de recta $x_1 + x_2 = 1$, con cada componente siendo acotado por 0 y 1. Para tres componentes, el espacio de la mezcla es un triángulo equilátero, donde los vértices representan las mezclas puras (mezclas que son 100% de un solo componente) y los lados representan la ausencia del componente situado en el vértice opuesto. Las líneas graduadas indican un incremento de 10% para cada componente (Montgomery, 2004).

Figura 9
Región experimental con $q=2$.



Nota. Recuperado de Gutiérrez y De la Vara, 2012.

Figura 10

Región experimental con $q=3$.

Nota. Recuperado de Gutiérrez y De la Vara, 2012.

Montgomery (2004) refiere que, en un diseño *simplex reticular* $\{q, m\}$ para q componentes, se cumple que las proporciones asumidas por cada componente tomarán los $m+1$ valores que están separados entre 0 y 1, dados por:

$$x_i = 0, \frac{1}{m}, \frac{2}{m}, \dots, \frac{m}{m} \quad ; \quad i = 1, 2, 3, \dots, q$$

Y se usan todas las mezclas posibles de las proporciones. En general, la cantidad de puntos en un diseño *simplex reticular* $\{q, m\}$ es:

$$N = \frac{(p + m - 1)!}{m! (p - 1)!}$$

Por ejemplo, en un diseño *simplex reticular* $\{3, 2\}$, los valores que pueden tomar los componentes son $x_i = 0, 1/2, 1$. Formando así los siguientes 6 valores:

$$(x_1, x_2, x_3) = (1, 0, 0); (0, 1, 0); (0, 0, 1); (1/2, 1/2, 0); (1/2, 0, 1/2); (0, 1/2, 1/2)$$

Donde las primeras tres mezclas representan mezclas puras y las demás, mezclas binarias. La representación gráfica de este diseño se expone en la Figura 11.

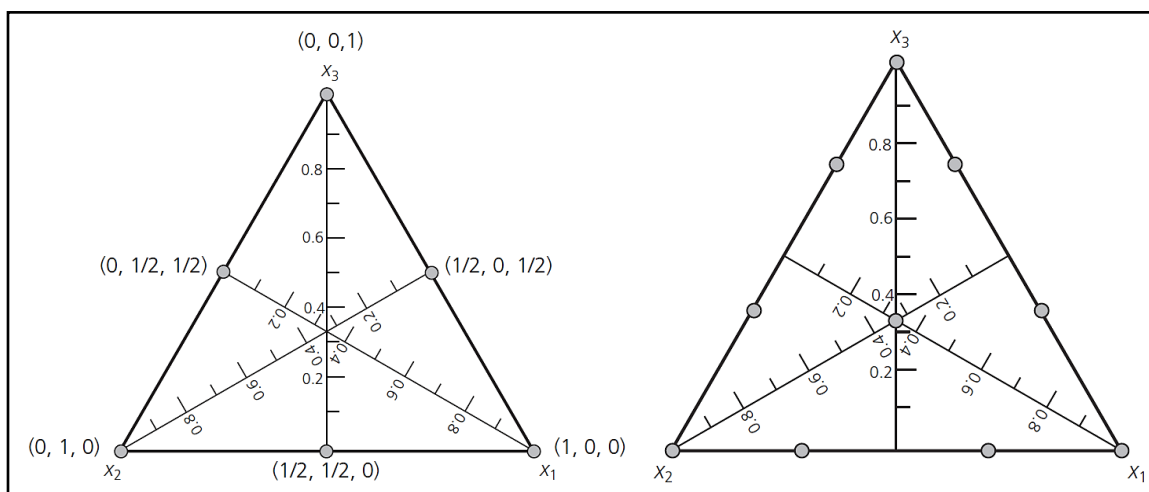
En un diseño *simplex reticular* $\{3, 3\}$, los valores que pueden tomar los componentes son $x_i = 0, 1/3, 2/3, 1$. Formando así los siguientes 10 valores:

$$(x_1, x_2, x_3) = (1, 0, 0); (0, 1, 0); (0, 0, 1); (2/3, 1/3, 0); (2/3, 0, 1/3); (0, 2/3, 1/3); (1/3, 2/3, 0); (1/3, 0, 2/3); (0, 1/3, 2/3) \text{ y } (1/3, 1/3, 1/3)$$

La representación gráfica de este diseño se expone en la Figura 11, aquí se detalla especialmente un punto denominado centroide el cual representa una mezcla ternaria para este diseño $\{3, 3\}$, el cual, para Montgomery (2004), esta es una alternativa del diseño *simplex reticular*, llamada diseño *simplex reticular con centroide*, donde para q componentes habrán $2^q - 1$ puntos dentro de la región experimental.

Figura 11

Diseño *simplex reticular* con a) $\{3, 2\}$ y b) $\{3, 3\}$.



Nota. Tomado de Gutiérrez y De la Vara, 2012.

Una desventaja de los diseños *simplex* descritos anteriormente es que la mayoría de las corridas (puntos experimentales) se encuentran básicamente en la frontera de la región incluyendo solamente $q-1$ de los q componentes. Es así, que es normal incrementar las corridas de los diseños

simplex reticular o *con centroide* con puntos adicionales que estarán ubicados dentro del área donde las mezclas estarán conformadas por la totalidad de los q componentes (Montgomery, 2004). En particular se sugiere agregar el centroide global (si el centroide no es ya un punto del diseño) y las combinaciones situadas a través de los vértices y el centroide, estas últimas también llamadas corridas axiales, en ocasiones a estos puntos se les llama mezclas de verificación axial, porque se suelen excluir al ajustarse el modelo preliminar de la mezcla y usar luego las respuestas en estos puntos axiales para verificar la adecuación del ajuste del modelo preliminar (Montgomery, 2004). Según Cornell (2011), los modelos polinomiales canónicos que se usan para el diseño de experimentos con mezclas son:

Modelo lineal,

$$n = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i$$

Modelo cuadrático,

$$n = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j} \sum_{j=1}^q \beta_{ij} x_i x_j$$

Modelo cúbico completo,

$$n = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j} \sum_{j=1}^q \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i < j} \sum_{j=1}^q \delta_{ij} x_i x_j (x_i - x_j) + \sum_{i < j} \sum_{j=1}^q \sum_{k=1}^q \beta_{ijk} x_i x_j x_k$$

Modelo cúbico especial,

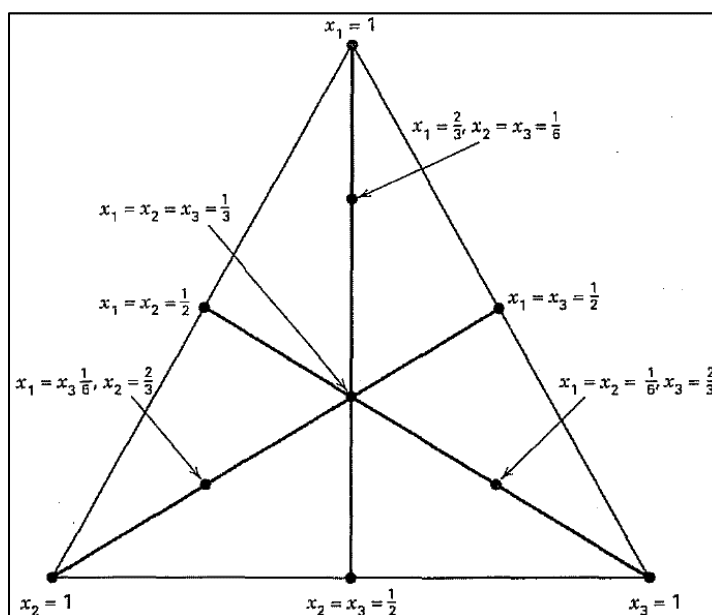
$$n = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j} \sum_{j=1}^q \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i < j} \sum_{j=1}^q \sum_{k=1}^q \beta_{ijk} x_i x_j x_k$$

En estas 4 ecuaciones, el parámetro β_i representa la respuesta esperada para la mezcla pura $x_i = 1$ y $x_j = 0$ cuando $i \neq j$. A la porción $\sum_{i=1}^q \beta_i x_i$ se le nombra porción de mezcla lineal. Los

parámetros β_{ij} representan una mezcla que puede ser sinérgica o antagónica, esta aparece cuando se presenta una curvatura procedente de una mezcla no lineal entre pares de componentes. Y por último los términos de órdenes superiores usualmente son requeridos en los modelos para mezclas porque los fenómenos evaluados pueden ser complejos y, además, el área experimental usualmente es la región de operabilidad completa, la cual es amplia, entonces necesita un modelo elaborado (Montgomery, 2004).

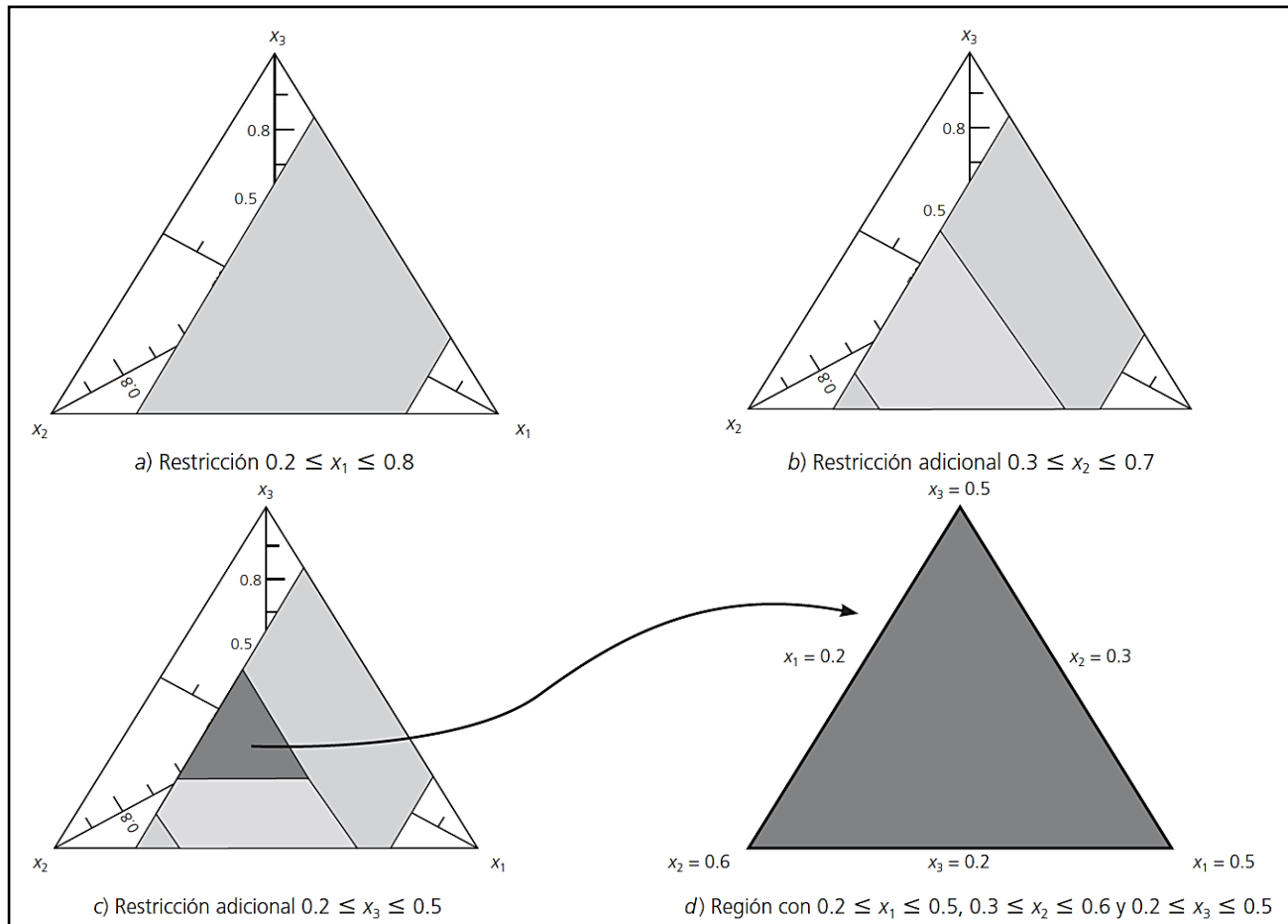
Figura 12

Diseño símplex reticular aumentado.



Nota. Montgomery, 2004.

Figura 13
Regiones experimentales con restricciones para $q=3$.



Nota. Tomado de Gutiérrez y De la Vara, 2012.

1.11.3 Diseño de mezclas con restricciones

Existen varios factores que obligan al investigador a restringir la proporción de uno o más componentes dentro de su diseño. Gutiérrez y De la Vara (2012) señalan a este diseño de mezclas con restricciones de la siguiente forma:

$$0 \leq a_i \leq x_i \leq b_i \leq 1$$

Donde a_i es el límite mínimo para el elemento x_i de la mezcla, y b_i , el límite máximo. Estas restricciones serán graficadas en una subregión del simplex. Cabe mencionar que, a medida que se restrinjan los componentes, implícitamente se asignarán otras restricciones al resto de componentes de la mezcla. Por ejemplo, si tenemos una mezcla con tres componentes, y al primero x_1 se le

delimita por $0,2 \leq x_1 \leq 0,8$, al segundo componente x_2 por $0,3 \leq x_2 \leq 0,7$ y por último al tercer componente x_3 por $0 \leq x_3 \leq 0,5$, las subregiones se irán reduciendo cada vez más sucesivamente desde la primera restricción impuesta hasta la última. Este ejemplo se detalla en la Figura 13 (Gutiérrez y De la Vara, 2012).

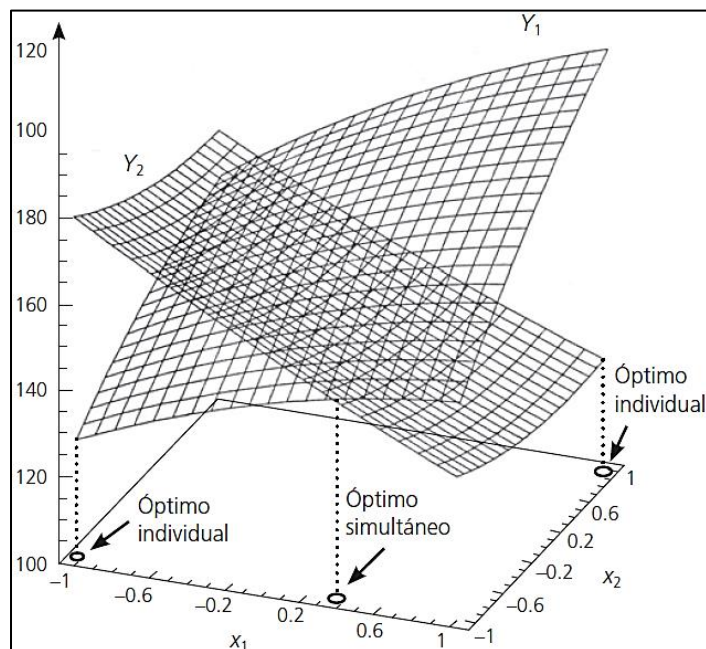
Para este ejemplo, se tiene que la subregión experimental resultante tiene la forma regular de un triángulo equilátero parecida al simplex completo, eso generalmente no sucede, de lo contrario, lo que sí sucede, es que suele resultar un polígono irregular, para este caso es ineludible recurrir a diferentes diseños considerados comúnmente en los sistemas computacionales. Uno de estos, el llamado *D*-óptimo, este criterio escoge puntos de una lista de puntos candidatos, de manera tal que las varianzas de los coeficientes de regresión en el modelo son disminuidas (Gutiérrez y De la Vara, 2012).

1.11.4 Optimización en diseño de mezclas

Si queremos mejorar la calidad de un alimento, por ejemplo, es necesario tener en cuenta todas las propiedades de este, de otro modo, si solo mejoramos una propiedad simultáneamente podríamos estar ejerciendo un efecto antagónico en otra propiedad, lo cual resultará finalmente en un alimento no optimizado. Es por ello que la optimización debe recaer sobre todas las respuestas de interés en cuanto sea posible. Esta optimización (simultánea), tiene un problema particular, y es que, los óptimos individuales (valores óptimos para cada respuesta) no caen en la misma combinación de los factores de control (x_1, x_2, \dots, x_i). Esto hace necesario buscar una “solución de compromiso o óptimo simultáneo” (ver Figura 14), en la que todas las variables de respuesta tengan un nivel satisfactorio, según lo establecido en los objetivos posibles (maximizar, minimizar, objetivo, dentro del rango, ninguno o establecer valor exacto, este último solo para factores) (Gutiérrez y De la Vara, 2012).

Figura 14

Representación del óptimo simultáneo (solución de compromiso).



Nota. Tomado de Gutiérrez y De la Vara, 2012.

Normalmente para realizar una correcta optimización, se debe estimar un modelo cuadrático completo, pero no necesariamente tiene que ser así, se sugiere que sean “modelos jerárquicos”, o sea, por cada término cuadrático en el modelo, este debe incluir los términos más sencillos que se pueden formar con los factores involucrados. Además, es preciso verificar que el coeficiente de determinación R_{adj}^2 de cada modelo sea de mínimo 70%. Existen aquí 2 métodos, el de optimización numérica (función de deseabilidad) y gráfica, tanto el segundo como el primero necesitan del conocimiento de especificaciones para cada una de las variables de respuesta (Gutiérrez y De la Vara, 2012).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Lugar de ejecución

La producción del pan de molde fue llevada a cabo en el Ambiente de Panificación y la evaluación sensorial se ejecutó en el Laboratorio de Alimentos “A”, ambos pertenecientes a la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, distrito de Lambayeque.

Los análisis químico-proximales y microbiológicos fueron realizados por el servicio del Laboratorio de análisis fisicoquímicos y microbiológicos “MICROSERVILAB”, distrito de Lambayeque.

El análisis de perfil de textura o textura instrumental fue ejecutado en el Laboratorio de Alimentos I perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Privada Antenor Orrego, distrito de Trujillo.

2.2 Población y muestra

2.2.1 Población

Constituido por harina de algarroba, harina de kiwicha y almidón de papa, procedentes de “Av. Cajamarquilla 1138, Lima”, “Urb. La Parada, José Leonardo Ortiz-Chiclayo” y “Av. Sesquicentenario 425, Chiclayo” respectivamente.

2.2.2 Muestra

Constituida por 5 kg de harina de algarroba, 20 kg de harina de kiwicha y 25 kg de almidón de papa.

2.3 Variables de estudio

2.3.1 Variables dependientes

Son variables dependientes el análisis de perfil de textura y la evaluación sensorial.

2.3.2 Variables independientes

Son variables independientes la harina de algarroba, harina de kiwicha y almidón de papa.

Tabla 12
Operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Índices	Escala de medición
Independiente	Harina de algarroba (HA)	Porcentaje (%)	$5 \leq HA \leq 10$	Cuantitativa
	Harina de kiwicha (HK)	Porcentaje (%)	$35 \leq HK \leq 45$	
	Almidón de papa (AP)	Porcentaje (%)	$45 \leq AP \leq 55$	
Dependiente	Análisis del perfil de textura	Firmeza Cohesividad Elasticidad	Newton (N) Milímetro (mm)	Cuantitativa
	Evaluación sensorial (Prueba de escala hedónica)	Color Olor Sabor Textura	Puntuación (1-5)	Cuantitativa

Nota. Elaboración propia, 2019.

2.4 Técnicas, instrumentos, equipos y materiales

2.4.1 Equipos y materiales

2.4.1.1 Materia prima e insumos

- Harina de algarroba marca “Campo Natural”.
- Harina de kiwicha marca “Vamos Creciendo”.
- Almidón de papa marca “Duryea”.
- Agua de mesa marca “San Luis”.
- Azúcar rubia marca “Cartavio”.
- Aceite de soja marca “Sao”.
- Sal yodada marca “Emsal”.
- Levadura seca instantánea marca “Fleischmann”.
- Goma Xantana marca “Frutaron”.

- Propionato de calcio marca “Fleischmann”.
- Emulsionante lecitina de soya marca “Frutaron”.

2.4.1.2 Equipos e instrumentos

- Batidora Manual OSTER, velocidades: 5, potencia: 240 W, número de varillas: 2.
- Fermentador NOVA MAX 500, potencia: 3Kw.
- Horno NOVA MAX 750, rango de temperatura: 20 a 300°C.
- Balanza de precisión marca “BEL”, capacidad: 5 kg, precisión: 0,1 g.
- Balanza de precisión portátil marca “MH-Series”, capacidad 500,00 g, precisión: 0,01 g.
- Balanza gramera marca “CAVORY”, capacidad: 10 kg.
- Texturómetro Instron modelo 3342, capacidad: 500N, probeta: 38,1mm de diámetro.

2.4.1.3 Materiales de laboratorio

- Mesa de acero inoxidable doble nivel de 200 cm x 100 cm x 90 cm de altura.
- Moldes de acero inoxidable de 18 cm x 9 cm x 6,5 cm de altura.
- Bandejas de acero inoxidable de 44 cm x 64 cm.
- Coche de acero inoxidable para bandejas.
- Recipiente de plástico con tapa, capacidad 5 litros.
- Guantes.
- Mascarilla.
- Cofias.
- Platos descartables.
- Cucharas de acero inoxidable.

2.4.2 Métodos de análisis

2.4.2.1 Análisis microbiológicos

Los análisis microbiológicos fueron realizados teniendo en cuenta la Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración, Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería (RM N° 1020-2010/MINSA), la cual insta los criterios microbiológicos de numeración de mohos (ufc/g), numeración de coliformes totales (nmp/g) y detección de *Salmonella sp* (ausencia en 25g) según el Método de recuento de mohos por siembra por todo el medio, Número de coliformes y coliformes fecales por el número más probable y Aislamiento de *Salmonella*, respectivamente. Estos análisis fueron ejecutados en las materias primas (harina de algarroba, harina de kiwicha y almidón de papa) y en el pan de molde optimizado. En el Anexo 1 se describe la metodología para cada análisis microbiológico.

2.4.2.2 Análisis proximal y determinación del contenido de gluten

Se realizó el análisis proximal (proteínas, grasas, humedad, ceniza, acidez, fibra y carbohidratos) aplicando la metodología NTP 205.005:1979, NTP 205.006:1980, AOAC 925.10 (18th. Ed.), NTP 205.004:1979, NTP 205.039:1975, NTP 205.003:2016 y Método por diferencia, respectivamente. Estos análisis fueron aplicados a las materias primas (harina de algarroba, harina de kiwicha y almidón de papa), al pan de molde optimizado y pan patrón, desarrollando el diseño experimental completamente al azar (DCA) con tres repeticiones. La determinación del contenido de gluten se realizó mediante el análisis del porcentaje de gluten húmedo, porcentaje de gluten seco e índice de gluten, estos análisis fueron ejecutados en las materias primas (harinas de algarroba y harina de kiwicha). En el Anexo 2 se describe el procedimiento para cada análisis proximal.

2.4.2.3 Análisis de perfil de textura

Fue ejecutado utilizando el texturómetro Instron modelo 3342, el cual registró la lectura de dos compresiones, al 40% del espesor inicial de cada muestra (una rebanada de pan de molde de 25

mm de espesor), con una velocidad de test de 1,7 mm/s y una velocidad de espera entre las compresiones de 30 segundos. Para este ensayo se utilizará una probeta de 25 mm de diámetro. Se hicieron 3 repeticiones y se obtuvo el promedio para los 15 tratamientos obtenidos y el pan control. En el Anexo 3 se describe el procedimiento para realizar el análisis de la textura instrumental o perfil de textura.

2.4.2.4 Análisis sensorial

Se elaboró una prueba de escala hedónica con los siguientes atributos: sabor, olor, color y textura (ver Anexo 4, Figura 43) a cada uno de los 15 tratamientos obtenidos y al pan control con una escala de puntuación: 1 – 5. La evaluación se ejecutó con 8 jueces semi-entrenados de ambos sexos y edades comprendidas entre 19 y 25 años pertenecientes a la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo que hayan aprobado el curso de Evaluación sensorial de los alimentos. Las pruebas se realizaron en 8 días y se hicieron 2 repeticiones para cada una.

Para la selección de los panelistas se diseñó una encuesta donde se tomaron en cuenta criterios como: habilidad, disponibilidad, interés y conocimiento. Esta primera etapa de selección estuvo conformada por 22 estudiantes, de los cuales fueron 8 estudiantes quienes calificaron para ser los panelistas semi-entrenados que evaluaron las muestras. El puntaje total de esta encuesta fue de 100 puntos (ver Tabla 13), siendo 90% el puntaje requerido para continuar en la siguiente etapa. A cada muestra y panelista se le designó un código.

Para la capacitación de los 8 panelistas seleccionados se realizaron 4 capacitaciones teórico – práctico, acompañadas de un material didáctico sobre cada atributo a evaluar. Se acondicionó un ambiente con cabinas adecuadas para favorecer a los panelistas a realizar un mejor análisis y evaluación sensorial del producto. En el Anexo 4 se muestra la lista de panelistas reclutados y seleccionados y el material de capacitación.

Tabla 13

Clasificación y puntaje para cada pregunta.

Pregunta		
Generalidades	¿Participaría usted, 2 veces por semana en capacitaciones y degustaciones?	15
	¿Ha estado usted, antes en alguna evaluación sensorial, especifique.?	10
Salud	¿Está usted refriado en estos momentos?	10
	¿Presenta usted intolerancia al gluten?	15
	¿Usted fuma y/o bebe alcohol?	10
Relacionados al producto	¿Usted consume pan?	10
	¿Cuántas veces por semana usted, consume pan?	10
	¿Consume usted, habitualmente pan de molde?	10
	¿Ha consumido usted, alguna vez productos panificados elaborados con las siguientes harinas?	10
Puntaje		100

Nota. Elaboración propia, 2019.

2.5 Metodología experimental

2.5.1 Procedimiento experimental

2.5.1.1. Procedimiento de pruebas pre experimentales

Se realizaron 3 distintas pruebas pre experimentales, en la primera de estas se trabajó el pan de molde con harinas de algarroba y kiwicha con las siguientes restricciones: 25-35% harina de algarroba, 25-30% harina de kiwicha y 40-50% agua, tomando 2 tratamientos en los cuales se tuvo cuenta el porcentaje mínimo y máximo de agua (tratamiento 5 y 7, respectivamente). En estos panes se observó que la masa no pudo aumentar su volumen luego de la fermentación al finalizar este proceso, consecuencia de una mala fermentación, el pan luego del horneado y enfriado tuvo un aspecto totalmente “apretado” y presentó una resistencia fuerte al rebanado. En el Anexo 5a se observan los tratamientos seleccionados para las pruebas y fotos del producto obtenido.

A causa de estas observaciones, se decidió cambiar los ingredientes, agregando el almidón de papa y colocando el agua solamente como ingrediente con un porcentaje fijo (45% del peso de las harinas

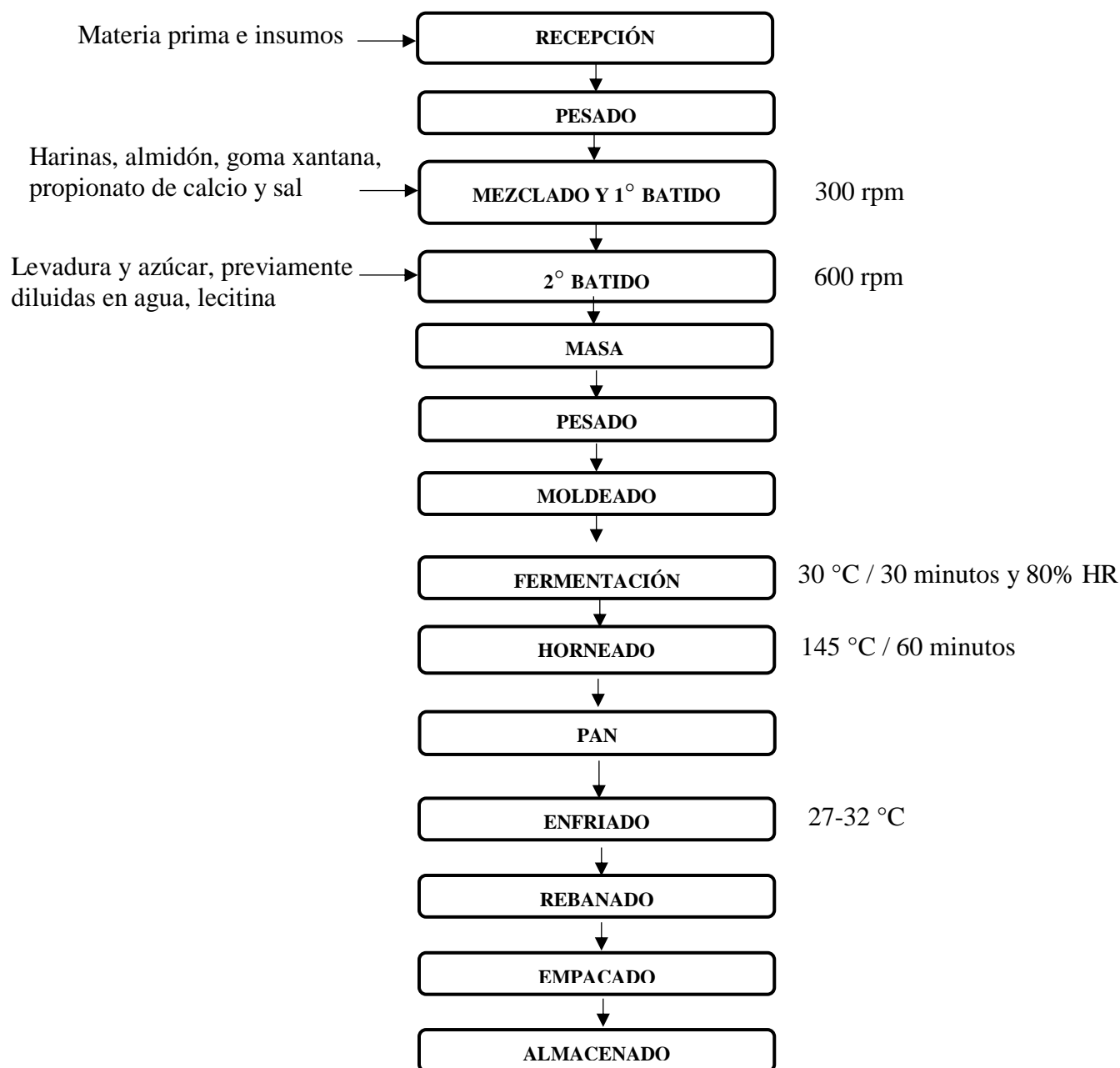
y el almidón) en todos los tratamientos, las nuevas restricciones fueron: 5-10% harina de algarroba, 10-25% harina de kiwicha y 65-85% almidón de papa, además se cambió el molde de aluminio por uno más pequeño, con el cual se pudo darle una mejor forma al pan de molde. Se tomaron 2 tratamientos en los cuales se tuvo en cuenta el porcentaje mínimo y máximo de almidón de papa (tratamiento 6 y 10, respectivamente). Aquí se pudo observar un incremento notorio del volumen de la masa del pan luego del proceso de fermentación y una mejor forma obtenida como pan de molde al finalizar la elaboración y la resistencia al rebanado disminuyó, sin embargo, la miga tenía aún un aspecto “apretado”. En el Anexo 5b se observan los tratamientos seleccionados para las pruebas y fotos del producto obtenido.

Finalmente, en la última prueba pre experimental, en vista de lo observado en la anterior prueba, se cambiaron las restricciones a los siguientes valores: 5-10% harina de algarroba, 35-45% harina de kiwicha y 45-55% almidón de papa, se retiró la leche descremada en polvo de la formulación y también se cambió una etapa del proceso, “Amasado” por “Batido”. Se escogió 1 tratamiento para efectuar la prueba (el tratamiento con mayor contenido de almidón de papa) y se hizo además con 2 variaciones del porcentaje de agua 80% y 100% (en base al peso de las harinas y el almidón). Los panes obtenidos en esta última prueba presentaron una mejor miga, siendo más suave, con alveolos mejores formados y con una resistencia baja al rebanado del pan de molde. El tratamiento elaborado con 80% de agua, determinó que este fue el porcentaje con el cual se elaboraron los demás tratamientos a evaluar. En el Anexo 5c se observan los tratamientos seleccionados para las pruebas y fotos del producto obtenido.

2.5.1.2. Procedimiento de la elaboración de los tratamientos

Figura 15

Diagrama de bloques de la elaboración de pan de molde libre de gluten por el método directo.



Nota. Modificado de “Influencia de la goma de tara y la goma xantana sobre las propiedades reológicas y de textura de la masa y el pan sin gluten a base de almidón”, Vidaurre-Ruiz et al., 2019.

Se elaboraron todos los 15 tratamientos obtenidos de acuerdo al diseño. En la Figura 15 se muestra el diagrama de bloques de la elaboración del pan de molde libre de gluten y en la Tabla 14 la formulación de los ingredientes. Las descripciones de las etapas del proceso se detallan a continuación:

Recepción

Se recepcionó la materia prima e ingredientes a utilizar para la preparación del pan de molde, correctamente envasados y en buen estado físico, químico y microbiológico.

Pesado

Se ejecutó el pesado de cada uno de los ingredientes de acuerdo a la formulación establecida, utilizando una balanza gramera.

Mezclado y 1° batido

Se mezclaron primero las harinas de algarroba, kiwicha, el almidón de papa, propionato de calcio, goma xantana y sal, cada ingrediente seco se adiciona de manera individual hasta homogenizar con ayuda de una batidora a velocidad baja durante 2 minutos.

2° batido

Luego haber realizado el primer batido, se adiciona el aceite de soja, lecitina de soja, azúcar rubia y levadura; estos 2 últimos previamente diluidos en agua; se realiza el batido a velocidad máxima durante 3 minutos, obteniendo de esta manera una mezcla homogénea y consistente.

Pesado

La masa fue pesada en porciones de 650 gramos en una balanza gramera.

Moldeado

Se introdujo la masa boleada en un molde para pan de molde, previamente engrasada con manteca vegetal.

Fermentación

Se realizó en una cámara de fermentación durante 30 minutos a una temperatura de 30 °C y una humedad relativa de 80%. Este proceso se lleva a cabo con la finalidad de que la masa aumente su tamaño, en este proceso es cuando los azúcares fermentables presentes en la masa (provenientes del almidón) se convierten en dióxido de carbono y etanol provocando el levado del pan.

Horneado

Se introdujeron los moldes con el pan en el horno a 145 °C durante 60 minutos.

Enfriado

Se desmoldaron los panes y se realizó el enfriado hasta una temperatura máxima de 32 °C.

Rebanado

Una vez enfriado el pan de molde, preferentemente luego de 24 horas se lleva a cabo el corte o rebanado, este proceso se realiza 24 horas después para evitar la gomosidad del pan. Para realizar esta etapa se necesita una rebanadora casera y un cuchillo.

Empacado

Se colocaron los panes en bolsas y se sellaron herméticamente.

Almacenado

Se almacenaron los paquetes de pan en un ambiente fresco, seco y libre de luz solar.

Tabla 14

Formulación porcentual de los ingredientes para la elaboración del pan a base de harinas de algarroba, kiwicha y almidón de papa (650 g por unidad).

Ingredientes	Porcentaje (%)
Harina de algarroba	5-10
Harina de kiwicha	35-45
Almidón de papa	45-55
Agua de mesa	80,00
Azúcar rubia	17,00
Aceite de soja	6,00
Levadura seca instantánea	4,00
Sal yodada	2,00
Goma Xantana	0,65
Lecitina de soya	0,50
Propionato de calcio	0,30

Nota. Los valores de los ingredientes están basados con respecto al peso de las harinas y almidón de papa. Elaboración propia, 2019.

2.5.2 Diseño experimental

2.5.2.1 Caracterización de la materia prima

Se realizaron los análisis proximales (proteínas, grasas, humedad, ceniza, fibra, acidez y carbohidratos) aplicando la metodología AOAC. Además, se determinó el contenido de gluten húmedo, seco e índice de gluten y también se analizó la materia prima microbiológicamente.

El análisis proximal y contenido de gluten fueron realizados por triplicado y se tomó como resultado el promedio de sus 3 repeticiones. La materia prima comprende a la harina de algarroba, harina de kiwicha y almidón de papa.

2.5.2.2 Diseño de tratamientos y elaboración del pan de molde libre de gluten

Para evaluar el efecto simultáneo de la mezcla de 3 ingredientes, harina de algarroba, harina de kiwicha y almidón de papa sobre la firmeza, cohesividad, elasticidad, color, olor, sabor y textura sensorial se empleó el Diseño óptimo de mezclas, a través del software estadístico Design Expert 11.0®, el cual utilizó el criterio de localización de puntos experimentales de intercambio a través de un espacio factorial de mezclas llamado Optimalidad D (Cornell, 2011). Es así que, se obtuvo 15 tratamientos con restricciones (ver Tabla 16) aplicadas a 3 ingredientes que representan el 100%

de la materia prima, las restricciones fueron establecidas de acuerdo a las observaciones en pruebas preliminares.

Tabla 15

Restricciones sobre los ingredientes de la masa principal (%).

Ingrediente	Restricción mínima	Restricción máxima
Harina de algarroba	5,00	10,00
Harina de kiwicha	35,00	45,00
Almidón de papa	45,00	55,00

Nota. Elaboración propia, 2019.

Luego de ingresar las restricciones de cada ingrediente en el programa, se obtuvieron los 15 tratamientos o corridas (ver Tabla 16), de las cuales 12 representaron los puntos experimentales (con los cuales se estimarán los modelos matemáticos para cada variable dependiente), mientras que las 3 corridas restantes fueron utilizadas para mejorar la estimación de la varianza del error (σ^2). Todas las corridas se localizaron dentro del área experimental limitada por las restricciones mínimas y máximas.

Tabla 16

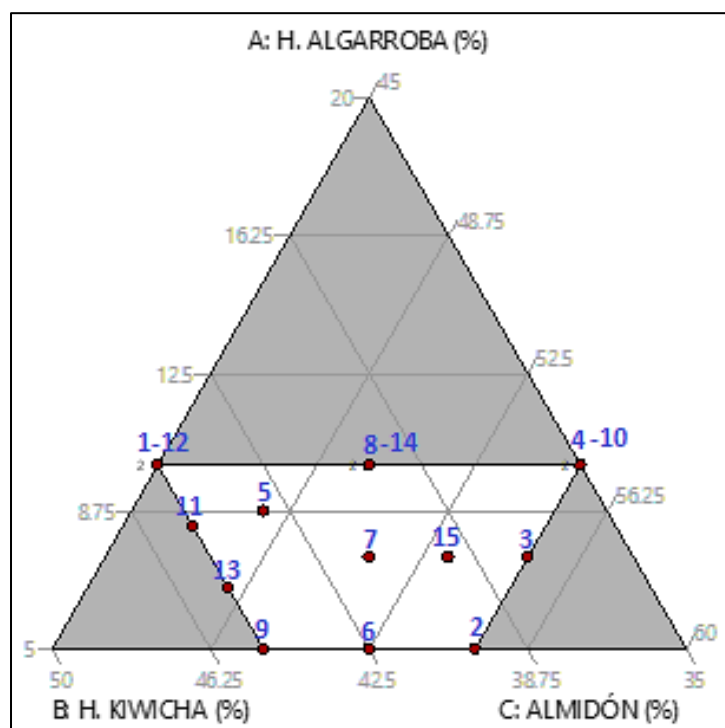
Tratamientos obtenidos en el software Design Expert 11.0® de acuerdo con las restricciones establecidas (%).

Tratamiento	H. algarroba (%)	H. kiwicha (%)	Almidón de papa (%)
1	10,00	45,00	45,00
2	5,00	40,00	55,00
3	7,50	37,50	55,00
4	10,00	35,00	55,00
5	8,75	43,13	48,13
6	5,00	42,50	52,50
7	7,50	41,25	51,25
8	10,00	40,00	50,00
9	5,00	45,00	50,00
10	10,00	35,00	55,00
11	8,33	45,00	46,67
12	10,00	45,00	45,00
13	6,67	45,00	48,33
14	10,00	40,00	50,00
15	7,50	39,38	53,13

Nota. Elaboración propia, 2019.

Figura 16

Ubicación de puntos experimentales de las corridas obtenidas.



Nota. Elaboración propia, 2019.

2.5.2.3 Evaluación de los tratamientos del pan de molde libre de gluten

A cada uno de los 15 tratamientos se le realizaron los análisis de evaluación sensorial (color, olor, sabor y textura) y el análisis de perfil de textura (firmeza, cohesividad y elasticidad). Los resultados expresados del análisis de perfil de textura representaron el promedio de 3 repeticiones, mientras que los resultados del análisis sensorial representaron el promedio de 2 repeticiones.

Los resultados de cada variable respuesta (firmeza, elasticidad, cohesividad, color, olor, sabor y textura) fueron introducidas en el software Design-Expert, donde fueron analizados estadísticamente y se determinaron que variables respuestas influyeron significativamente en el modelo.

2.5.2.4 Optimización de las variables respuestas significativas

Para obtener los valores de optimización de cada variable respuesta, se consiguió primero un pan de molde control (ver Anexo 6, Figura 50) al cual se le realizaron los análisis solamente significativos. Seguidamente se obtuvieron los resultados de los análisis del pan de molde control, también llamados valores deseados o teóricos, estos fueron introducidos en el software Design-Expert para poder optimizar el tratamiento del pan de molde elaborado con harina de algarroba, harina de kiwicha y almidón de papa, con la finalidad de obtener el mejor tratamiento. Los criterios de optimización de cada variable respuesta fueron los siguientes:

- Objetivo de la firmeza
- En rango del color
- En rango de la textura sensorial

2.5.2.5 Caracterización proximal y microbiológica de la mezcla óptima

Luego de obtener la mezcla óptima, se realizaron los análisis proximales y microbiológicos al pan optimizado, con la finalidad de verificar que los parámetros se encuentren debidamente en valores dentro de lo que indican las normas.

Los análisis proximales fueron expresados como el promedio de 3 repeticiones de los análisis.

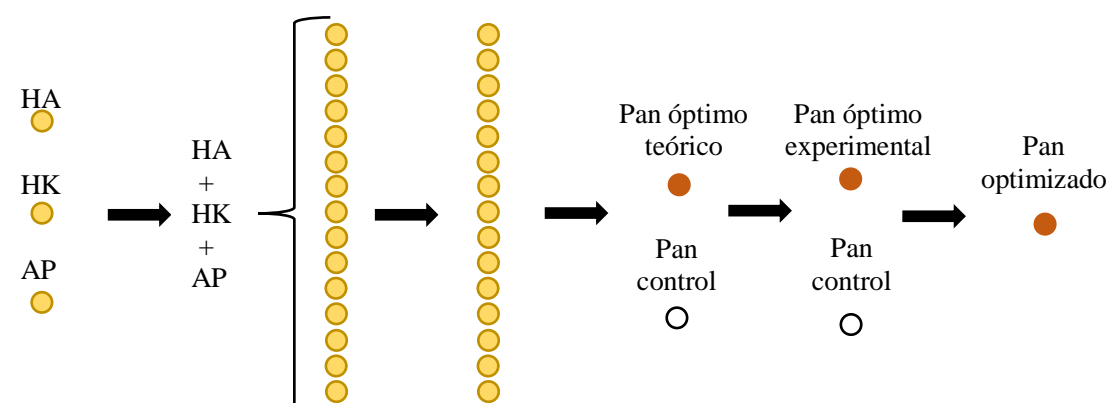
2.5.3 Análisis estadístico de los datos

Para el análisis químico-proximal y determinación de contenido de gluten se realizó el análisis de varianza (ANVA) y la prueba Tukey, con un nivel de significancia de 95%, usando el software estadístico SPSS Statistics 24. Para el análisis de perfil de textura (firmeza, cohesividad y elasticidad) y evaluación sensorial (color, olor, sabor y textura) se efectuó un análisis de regresión múltiple (método de mínimos cuadrados), con el fin de obtener el polinomio canónico de Scheffé que describa la dependencia de esa variable en funcionalidad de los componentes bajo estudio (Cornell, 2011). También se realizó el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de significancia de

coeficientes ($p < 0,05$), aplicando el criterio de coeficientes de determinación (R^2 y $R^2_{ajustado}$), para determinar la significancia estadística del modelo adecuado y los coeficientes del mismo, utilizando el software estadístico Design-Expert 11.0®, aplicado a las variables repuestas (firmeza, elasticidad, cohesividad, color, olor, sabor y textura sensorial).

Para una mejor interpretación y representación de los resultados, se añadieron los siguientes gráficos: superficie de respuesta tridimensional, gráficos de contorno y trazos de Cox. Estos gráficos son generados también por el software estadístico Design-Expert.

Figura 17
Esquema experimental de la investigación.

ETAPAS	Caracterización de la materia prima	Diseño de tratamientos y elaboración del pan de molde libre de gluten	Evaluación de los tratamientos del pan de molde libre de gluten	Optimización de las variables respuestas significativas	Caracterización químico-proximal y microbiológica de la mezcla óptima
TRATAMIENTOS					
ANÁLISIS	Análisis químico-proximal. Análisis microbiológico.		Firmeza, cohesividad y elasticidad. Color, olor, sabor y textura sensorial.	Análisis estadístico en Design Expert 11.0®	Análisis químico-proximal. Análisis microbiológico.
PARÁMETROS		Batido 1: Velocidad 300rpm por 2 minutos. Batido 2: Velocidad 600rpm por 3 minutos. Pesado: Porción de 650 gramos. Fermentación: 30°C por 30' con 80% HR. Horneado: 145 °C por 1 hora.		Objetivo de la firmeza En rango del color En rango de la textura	

HA: Harina de algarroba

HK: Harina de kiwicha

AP: Almidón de papa

Nota. Modificado de “Elaboración de un bocadito extruido de quinua, tarwi y fécula de camote para niños escolares”, por Pérez, 2019.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Caracterización de las materias primas

3.1.1 Análisis químico-proximal y determinación del contenido de gluten

Los resultados obtenidos del análisis químico-proximal (carbohidratos, proteínas, grasas, humedad, ceniza y fibra) y determinación del porcentaje de gluten aplicado a las harinas de algarroba, kiwicha y almidón de papa en investigación se muestran en la Tabla 17, en donde se ha registrado el promedio de 3 lecturas y su desviación estándar. Además, se realizó el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de Tukey, con la finalidad de determinar la existencia de diferencias significativas para cada análisis entre cada una de las materias primas, estos análisis estadísticos se observan en la Tabla 18 y Tabla 19.

Tabla 17

Composición químico proximal y porcentaje de gluten de las harinas de algarroba, kiwicha y almidón de papa.

Análisis	Unidad	Harina de algarroba	Harina de kiwicha	Almidón de papa
Carbohidratos	g/100 g	57,43 ± 0,48	62,52 ± 0,51	79,08 ± 0,02
Proteínas	g/100 g	12,50 ± 0,23	13,69 ± 0,23	4,01 ± 0,08
Grasas	g/100 g	3,40 ± 0,00	7,23 ± 0,06	0,30 ± 0,00
Humedad	g/100 g	11,05 ± 0,05	11,95 ± 0,05	10,74 ± 0,02
Cenizas	g/100 g	4,53 ± 0,06	2,27 ± 0,06	3,10 ± 0,00
Fibra	g/100 g	11,08 ± 0,14	2,33 ± 0,14	2,77 ± 0,06
Gluten	g/100 g	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00

Nota. Los valores mostrados son el promedio (n=3) ± desviación estándar. Elaboración propia, 2020.

En cuanto a la harina de algarroba se mostró un aumento notable de la humedad en comparación a lo citado por Fernández y Vera (2014) de un 5,45%, al igual que las cenizas en un 1,55%; para la harina de kiwicha, se apreció un ligero aumento en el valor de la humedad y proteína de un 1,05% y 1,49%, respectivamente, en relación a lo mencionado por Reyes, Gómez-Sánchez y Espinoza (2017); por último, el almidón de papa, presentó un alto valor en el porcentaje de carbohidratos de 79,08% lo que indica que es uno de los alimentos con mayor pureza de este macronutriente

(Pacheco Alfaro, 2016). Todos los resultados mostrados en la Tabla 17 cumplen con las disposiciones de la normativa peruana vigente NTP 205.040.2016.

Respecto al análisis de determinación del contenido de gluten (Anexo 2), se determinó la ausencia de gluten en las harinas de algarroba, kiwicha y almidón de papa, para la preparación del pan de molde en investigación.

Tabla 18

Análisis de varianza (ANVA) de la composición químico proximal de los ingredientes.

Componente	Grupos	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F-valor	Sig.
Carbohidratos	Entre grupos	768,788	2	384,394	2359,531	0,000
	Dentro de grupos	0,977	6	0,163		
	Total	769,765	8			
Proteínas	Entre grupos	167,320	2	83,660	2213,875	0,000
	Dentro de grupos	0,227	6	0,038		
	Total	167,546	8			
Grasas	Entre grupos	72,376	2	36,188	32569,000	0,000
	Dentro de grupos	0,007	6	0,001		
	Total	72,382	8			
Humedad	Entre grupos	2,360	2	1,180	651,558	0,000
	Dentro de grupos	0,011	6	0,002		
	Total	2,371	8			
Cenizas	Entre grupos	7,887	2	3,943	1774,500	0,000
	Dentro de grupos	0,013	6	0,002		
	Total	7,900	8			
Fibra	Entre grupos	145,917	2	72,959	4863,907	0,000
	Dentro de grupos	0,090	6	0,015		
	Total	146,007	8			

Nota. Elaboración propia, 2020.

Tabla 19

Prueba de Tukey de la composición químico proximal de los ingredientes.

Componente		N	Subconjunto para alfa = 0,05		
			1	2	3
HSD de Tukey ^a	Carbohidratos de harina de algarroba	3	57,4300		
	Carbohidratos de harina de kiwicha	3		62,5233	
	Carbohidratos de almidón de papa	3			79,0800
	Sig.		1,000	1,000	1,000
HSD de Tukey ^a	Proteínas de almidón de papa	3	4,0100		
	Proteínas de harina de algarroba	3		12,5033	
	Proteínas de harina de kiwicha	3			13,6933
	Sig.		1,000	1,000	1,000
HSD de Tukey ^a	Grasas de almidón de papa	3	0,3000		
	Grasas de harina de algarroba	3		3,4000	
	Grasas de harina de kiwicha	3			7,2333
	Sig.		1,000	1,000	1,000
HSD de Tukey ^a	Humedad de almidón de papa	3	10,7433		
	Humedad de harina de algarroba	3		11,0500	
	Humedad de harina de kiwicha	3			11,9500
	Sig.		1,000	1,000	1,000
HSD de Tukey ^a	Cenizas de harina de kiwicha	3	2,2667		
	Cenizas de almidón de papa	3		3,1000	
	Cenizas de harina de algarroba	3			4,5333
	Sig.		1,000	1,000	1,000
HSD de Tukey ^a	Fibra de harina de kiwicha	3	2,3333		
	Fibra de almidón de papa	3		2,7667	
	Fibra de harina de algarroba	3			11,0833
	Sig.		1,000	1,000	1,000

Nota. Elaboración propia, 2020.

Se determinó, por el análisis de varianza (Tabla 18), que al menos un ingrediente (harina de algarroba, harina de kiwicha o almidón de papa) fue diferente en los 6 análisis químico-proximal

realizados. De este modo, se aplicó la prueba de comparación de Tukey (Tabla 19), allí, se confirmó la existencia de diferencias significativas entre los 3 ingredientes en todos los 6 análisis químico-proximales realizados.

3.1.2 Análisis microbiológico

En vista de que es necesario garantizar la inocuidad del producto en investigación, se efectuaron los respectivos análisis microbiológicos (ver Anexo 1) a las materias primas (harinas de algarroba, kiwicha y almidón de papa). En la Tabla 20 se detallan los resultados de los análisis microbiológicos aplicados a los ingredientes (harina de algarroba, harina de kiwicha y almidón de papa) empleadas en la preparación del pan de molde libre de gluten.

Tabla 20

Valores microbiológicos obtenidos en los ingredientes.

Análisis	Unidad	Harina de algarroba	Harina de kiwicha	Almidón de papa
Mohos	UFC/g	0	0	0
<i>Escherichia coli</i>	NMP/g	<1	<1	<1
<i>Salmonella sp.</i>	Ausencia/25 g	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Bacillus cereus</i> (*)	UFC/g	-	-	0

Nota. () Sólo para féculas, almidones y harinas de arroz y/o maíz. Elaboración propia, 2020.*

En cuanto a los valores obtenidos, se puede afirmar que las materias primas se encuentran dentro de los límites establecidos y cumplen las condiciones de la norma vigente peruana correspondiente, por lo tanto, es seguro elaborar pan de molde a base de harinas de algarroba, kiwicha y almidón de papa según la actual legislación peruana, “Reglamento sobre vigilancia y control Sanitario de Alimentos y Bebidas (DS N° 004-2014-SA)”, derivado de la “Ley General de Salud N° 26842”.

3.2 Evaluación del análisis estadístico y efecto de los ingredientes sobre el análisis de las variables respuestas

3.2.1 Firmeza

3.2.1.1 Evaluación del análisis estadístico

Tabla 21

Resultados experimentales y estimados de firmeza, color y textura sensorial en los tratamientos del pan de molde libre de gluten.

Tratamiento	Y Firmeza observada (Newton)	\hat{Y} Firmeza estimada (Newton)	Y Color observado (Puntuación 1-5)	\hat{y} Color estimado (Puntuación 1-5)	y Textura observada (Puntuación 1-5)	\hat{y} Textura estimada (Puntuación 1-5)
1	18,513	20,713	3,00	3,05	2,88	2,71
2	12,096	15,485	4,12	2,88	3,38	2,91
3	41,736	20,427	4,49	2,79	3,69	3,05
4	12,040	26,609	4,87	2,61	2,81	3,15
5	12,206	19,720	4,74	2,90	1,94	2,79
6	8,754	14,794	2,70	2,89	2,40	2,80
7	22,743	18,622	2,90	2,82	3,00	2,87
8	38,379	22,879	2,60	2,69	4,13	2,90
9	23,867	14,415	2,70	2,97	3,17	2,70
10	14,879	26,609	4,50	2,61	2,40	3,15
11	12,478	18,683	2,69	3,03	2,19	2,72
12	20,153	20,713	3,30	3,05	3,20	2,71
13	23,092	16,554	3,00	3,01	2,72	2,72
14	34,126	22,879	3,10	2,69	3,70	2,90
15	24,873	19,412	1,70	2,78	2,98	2,95

Nota. Los valores mostrados son el promedio (n=3, mediciones para firmeza y n=8, panelistas semi-entrenados para textura). Elaboración propia, 2020.

Los valores promedios obtenidos del análisis de firmeza aplicado en los 15 tratamientos en investigación se visualizan en la Tabla 21, donde se aprecia que, el mayor valor de firmeza se obtuvo en el tratamiento 3 (mezcla de 7,50% harina de algarroba, 37,50% harina de kiwicha y 55,00% almidón de papa), mientras que el valor más bajo de firmeza se obtuvo en el tratamiento 6 (mezcla de 5,00% harina de algarroba, 42,50% harina de kiwicha y 52,50% almidón de papa).

Tabla 22

Prueba de falta de ajuste de los modelos aplicados a la variable respuesta firmeza.

Modelo	SC	GL	CM	F-valor	p-valor	p-valor de falta de ajuste
Lineal	0,0025	2	0,0012	0,3801	0,6918	0,0115
Cuadrático	0,0072	3	0,0024	0,6848	0,7350	0,0089
Cúbico especial	0,0094	1	0,0094	3,37	0,4187	0,0117
Cúbico	0,0200	3	0,0067	15,38	0,0104	0,1148
Cuártico especial	0,0304	3	0,0101	50,75	0,0005	0,4095

Nota. Elaboración propia, 2020.

SC: Suma de cuadrados

GL: Grados de libertad

CM: Cuadrados medios

Tabla 23

Resumen estadístico de los modelos aplicados a la firmeza.

Modelo	Desviación estándar	R ²	R ² ajustado	R ² predicho	PRESS
Lineal	0,0569	0,0596	-0,0972	-0,4948	0,0617
Cuadrático	0,0592	0,2344	-0,1910	-1,2375	0,0923
Cúbico especial	0,0527	0,4614	0,0574	-1,1413	0,0883
Cúbico	0,0208	0,9473	0,8525	-0,4342	0,0592
Cuártico especial	0,0141	0,9710	0,9323	0,8415	0,0065

Nota. Elaboración propia, 2020.

R²: Coeficiente de determinación

Con respecto a la Tabla 22, se evidencia que el mejor modelo estadísticamente significativo que puede describir el impacto de al menos uno de los ingredientes sobre la variable respuesta firmeza, es el modelo cuártico especial, ya que la prueba de falta de ajuste presenta un p-valor no significativo de 0,4095 (p-valor LOF > 0,05), es deseable que este valor sea superior al nivel de significancia, porque señala que el modelo provee un ajuste apropiado a los datos (Pérez, 2019). Además, presenta un p-valor significativo de 0,0005; el cual tiene que ser inferior al nivel de significancia ($\alpha=0,05$), de este modo el modelo cuártico especial cumple con los requisitos para ser sugerido por el software.

El resumen estadístico de los modelos que se muestra en la Tabla 23, señala que la menor desviación estándar y los coeficientes de determinación (R², R²_{ajustado} y R²_{predicho}) más elevados, lo tiene el modelo cuártico especial, donde, si estos dos últimos valores son mayores a 0,7; se afirma

que el modelo de regresión concerniente a la firmeza del pan de molde tiene un ajuste estadístico adecuado. Un R^2 de 0,9710 se interpreta como que el 97,10% de la variación en \hat{y} de la firmeza estimada del pan de molde libre de gluten es explicada por los ingredientes (harinas de algarroba, kiwicha y almidón de papa) en el modelo correspondiente (Gutiérrez y De la Vara, 2012).

Aktas (2005) opta por utilizar el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{ajustado}) a cambio de R^2 , como una medida de bondad de ajuste de la ecuación de regresión a los resultados experimentales; sosteniendo que, al poseer un valor próximo a la unidad, el nivel de relación entre los resultados experimentales y estimados es alto. Así mismo, para seleccionar que modelo predice en mejor medida los valores de respuesta estimados, se debe verificar que el valor del R^2_{predicho} sea mayor a 0,5 y además tener una diferencia mínima de 0,2 con el R^2_{ajustado} . Por tanto, al obtener un R^2_{ajustado} igual a 0,9323 y un R^2_{predicho} igual a 0,8415; el modelo cuártico especial aplicado a la firmeza se ajusta nuevamente de manera apropiada a los resultados experimentales. Se debe agregar que, fue necesario aplicar una transformada de raíz cuadrada inversa a los resultados para obtener un R^2_{predicho} aceptable y de esta manera, mediante la ecuación de regresión polinomial obtenida acercar los valores experimentales y estimados en un plano donde estos últimos valores no se encuentren dispersos (Becerra, 2018).

Además, el modelo cuártico especial presenta el menor valor PRESS, lo que señala que es probable que este modelo sea un buen predictor (Montgomery, 2004). Por ello, fue viable realizar un análisis de varianza (ANVA) al modelo seleccionado y un análisis de superficie de respuesta para la firmeza.

Tabla 24

Análisis de varianza (ANVA) del modelo cuártico especial de la variable respuesta firmeza.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-valor	p-valor	R ² _{ajustado}	R ² _{predicho}
Modelo	0,0401	8	0,0050	25,08	0,0005	0,9323	0,8415
Falta de ajuste	0,0007	3	0,0002	1,33	0,4095		
Error puro	0,0005	3	0,0002				
Total	0,0412	14					

Nota. Elaboración propia, 2020.

El modelo cuártico especial fue sometido a un análisis de varianza (ANVA), como se evidencia en la Tabla 24, donde nuevamente se señala un p-valor (0,0005) inferior a 0,05; lo que demuestra que el modelo es estadísticamente significativo y explica un 95% de la relación cuártica especial entre los coeficientes de los ingredientes (harinas de algarroba, kiwicha y almidón de papa) y la firmeza. Además, se puede observar en la Tabla 24, que el valor F calculado para el modelo cuártico especial fue 25,08; superior en comparación al valor crítico (tabular) $F_{(8,6, \alpha=0,05)} = 4,15$; e inclusive mayor también a un nivel de confianza superior, el valor crítico $F_{(8,6, \alpha=0,01)} = 8,10$; lo que significa que este modelo es estadísticamente significativo, aún a un 99% de nivel de confianza. De igual modo, se observa que el valor F calculado para la falta de ajuste fue no significativo con un valor igual a 1,33; el cual es menor en comparación al valor crítico $F_{(3,3, \alpha=0,05)} = 9,28$.

Se debe señalar también que el análisis tuvo una buena reproducibilidad, dado que la sumatoria de cuadrados del error puro igual a 0,0005 es inferior a la suma de cuadrados total igual a 0,0412. Cornell (2011) plantea que, esta interpretación es correcta, puesto que, para la determinación de la sumatoria de cuadrados del error puro se usan las repeticiones establecidas en el diseño experimental. El promedio de los resultados de la firmeza en los 15 tratamientos del pan de molde libre de gluten, fueron sometidos a un análisis de regresión múltiple correspondiente, en donde se consiguió la siguiente ecuación polinomial de cuarto grado:

$$x = -4,7341*A - 0,5658*B - 0,3324*C + 9,8247*A*B + 9,3288*A*C + 3,1373*B*C - 13,4688*A*B^2*C - 30,415*A*B*C^2 \quad (1)$$

$$\hat{y} = \frac{1}{x^2} \quad (2)$$

Donde x representa la ecuación polinomial de cuarto grado para la firmeza estimada y \hat{y} representa el valor estimado (predicha o teórica) devuelto a las unidades reales (decenas con milésimas) de luego de la transformación de raíz cuadrada inversa. Las letras A, B y C, representan los siguientes ingredientes: harina de algarroba, harina de kiwicha y almidón de papa, respectivamente. Los valores estimados de los coeficientes para los 15 tratamientos en estudio se pueden observar a detalle en la Tabla 21.

Tabla 25

Prueba de significancia para los coeficientes del modelo de regresión de la firmeza.

Término del modelo	Factor	Coefficiente estimado	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F-valor	p-valor
Mezcla lineal	(A) H. Algarroba	-4,7341	0,0025	2	0,0012	6,16	0,0352
	(B) H. Kiwicha	-0,5658					
	(C) Almidón de papa	-0,3324					
Mezcla cuadrática	AB	9,8247	0,0065	1	0,0065	32,81	0,0012
	AC	9,3288	0,0056	1	0,0056	28,06	0,0018
	BC	3,1373	0,0095	1	0,0095	47,67	0,0005
Mezcla especial cuártica	A ² BC	8,7583	0,0006	1	0,0006	2,78	0,1465
	AB ² C	-13,4688	0,0020	1	0,0020	9,85	0,0201
	ABC ²	-30,415	0,0142	1	0,0142	71,25	0,0002

Nota. Elaboración propia, 2020.

En cuanto a los coeficientes de la Ecuación (1), fueron analizados por medio de la prueba F de Fisher, con el fin de excluir aquellos que son estadísticamente insignificantes (nivel de significación = 0,05) (Salazar Del Carpio, Elias P., y Salva R., 2007). La Tabla 25 detalla los resultados de ese análisis.

Empleando el criterio sugerido por Cornell (2011), que cuando el p-valor es superior a 0,05 o 0,01 (dependiendo del nivel de significación establecido), el coeficiente relacionado al referido factor es insignificante; por otro lado, si el p-valor del factor es inferior al nivel de significancia, queda establecida su significancia. Teniendo en cuenta lo antes mencionado, se afirma que los coeficientes del término lineal (A, B y C), cuadrático (AB, AC y BC) y especial cuártico (AB^2C y ABC^2) son significativos, ya que, tienen un p-valor menor a 0,05. Por otra parte, el coeficiente de uno de los factores del término especial cuártico (A^2BC) es no significativo, por tener un p-valor (0,1465) mayor al nivel de significancia ($\alpha=0,05$) como se puede ver en la Tabla 25.

3.2.1.2 Efecto de los ingredientes sobre la firmeza del pan de molde libre de gluten

Con el modelo matemático cuártico especial seleccionado, se graficó y analizó el efecto de los ingredientes de la mezcla (harinas de algarroba, kiwicha y almidón de papa) sobre la variable dependiente firmeza del pan de molde libre de gluten a través de un gráfico de superficie respuesta (representación tridimensional), gráfico de ploteo de contornos (representación bidimensional) y gráfico de trazas (Trazos de Cox), los cuales se observan la Figura 18, 19 y 20, respectivamente. Según los autores Quintong Santana y Tenesaca Bustos (2013), la firmeza es un indicador muy importante en la elaboración del pan de molde, las proteínas presentes en la harina interactúan con el almidón, esto reduce el grado de firmeza caso contrario sucede durante el almacenamiento, dado que el agua migra desde la miga hasta la corteza del pan, esto origina un aumento en la firmeza del pan, señal de envejecimiento de éste; por ello se visualizan en la Tabla 21, donde se puede ver que, el mayor valor de firmeza se obtuvo en el tratamiento 3 (7,50% harina de algarroba, 37,50% harina de kiwicha y 55,00% almidón de papa), mientras que el valor más bajo de firmeza se obtuvo en el tratamiento 6 (5,00% harina de algarroba, 42,50% harina de kiwicha y 52,50% almidón de papa),

llegando a la conclusión de que a mayor presencia de almidón en la mezcla mayor será el grado de firmeza del pan de molde.

En la Figura 18 y Figura 19, se detalla a través de los colores en los gráficos que, en función del aumento del valor de la variable respuesta en estudio, el color varía gradualmente desde azul hasta rojo, pasando por el color verde y amarillo. En este sentido, se deduce que, las proporciones con mayor contenido de harina de kiwicha, influyen negativamente en la firmeza del producto terminado, es decir, a más contenido de este ingrediente, menor será el valor obtenido en la firmeza. Por otro lado, esta variable respuesta aumenta, cuando la mezcla presenta mayor proporción de harina de algarroba y almidón de papa.

Gutiérrez y de la Vara (2008) (citado por Pérez Ramos 2019) menciona que la gráfica de superficie respuesta es aquella que representa el modelo seleccionado con un ajuste estadístico significativo, además de explicar la relación de la variable respuesta en cada punto de la región experimental a evaluar.

Para analizar más a detalle qué tan sensible es la variable respuesta a la desviación del tratamiento cerca de la mezcla de referencia (valor del centroide), se consideró utilizar el gráfico de trazas (Trazos de Cox), que se muestra la Figura 20. Se debe agregar que, el empleo de este gráfico da a conocer por medio de una mezcla de referencia, cómo es que varía el valor de la variable respuesta al incrementar o disminuir el contenido de cada componente de la mezcla.

En este gráfico de trazas de Cox (ver Figura 20), se manifiesta claramente que la harina de algarroba (A) al tiempo que incrementa su proporción en el contenido de la mezcla, provoca en la firmeza una variación directamente proporcional a este ingrediente, es decir, la firmeza también aumenta su valor. En el caso de la harina de kiwicha (B), se observa que, valores mayores a 41,25 por ciento conllevan a una firmeza baja hasta un 43,13 por ciento aproximadamente para luego incrementarse

levemente; sin embargo, valores menores al 41,25 por ciento produce que la firmeza sea mayor hasta un 36,66 por ciento aproximadamente para luego disminuir levemente. Con respecto al almidón de papa (C), señala un trazo de Cox inclinado hacia la derecha, lo que significa que, conforme aumente la proporción de este ingrediente en la mezcla, la firmeza aumentará de igual manera.

Gutiérrez y de la Vara (2008) sostienen que el gráfico de trazas es una manera de evaluar la importancia de cada uno de los ingredientes de una mezcla. El gráfico expresa la manera en que la respuesta Y (variable respuesta en estudio) varía de acuerdo a si uno de los componentes de la mezcla incrementa o disminuye proporcionalmente. Es así que, este gráfico plantea la importancia relativa de cada componente en la mezcla referencial (Larico Condori, 2018).

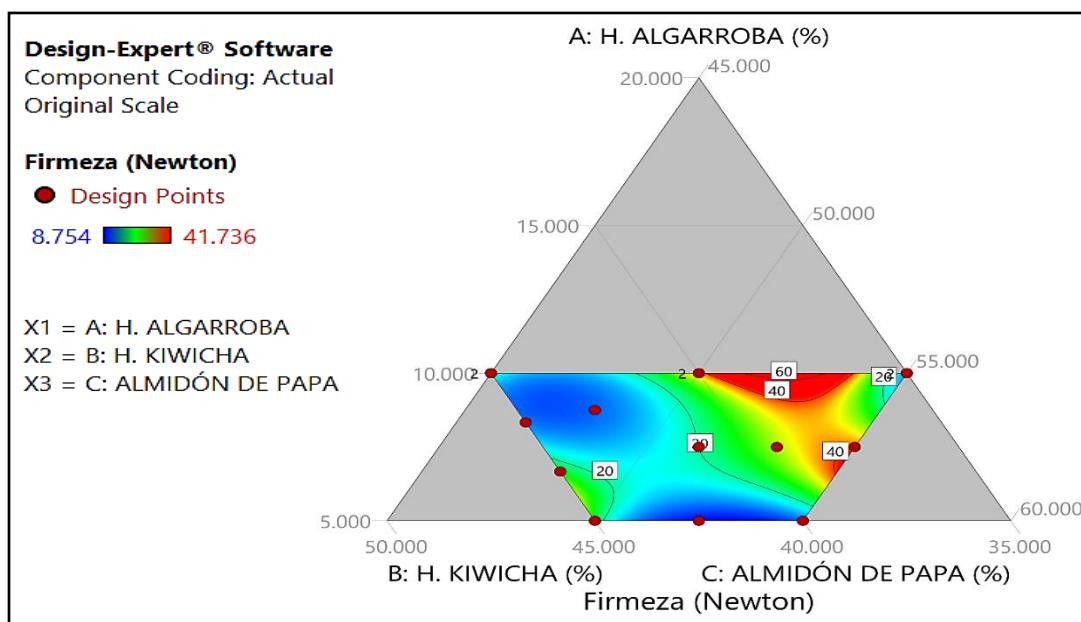
Hernández y Díaz (2012), manifiestan que un pan de grado comercial de buena calidad oscila un valor de dureza o textura instrumental promedio de 6,2400 newton hasta 9,8067 newton, considerando así a los panes con valores mayores a este límite como productos similares a galletas. Los valores obtenidos en el estudio son mayores a los valores mencionados y se debe a que esta variable dependiente (textura) aumenta proporcionalmente con el aumento del porcentaje de sustitución de la harina de trigo por harinas sucedáneas. Esto ocurre, dado que, al no existir presencia de gluten en la materia prima, el componente más significativo para formar la masa del pan es el almidón presente en ellos (Pisfil Gonzales, 2017).

Abdel-Aal (2009) (citado por Pacheco Alfaro 2016) da a conocer que una de las etapas donde el almidón (ingrediente predominante en todas las formulaciones) tiene mayor influencia durante la elaboración de los panes libres de gluten es el horneado, durante la cocción de la masa ya fermentada la estructura de la miga se ve influenciada a causa de la gelatinización del almidón presente, el cual terminará influyendo en distintas propiedades como volumen y textura. La firmeza o dureza es una de las propiedades más significativas percibidas por los consumidores al momento

de adquirir un producto de panificación. Este parámetro está vinculado con la fuerza suministrada para provocar la deformación o rotura de la muestra en instrumentos mecánicos de medición de la textura (Córdova, 2017).

Figura 18

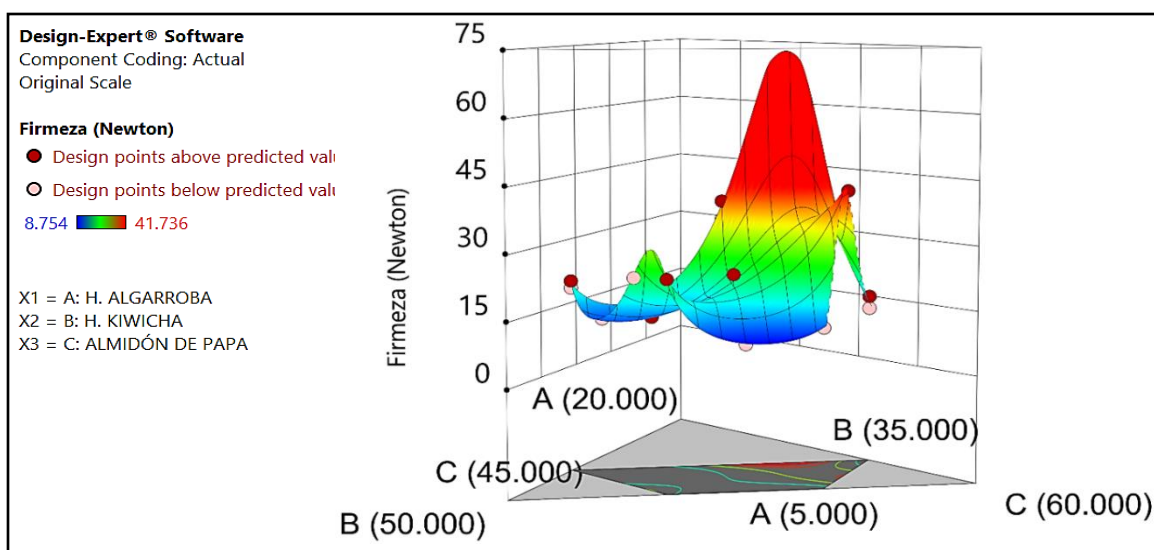
Gráfico de superficie de respuesta tridimensional de la firmeza.



Nota. Elaboración propia, 2020.

Figura 19

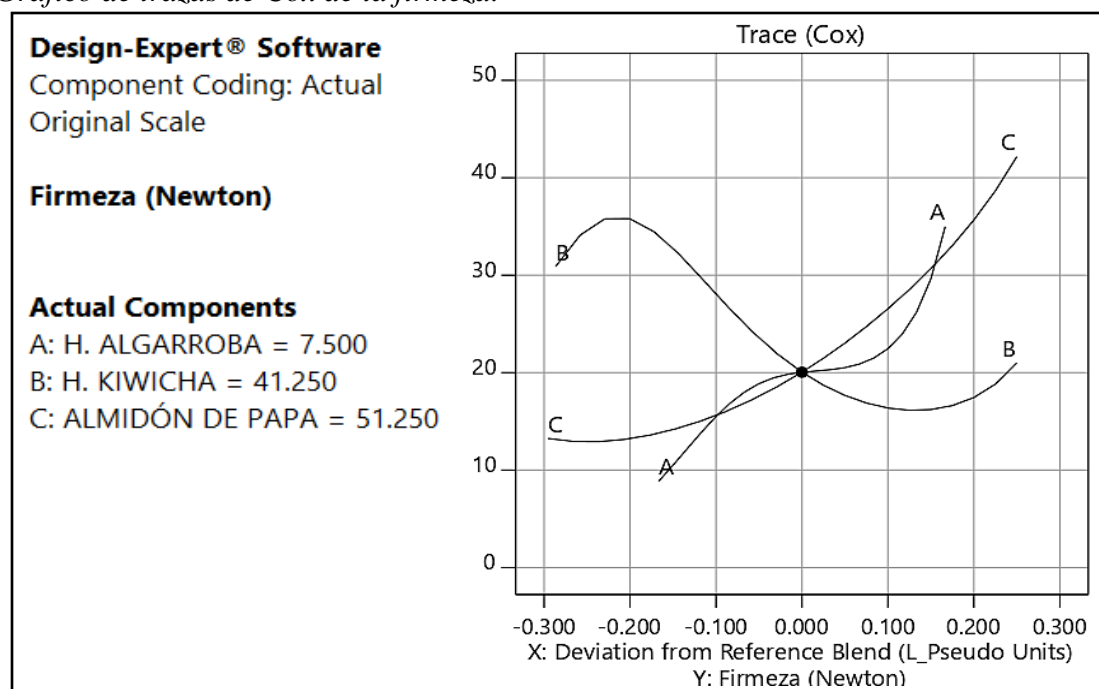
Gráfico de ploteo de contornos bidimensional de la firmeza



Nota. Elaboración propia, 2020.

Figura 20

Gráfico de trazas de Cox de la firmeza.



Nota. Elaboración propia, 2020.

3.2.2 Elasticidad

3.2.2.1 Evaluación del análisis estadístico

Tabla 26

Prueba de falta de ajuste de los modelos aplicados a la variable respuesta elasticidad.

Modelo	SC	GL	CM	F-valor	p-valor	p-valor de falta de ajuste
Lineal	0,0005	2	0,0002	0,0441	0,9570	0,0346
Cuadrático	0,0174	3	0,0058	1,11	0,6481	0,0317
Cúbico especial	0,0047	1	0,0047	0,8907	0,6518	0,0290
Cúbico	0,0306	3	0,0102	4,32	0,1626	0,0605
Cuártico especial	0,0358	3	0,0119	6,27	0,0710	0,1030

Nota. Elaboración propia, 2020.

SC: Suma de cuadrados

GL: Grados de libertad

CM: Cuadrados medios

Tabla 27

Resumen estadístico de los modelos aplicados a la elasticidad.

Modelo	Desviación estándar	R ²	R ² ajustado	R ² predicho	PRESS
Lineal	0,0734	0,0073	-0,1581	-0,4571	0,0949
Cuadrático	0,0724	0,2751	-0,1277	-0,9911	0,1297
Cúbico especial	0,0729	0,3477	-0,1416	-1,4635	0,1604
Cúbico	0,0486	0,8183	0,4911	-4,1307	0,3341
Cuártico especial	0,0436	0,8247	0,5909	0,1866	0,0530

Nota. Elaboración propia, 2020.

R²: Coeficiente de determinación

Con respecto a la Tabla 26 y Tabla 27, se evidencia que el modelo seleccionado por el software (cuártico especial) es estadísticamente no significativo, a pesar de que, la prueba de falta de ajuste presenta un p-valor no significativo de 0,1030 (p-valor LOF > 0,05), lo cual es deseable, sin embargo, el p-valor es insignificante ($\geq 0,05$) con un valor de 0,0710. Además, presenta un R² igual a 0,8247; R²_{ajustado} igual a 0,5909; este último valor siendo menor a 0,7; Gutiérrez y De la Vara (2012) sostienen que, si estos dos últimos valores no son mayores a 0,7, podemos confirmar que el modelo de regresión concerniente al modelo del pan de molde no tiene un ajuste estadístico satisfactorio. Se debe agregar también que, el R²_{predicho} presenta un valor bajo igual a 0,1866; lo que significa, que el modelo no es un buen predictor.

Por estos motivos, se deduce que el modelo seleccionado no es significativo ni suficiente para explicar el vínculo existente entre los ingredientes (harina de algarroba, harina de kiwicha y almidón de papa) y la variable respuesta elasticidad, en este sentido, fue inviable realizar un análisis de varianza (ANVA) al modelo seleccionado y un análisis de superficie de respuesta para la elasticidad.

3.2.3 Cohesividad

3.2.3.1 Evaluación del análisis estadístico

Tabla 28

Prueba de falta de ajuste de los modelos aplicados a la variable respuesta cohesividad.

Modelo	SC	GL	CM	F-valor	p-valor	p-valor de falta de ajuste
Lineal	0,0046	2	0,0023	0,2173	0,8078	0,1212
Cuadrático	0,0387	3	0,0129	1,34	0,5228	0,1216
Cúbico especial	0,0126	1	0,0126	1,36	0,4837	0,1211
Cúbico	0,0579	3	0,0193	5,87	0,0761	0,3820
Cuártico especial	0,0187	3	0,0062	0,5476	0,7004	0,0737

Nota. Elaboración propia, 2020.

SC: Suma de cuadrados

GL: Grados de libertad

CM: Cuadrados medios

Tabla 29

Resumen estadístico de los modelos aplicados a la cohesividad.

Modelo	Desviación estándar	R ²	R ² ajustado	R ² predicho	PRESS
Lineal	0,1023	0,0349	-0,1259	-0,3773	0,1794
Cuadrático	0,0983	0,3323	-0,0386	-0,5685	0,2043
Cúbico especial	0,0964	0,4293	0,0013	-0,4259	0,1857
Cúbico	0,0573	0,8737	0,6465	-1,3129	0,3012
Cuártico especial	0,1067	0,4758	-0,2231	-3,5309	0,5901

Nota. Elaboración propia, 2020.

R²: Coeficiente de determinación

Con respecto a la Tabla 28 y Tabla 29, se evidencia que el modelo seleccionado por el software (cúbico) es estadísticamente no significativo, a pesar de que, la prueba de falta de ajuste presenta un p-valor no significativo de 0,3832 (p-valor LOF > 0,05), lo cual es deseable, sin embargo, el p-valor es insignificante ($\geq 0,05$) con un valor de 0,0761. Además, presenta un R² igual a 0,8737 y un R²_{ajustado} igual a 0,6465; este último valor siendo menor a 0,7; Gutiérrez y De la Vara (2012) sostienen que, si estos dos últimos valores no son mayores a 0,7, podemos confirmar que el modelo de regresión concerniente al modelo del pan de molde no tiene un ajuste estadístico satisfactorio. Se debe agregar también que, el R² predicho presenta un valor negativo igual a -1,3129, lo que significa, que el modelo no es un buen predictor. Por estos motivos, se deduce que el modelo

seleccionado no es significativo ni suficiente para explicar el vínculo existente entre los ingredientes (harina de algarroba, harina de kiwicha y almidón de papa) y la variable respuesta cohesividad, en este sentido, fue inviable realizar un análisis de varianza (ANVA) al modelo seleccionado y un análisis de superficie de respuesta para la cohesividad.

3.2.4 Color

3.2.4.1 Evaluación del análisis estadístico

Los resultados promedios obtenidos del análisis sensorial del color aplicado en los 15 tratamientos en investigación se detallan en la Tabla 21, donde se puede ver que, el mayor valor de color se obtuvo en el tratamiento 4 (mezcla de 10,00% harina de algarroba, 35,00% harina de kiwicha y 55,00% almidón de papa), mientras que el valor más bajo de color se obtuvo en el tratamiento 15 (mezcla de 7,50% harina de algarroba, 39,38% harina de kiwicha y 53,13% almidón de papa).

Tabla 30

Prueba de falta de ajuste de los modelos aplicados a la variable respuesta color.

Modelo	SC	GL	CM	F-valor	p-valor	p-valor de falta de ajuste
Lineal	3,26	2	1,63	2,11	0,1640	0,0302
Cuadrático	1,98	3	0,6613	0,8152	0,3465	0,0248
Cúbico especial	0,2820	1	0,2820	0,3214	0,4604	0,0206
Cúbico	6,72	3	2,24	37,10	0,0016	0,7003

Nota. Elaboración propia, 2020.

SC: Suma de cuadrados

GL: Grados de libertad

CM: Cuadrados medios

Tabla 31

Resumen estadístico de los modelos aplicados al color.

Modelo	Desviación estándar	R ²	R ² ajustado	R ² predicho	PRESS
Lineal	0,8797	0,2601	0,1368	-0,0101	12,68
Cuadrático	0,9007	0,4182	0,0950	-0,1632	14,60
Cúbico especial	0,9367	0,4407	0,0212	-0,2060	15,14
Cúbico	0,2457	0,9760	0,9327	0,7572	3,05

Nota. Elaboración propia, 2020.

R²: Coeficiente de determinación

Con respecto a la Tabla 30, se evidencia que el mejor modelo estadísticamente significativo que puede describir el impacto de al menos uno de los ingredientes sobre la variable respuesta color, es el modelo cúbico, ya que la prueba de falta de ajuste presenta un p-valor no significativo de 0,7003 (p-valor LOF > 0,05). Además, presenta un p-valor significativo de 0,0016; el cual tiene que ser inferior al nivel de significancia ($\alpha=0,05$), de este modo el modelo cúbico cumple con los requisitos para ser sugerido por el software.

Un R^2 de 0,9760 se interpreta como que el 97,60% de la variación en \hat{y} del color estimado del pan de molde libre de gluten es explicada por los ingredientes (harinas de algarroba, kiwicha y almidón de papa) en el modelo correspondiente (Gutiérrez Pulido y De la Vara Salazar, 2012).

Más aún, al obtener un R^2_{ajustado} igual a 0,9327 y un R^2_{predicho} igual a 0,7572; el modelo cúbico aplicado al color se ajusta nuevamente de manera apropiada a los resultados experimentales (Becerra, 2018).

Tabla 32

Análisis de varianza (ANVA) del modelo cúbico de la variable respuesta color.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-valor	p-valor	R^2	R^2 ajus
Modelo	12,25	9	1,36	22,25	0,0016	0,9760	0,9327
Falta de ajuste	0,0638	2	0,0319	0,4021	0,7003		
Error puro	0,2380	3	0,0793				
Total	12,55	14					

Nota. Elaboración propia, 2020.

Se puede observar en la Tabla 32, que el modelo cúbico sometido a un análisis de varianza (ANVA) mostró un valor F calculado de 22,25; superior en comparación al valor crítico (tabular) $F_{(9,5, \alpha=0,05)} = 4,77$; e inclusive mayor también a un nivel de confianza superior, el valor crítico $F_{(9,5, \alpha=0,01)} = 10,16$; lo que significa que este modelo es estadísticamente significativo, aún a un 99% de nivel de confianza. De igual modo, se observa que el valor F calculado para la falta de ajuste

fue no significativo con un valor igual a 0,4021; el cual es menor en comparación al valor crítico $F_{(2,3, \alpha=0,05)} = 9,55$.

El promedio de los resultados del color en los 15 tratamientos del pan de molde libre de gluten, fueron sometidos a un análisis de regresión múltiple correspondiente, en donde se consiguió la siguiente ecuación polinomial de tercer grado:

$$\hat{y} = 124,061*A - 23,66*B + 39,74*C - 135,205*A*B - 318,344*A*C - 21,036*B*C + 239,482*A*B*C - 102,743*A*B*(A-B) - 102,295*A*C*(A-C) + 132,982*B*C*(B-C) \quad (3)$$

Donde \hat{y} representa el color estimado (predicho o teórico) y las letras A, B y C, representan los siguientes ingredientes: harina de algarroba, harina de kiwicha y almidón de papa, respectivamente.

Los valores estimados de los coeficientes para los 15 tratamientos en estudio se pueden observar a detalle en la Tabla 21.

Tabla 33

Prueba de significancia para los coeficientes del modelo de regresión del color.

Término del modelo	Factor	Coeficiente estimado	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F-valor	p-valor
Mezcla lineal	(A) H. Algarroba	124,061	3,26	2	1,63	27,05	0,0021
	(B) H. Kiwicha	-23,660					
	(C) Almidón de papa	39,740					
Mezcla cuadrática	AB	-135,205	0,0782	1	0,0782	1,30	0,3066
	AC	-318,344	0,3688	1	0,3688	6,11	0,0564
	BC	-21,036	0,5776	1	0,5776	9,57	0,0271
Mezcla cúbica	ABC	239,482	0,2252	1	0,2252	3,73	0,1113
	AB(A-B)	-102,743	0,1521	1	0,1521	2,52	0,1733
	AC(A-C)	-102,295	0,1624	1	0,1624	2,69	0,1619
	BC(B-C)	132,982	5,24	1	5,24	86,77	0,0002

Nota. Elaboración propia, 2020.

En cuanto a los coeficientes de la Ecuación (3), fueron analizados por medio de la prueba F de Fisher, con el fin de excluir aquellos que son estadísticamente insignificantes (nivel de significación = 0,05) (Salazar Del Carpio, Elias P., y Salva R., 2007). La Tabla 44 detalla los resultados de ese análisis.

Empleando el criterio sugerido por Cornell (2011), que cuando el p-valor es superior a 0,05 o 0,01 (dependiendo del nivel de significación establecido), el coeficiente relacionado al referido factor es insignificante; por otro lado, si el p-valor del factor es inferior al nivel de significancia, queda establecida su significancia. Teniendo en cuenta lo antes mencionado, se afirma que los coeficientes de los factores A, B, C, BC y BC(B-C), son significativos, ya que, tienen un p-valor igual a 0,0021; 0,0021; 0,0021; 0,0271 y 0,0002; respectivamente. Por otra parte, el resto de factores presentan coeficientes no significativos, por tener un p-valor mayor al nivel de significancia ($\alpha=0,05$) como se puede ver en la Tabla 33.

3.2.4.2 Efecto de los ingredientes sobre el color del pan de molde libre de gluten

Con el modelo matemático cúbico seleccionado, se graficó y analizó el efecto de los ingredientes de la mezcla (harinas de algarroba, kiwicha y almidón de papa) sobre la variable dependiente color del pan de molde libre de gluten a través de un gráfico de superficie respuesta (representación tridimensional), gráfico de ploteo de contornos (representación bidimensional) y gráfico de trazas (Trazos de Cox), los cuales se observan en la Figuras 21, 22 y 23, respectivamente.

Soledispa Navarrete y Moran Bravo (2013), en su investigación nos dicen que el color de la miga del pan depende del tipo de harina que se utilice, a diferencia del color de la corteza del pan que se debe a las reacciones de Maillard y de caramelización, por ese motivo, se puede observar en los tratamientos que, el mayor valor de color se obtuvo en el tratamiento 4 (10,00% harina de algarroba, 35,00% harina de kiwicha y 55,00% almidón de papa), mientras que el valor más bajo de color se obtuvo en el tratamiento 15 (7,50% harina de algarroba, 39,38% harina de kiwicha y 53,13% almidón de papa), esto nos conlleva a determinar que la harina de algarroba influye en gran parte sobre el color de miga del pan de molde.

En la Figuras 21 y Figura 22 se detalla a través de los colores en los gráficos que, en función del aumento del valor de la variable respuesta en estudio, el color varía gradualmente desde azul hasta

rojo, pasando por el color verde y amarillo. En este sentido, se deduce que, las proporciones con menor contenido de harina de kiwicha, influyen negativamente en el color del producto terminado, es decir, a menos contenido de este ingrediente, menor será el valor obtenido en el color. Por otro lado, esta variable respuesta aumenta, cuando la mezcla presenta mayor proporción de harina de algarroba y harina de kiwicha en conjunto.

Gutiérrez y de la Vara (2008) (citado por Pérez Ramos 2019) declara que la gráfica de superficie respuesta es aquella que representa el modelo seleccionado con un ajuste estadístico significativo, además de explicar la relación de la variable respuesta en cada punto de la región experimental a evaluar. Para analizar más a detalle qué tan sensible es la variable respuesta a la desviación del tratamiento cerca de la mezcla de referencia (valor del centroide), se consideró utilizar el gráfico de trazas (Trazos de Cox), que se muestra la Figura 23. Se debe agregar que, el empleo de este gráfico da a conocer por medio de una mezcla de referencia, cómo es que varía el valor de la variable respuesta al incrementar o disminuir el contenido de cada componente de la mezcla.

En este gráfico de trazas de Cox (Figura 23), se manifiesta claramente que la harina de algarroba (A) provoca un ligero aumento del color cuando el contenido disminuye de 7,5 % hasta 5,75 % y también cuando esta aumenta desde 9,25 % hasta 10 %. En el caso de la harina de kiwicha (B), se da a conocer que, el valor del color se reduce al tiempo que aumenta el contenido de la harina de kiwicha hasta un porcentaje de 38,13, para luego aumentar considerablemente el color hasta un porcentaje de harina de kiwicha de 43,88. Con respecto al almidón de papa (C), se expresa un comportamiento contrario a la harina de kiwicha, es decir, el valor del color aumenta a medida que disminuye el contenido del almidón de papa hasta un 47,19 %, para luego disminuir considerablemente el color hasta un 52,75 % de almidón de papa.

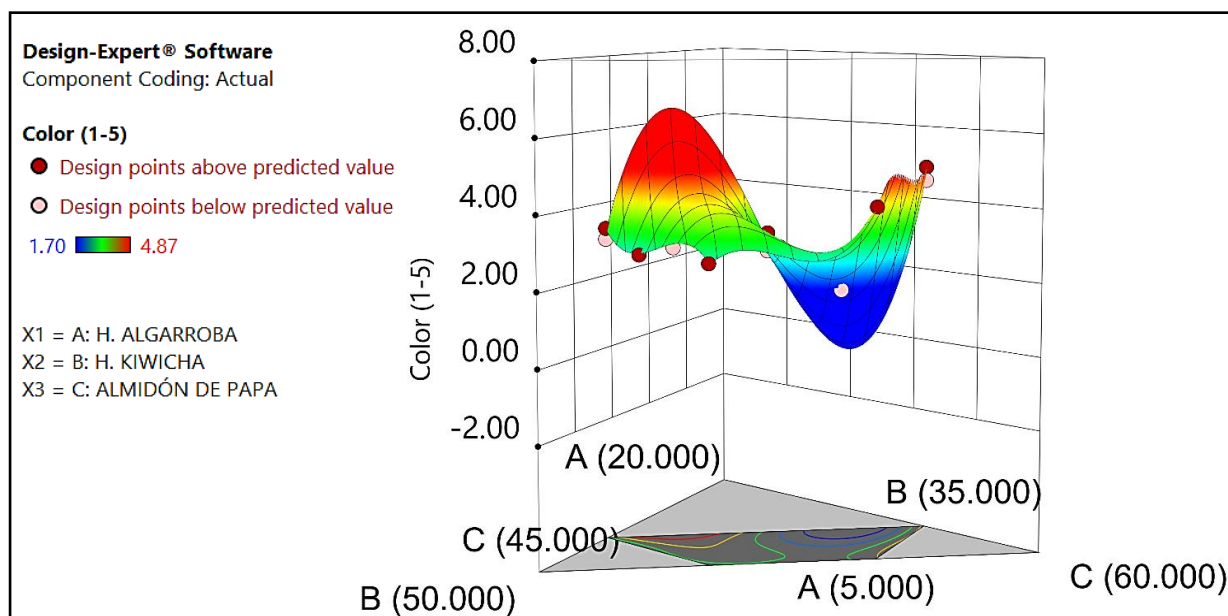
Hay que destacar que, cuando las harinas presentan un contenido considerable de ceniza, esto suele afectar al color de las mismas, pues, mientras menor sea la eliminación del pericarpio durante la

molienda del grano, los valores de ceniza serán mayores y de esa manera la harina tendrá una coloración más oscura. Sin embargo, el color del pan, el cual es más oscuro que un pan de molde hecho de harina de trigo, se debe a la naturaleza misma de las harinas utilizadas, las cuales son más oscuras que la harina de trigo (Islas Rubio, MacRitchie, Gandikota, y Hou, 2005).

Pese a lo mencionado anteriormente, los jueces encontraron el pan de molde aceptable, sobre todo en los tratamientos con mayor porcentaje de harinas de kiwicha y algarroba, pues, la variación del color sobre la miga mostró un indicador de ser un producto más saludable y nutritivo.

Figura 21

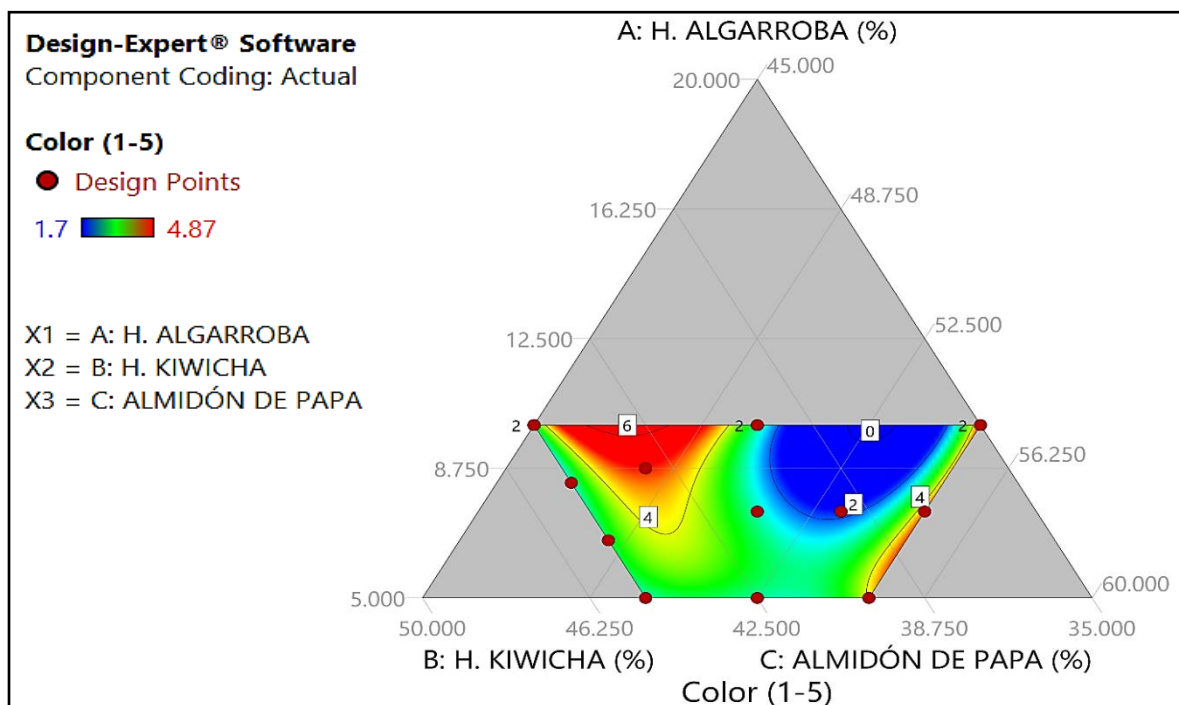
Gráfico de superficie de respuesta tridimensional del color.



Nota. Elaboración propia, 2020.

Figura 22

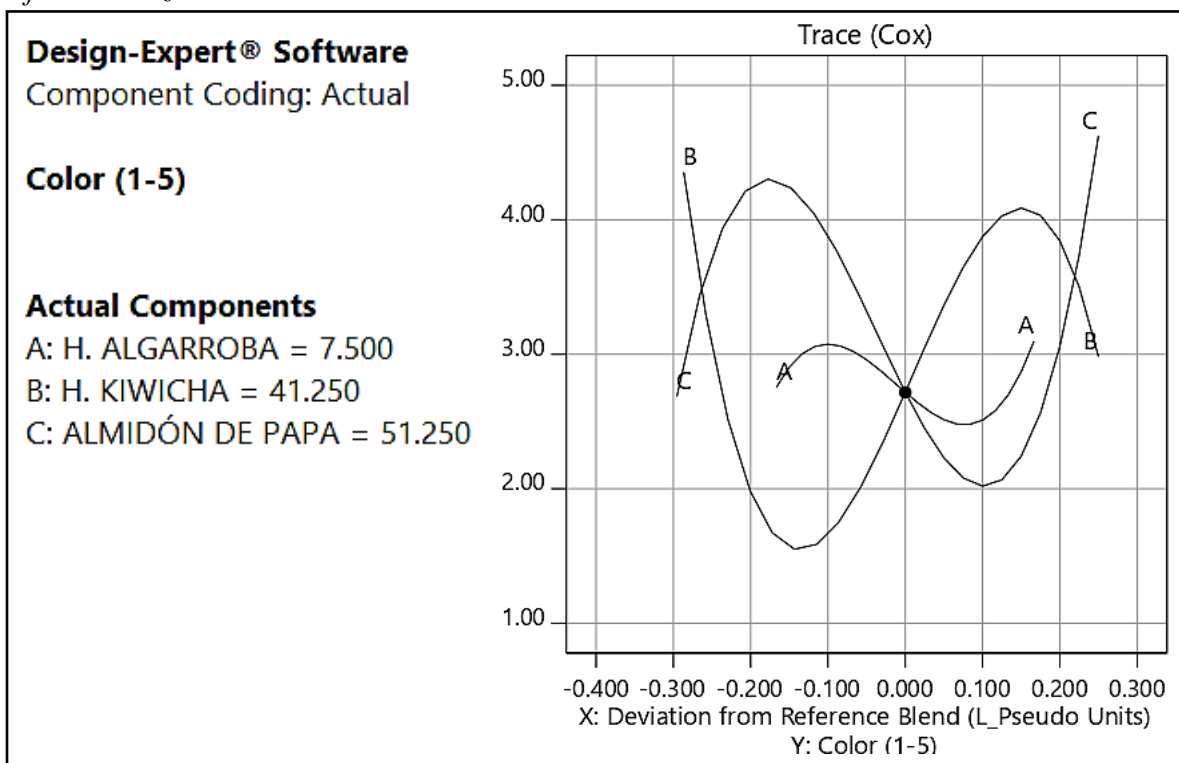
Gráfico de ploteo de contornos bidimensional del color.



Nota. Elaboración propia, 2020.

Figura 23

Gráfico de trazas de Cox del color.



Nota. Elaboración propia, 2020.

3.2.5 Olor

3.2.5.1 Evaluación del análisis estadístico

Tabla 34

Prueba de falta de ajuste de los modelos aplicados a la variable respuesta olor.

Modelo	SC	GL	CM	F-valor	p-valor	p-valor de falta de ajuste
Lineal	1,33	2	0,6673	1,58	0,2466	0,4265
Cuadrático	1,84	3	0,6146	1,71	0,2113	0,4847
Cúbico especial	0,4905	1	0,4905	1,43	0,2199	0,4986
Cúbico	1,23	3	0,4107	1,36	0,2678	0,5098
Cuártico especial	1,39	3	0,4645	1,51	0,2320	0,5306

Nota. Elaboración propia, 2020.

SC: Suma de cuadrados

GL: Grados de libertad

CM: Cuadrados medios

Tabla 35

Resumen estadístico de los modelos aplicados al olor.

Modelo	Desviación estándar	R ²	R ² ajustado	R ² predicho	PRESS
Lineal	0,6505	0,2081	0,0762	-0,2808	8,21
Cuadrático	0,5994	0,4957	0,2155	-0,6966	10,88
Cúbico especial	0,5856	0,5721	0,2513	-0,7530	11,24
Cúbico	0,5498	0,7643	0,3400	-2,3980	21,79
Cuártico especial	0,5539	0,7130	0,3303	-1,5842	16,57

Nota. Elaboración propia, 2020.

R²: Coeficiente de determinación

Con respecto a la Tabla 34 y Tabla 35, se evidencia que el modelo seleccionado por el software (cuártico especial) es estadísticamente no significativo, a pesar de que, la prueba de falta de ajuste presenta un p-valor no significativo de 0,5306 (p-valor LOF > 0,05), lo cual es deseable, sin embargo, el p-valor es insignificante ($\geq 0,05$) con un valor de 0,2320. Además, presenta un R² igual a 0,7130; R²_{ajustado} igual a 0,3303 este último valor siendo menor a 0,7; Gutiérrez y De la Vara (2012) sostienen que, si estos dos últimos valores no son mayores a 0,7, podemos confirmar que el modelo de regresión concerniente al modelo del pan de molde no tiene un ajuste estadístico satisfactorio. Se debe agregar también que, el R²_{predicho} presenta un valor negativo igual a -1,5842, lo que significa, que el modelo no es un buen predictor.

Por estos motivos, se deduce que el modelo seleccionado no es significativo ni suficiente para explicar el vínculo existente entre los ingredientes (harina de algarroba, harina de kiwicha y almidón de papa) y la variable respuesta olor, en este sentido, fue inviable realizar un análisis de varianza (ANVA) al modelo seleccionado y un análisis de superficie de respuesta para el olor.

3.2.6 Sabor

3.2.6.1 Evaluación del análisis estadístico

Tabla 36

Prueba de falta de ajuste de los modelos aplicados a la variable respuesta sabor.

Modelo	SC	GL	CM	F-valor	p-valor	p-valor de falta de ajuste
Lineal	0,5467	2	0,2733	1,05	0,3813	0,4623
Cuadrático	1,62	3	0,5387	3,19	0,1043	0,6847
Cúbico especial	0,0455	1	0,0455	0,2471	0,1797	0,6255
Cúbico	0,3144	3	0,1048	0,4518	0,4393	0,4124
Cuártico especial	0,3845	3	0,1282	0,6774	0,2712	0,5838

Nota. Elaboración propia, 2020.

SC: Suma de cuadrados

GL: Grados de libertad

CM: Cuadrados medios

Tabla 37

Resumen estadístico de los modelos aplicados al sabor.

Modelo	Desviación estándar	R ²	R ² ajustado	R ² predicho	PRESS
Lineal	0,5112	0,1484	0,0065	-0,4368	5,29
Cuadrático	0,4109	0,5873	0,3580	-0,2892	4,75
Cúbico especial	0,4293	0,5997	0,2994	-0,4722	5,42
Cúbico	0,4816	0,6850	0,1181	-4,5351	20,38
Cuártico especial	0,4350	0,6917	0,2807	-0,7148	6,32

Nota. Elaboración propia, 2020.

R²: Coeficiente de determinación.

Con respecto a la Tabla 36 y Tabla 37, se evidencia que el modelo seleccionado por el software (cuártico especial) es estadísticamente no significativo, a pesar de que, la prueba de falta de ajuste presenta un p-valor no significativo de 0,6847 (p-valor LOF > 0,05), lo cual es deseable, sin embargo, el p-valor es insignificante (> = 0,05) con un valor de 0,1043. Además, presenta un R² igual a 0,5873; R²_{ajustado} igual a 0,3580; valores que no son mayores a 0,7; Gutiérrez y De la Vara

(2012) sostienen que, si estos dos últimos valores no son mayores a 0,7, podemos confirmar que el modelo de regresión concerniente al modelo del pan de molde no tiene un ajuste estadístico satisfactorio. Se debe agregar también que, el R^2_{predicho} presenta un valor negativo igual a -0,2892, lo que significa, que el modelo no es un buen predictor.

Por estos motivos, se deduce que el modelo seleccionado no es significativo ni suficiente para explicar el vínculo existente entre los ingredientes (harina de algarroba, harina de kiwicha y almidón de papa) y la variable respuesta sabor, en este sentido, fue inviable realizar un análisis de varianza (ANVA) al modelo seleccionado y un análisis de superficie de respuesta para el sabor.

3.2.7 Textura

3.2.7.1 Evaluación del análisis estadístico

Los resultados promedios obtenidos del análisis sensorial de la textura aplicado en los 15 tratamientos en investigación se indican en la Tabla 21, donde se puede ver que, el mayor valor de textura se obtuvo en el tratamiento 8 (mezcla de 10,00% harina de algarroba, 40,00% harina de kiwicha y 50,00% almidón de papa), mientras que el valor más bajo de textura se obtuvo en el tratamiento 5 (mezcla de 8,75% harina de algarroba, 43,13% harina de kiwicha y 48,13% almidón de papa).

Tabla 38

Prueba de falta de ajuste de los modelos aplicados a la variable respuesta textura.

Modelo	SC	GL	CM	F-valor	p-valor	p-valor de falta de ajuste
Lineal	0,2295	2	0,1147	0,2848	0,7571	0,0720
Cuadrático	1,48	3	0,4927	1,32	0,5122	0,0714
Cúbico especial	1,26	1	1,26	4,80	0,1992	0,1102
Cúbico	1,59	3	0,5284	5,16	0,0466	0,2977
Cuártico especial	2,88	3	0,9608	12,16	0,0132	0,4762

Nota. Elaboración propia, 2020.

SC: Suma de cuadrados

GL: Grados de libertad

CM: Cuadrados medios

Tabla 39

Resumen estadístico de los modelos aplicados a la textura.

Modelo	Desviación estándar	R ²	R ² ajustado	R ² predicho	PRESS
Lineal	0,6347	0,0453	-0,1138	-0,4594	7,39
Cuadrático	0,6107	0,3372	-0,0310	-0,7796	9,01
Cúbico especial	0,5120	0,5859	0,2753	-0,4349	7,27
Cúbico	0,3199	0,8989	0,7170	-1,0276	10,27
Cuártico especial	0,2811	0,9064	0,7815	0,5916	2,07

Nota. Elaboración propia, 2020.

R²: Coeficiente de determinación

Con respecto a la Tabla 38, se evidencia que el mejor modelo estadísticamente significativo que puede describir el impacto de al menos uno de los ingredientes sobre la variable respuesta textura, es el modelo cuártico especial, ya que la prueba de falta de ajuste presenta un p-valor no significativo de 0,4762 (p-valor LOF > 0,05), es deseable que este valor sea superior al nivel de significancia, porque señala que el modelo provee un ajuste apropiado a los datos (Pérez Ramos, 2019). Además, presenta un p-valor de 0,0132; el cual tiene que ser inferior al nivel de significancia ($\alpha=0,05$), de este modo el modelo cuártico especial cumple con los requisitos para ser sugerido por el software. Un R² de 0,9064 se interpreta como que el 90,64% de la variación en \hat{y} de la textura estimada del pan de molde libre de gluten es explicada por los ingredientes (harinas de algarroba, kiwicha y almidón de papa) en el modelo correspondiente (Gutiérrez Pulido y De la Vara Salazar, 2012). Más aún, al obtener un R²_{ajustado} igual a 0,7815 y un R²_{predicho} igual a 0,5916; el modelo cuártico especial aplicado a la textura se ajusta nuevamente de manera apropiada a los resultados experimentales (Becerra, 2018).

Tabla 40

Análisis de varianza (ANVA) del modelo cuártico especial de la variable respuesta textura.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-valor	p-valor	R ²	R ² ajus
Modelo	4,59	8	0,5737	7,26	0,0132	0,9064	0,7815
Falta de ajuste	0,2460	3	0,0820	1,08	0,4762		
Error puro	0,2282	3	0,0761				
Total	5,06	14					

Nota. Elaboración propia, 2020.

Se puede observar en la Tabla 40, que el modelo cuártico especial sometido a un análisis de varianza (ANVA) mostró un valor F calculado de 7,26; mayor en comparación al valor crítico (tabular) $F_{(8,6, \alpha=0,05)} = 4,15$; e inclusive mayor también a un nivel de confianza superior, el valor crítico $F_{(8,6, \alpha=0,025)} = 5,60$; lo que significa que este modelo es estadísticamente significativo, aún a un 97,5% de nivel de confianza. De igual modo, se observa que el valor F calculado para la falta de ajuste fue no significativo, con un valor igual a 1,08; el cual es menor en comparación al valor crítico $F_{(3,3, \alpha=0,05)} = 9,28$.

El promedio de los resultados de la textura en los 15 tratamientos del pan de molde libre de gluten, fueron sometidos a un análisis de regresión múltiple correspondiente, en donde se consiguió la siguiente ecuación polinomial de cuarto grado:

$$\hat{y} = 66,33*A + 10,39*B + 10,85*C - 116,96*A*B - 120,30*A*C - 32,97*B*C - 55,46*A^2*B*C + 144,69*A*B^2*C + 292,79*A*B*C^2 \quad (4)$$

Donde \hat{y} representa la textura estimada (predicho o teórico) y las letras A, B y C, representan los siguientes ingredientes: harina de algarroba, harina de kiwicha y almidón de papa, respectivamente. Los valores estimados de los coeficientes para los 15 tratamientos en estudio se pueden observar a detalle en la Tabla 21.

Tabla 41

Prueba de significancia para los coeficientes del modelo de regresión de la textura.

Término del modelo	Factor	Coeficiente estimado	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F-valor	p-valor
Mezcla lineal	(A) H. Algarroba	66,33	0,2295	2	0,1147	1,45	0,3060
	(B) H. Kiwicha	10,39					
	(C) Almidón de papa	10,85					
Mezcla cuadrática	AB	-116,96	0,9280	1	0,9280	11,74	0,0140
	AC	-120,30	0,9314	1	0,9314	11,79	0,0139
	BC	-32,97	1,05	1	1,05	13,29	0,0108
Mezcla especial cuártica	A ² BC	-55,46	0,0222	1	0,0222	0,2815	0,6148
	AB ² C	144,69	0,2269	1	0,2269	2,87	0,1411
	ABC ²	292,79	1,32	1	1,32	16,67	0,0065

Nota. Elaboración propia, 2020.

En cuanto a los coeficientes de la Ecuación (4), estos fueron analizados por medio de la prueba F de Fisher, con el fin de excluir aquellos que son estadísticamente insignificantes (nivel de significación = 0,05) (Salazar Del Carpio, Elias P., y Salva R., 2007). La Tabla 41 detalla los resultados de ese análisis.

Empleando el criterio sugerido por Cornell (2011), que cuando el p-valor es superior a 0,05 o 0,01 (dependiendo del nivel de significación establecido), el coeficiente relacionado al referido factor es insignificante; por otro lado, si el p-valor del factor es inferior al nivel de significancia, queda establecida su significancia. Teniendo en cuenta lo antes mencionado, se afirma que los coeficientes de los factores AB, AC, BC y ABC², son significativos, ya que, tienen un p-valor igual a 0,0140; 0,0139; 0,0108 y 0,0065, respectivamente. Por otra parte, el resto de factores presentan coeficientes no significativos, por tener un p-valor mayor al nivel de significancia ($\alpha=0,05$) como se puede ver en la Tabla 41.

3.2.7.2 Efecto de los ingredientes sobre la textura del pan de molde libre de gluten

Con el modelo matemático cuártico especial seleccionado, se graficó y analizó el efecto de los ingredientes de la mezcla (harinas de algarroba, kiwicha y almidón de papa) sobre la variable

dependiente textura del pan de molde libre de gluten a través de un gráfico de superficie respuesta (representación tridimensional), gráfico de ploteo de contornos (representación bidimensional) y gráfico de trazas (Trazos de Cox), los cuales se observan en la Figura 24, Figura 25 y Figura 26, respectivamente.

Zegarra Samamé (2018), menciona que el almidón influye en gran proporción en la firmeza del pan de molde libre de gluten debido a que el almidón durante el horneado del pan se hincha y se produce la gelatinización, pero este aún conserva su estructura granular, haciendo posible la expansión de la masa, el aumento de volumen del pan y mejora la miga del pan, por tanto durante los tratamientos analizados el mayor valor de textura se obtuvo en el tratamiento 8 (10,00% harina de algarroba, 40,00% harina de kiwicha y 50,00% almidón de papa), mientras que el valor más bajo de textura se obtuvo en el tratamiento 5 (8,75% harina de algarroba, 43,13% harina de kiwicha y 48,13% almidón de papa), concluyendo que a mayor porcentaje de almidón, mejor será la firmeza del pan.

En la Figura 24 y Figura 25, se detalla a través de los colores en los gráficos que, en función del aumento del valor de la variable respuesta en estudio, el color varía gradualmente desde azul hasta rojo, pasando por el color verde y amarillo. En este sentido, se deduce que, las proporciones con mayor porcentaje de harina de algarroba y almidón de papa en conjunto, influyen positivamente en la textura del producto terminado, es decir, a más contenido de estos ingredientes, mayor será el valor obtenido en su textura. Por otro lado, esta variable respuesta disminuye, cuando la mezcla presenta mayor proporción de harina de kiwicha.

Gutiérrez y de la Vara (2008) (citado por Pérez Ramos 2019) declaran que la gráfica de superficie respuesta es aquella que representa el modelo seleccionado con un ajuste estadístico significativo,

además de explicar la relación de la variable respuesta en cada punto de la región experimental a evaluar.

Para analizar más a detalle qué tan sensible es la variable respuesta a la desviación del tratamiento cerca de la mezcla de referencia (valor del centroide), se consideró utilizar el gráfico de trazas (Trazos de Cox), que se muestra la Figura 26. Se debe agregar que, el empleo de este gráfico da a conocer por medio de una mezcla de referencia, cómo es que varía el valor de la variable respuesta al incrementar o disminuir el contenido de cada componente de la mezcla.

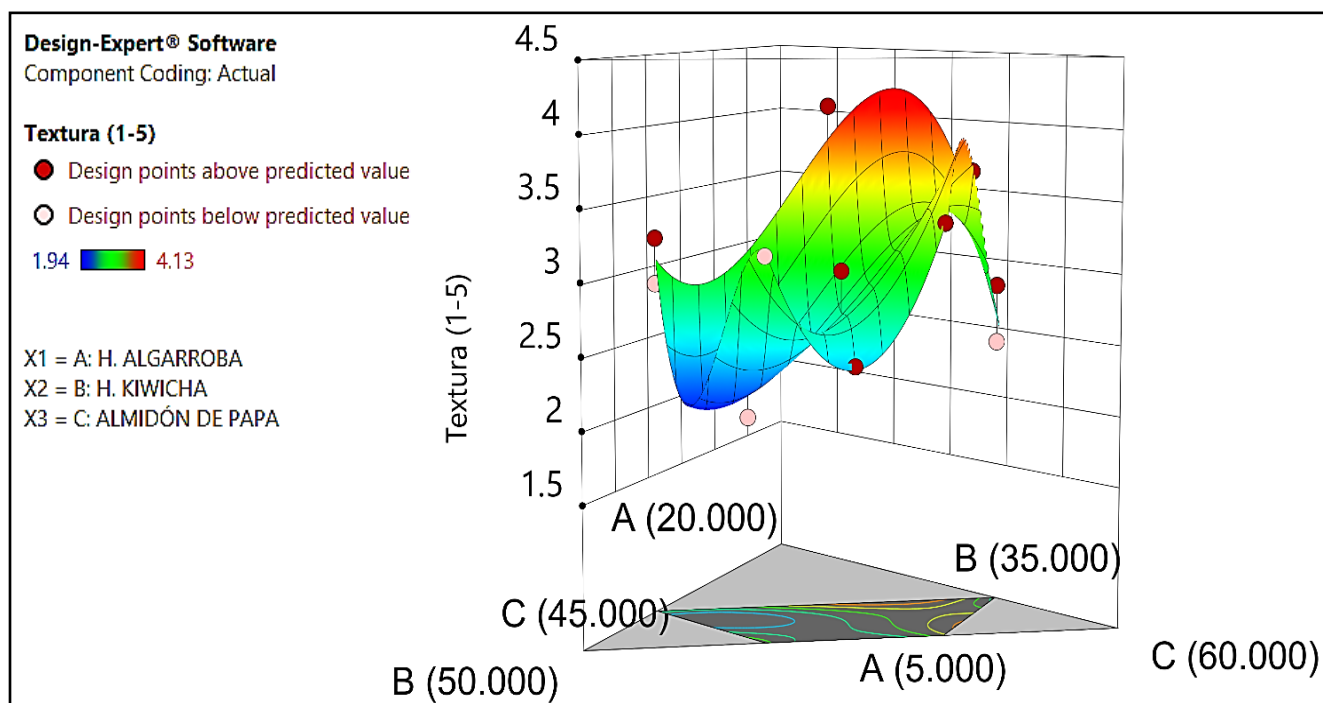
En este gráfico de trazas de Cox (ver Figura 26), se manifiesta claramente que la harina de algarroba (A) al tiempo que incrementa su proporción en el contenido de la mezcla, provoca en la textura una variación directamente proporcional a este ingrediente, es decir, la textura también aumenta su valor. En el caso de la harina de kiwicha (B), se observa que, valores mayores a 41,25 % conllevan a una textura baja hasta un 43,13 % aproximadamente para luego incrementarse levemente; sin embargo, valores menores al 41,25 % produce que la textura sea mayor hasta un 35,94 % aproximadamente. Con respecto al almidón de papa (C), señala un trazo de Cox inclinado hacia la derecha, lo que significa que, conforme aumente la proporción de este ingrediente en la mezcla, la textura aumentará de igual manera hasta alcanzar un valor semejante de 3,7; igual que la harina de algarroba en su máxima concentración (10%).

Los gránulos de almidón, al estar bajo un tratamiento térmico, experimentan ciertos cambios físicos, como gelatinización o retrogradación, lo que impacta en las características finales del producto terminado, como el endurecimiento del mismo. Además, la actividad de agua, es otro factor que también determinará la calidad de la textura del pan de molde terminado, a su vez, con buenas prácticas de almacenamiento, se pueden evitar en el producto terminado texturas pegajosas y, por lo tanto, inaceptables (Badui, 2012). Considerando esto, se puede argumentar que la alta concentración de almidón de papa, al igual que la harina de algarroba, en cada uno de los

tratamientos, terminó influyendo de manera positiva y siendo de nivel aceptable a la evaluación de los jueces.

Figura 24

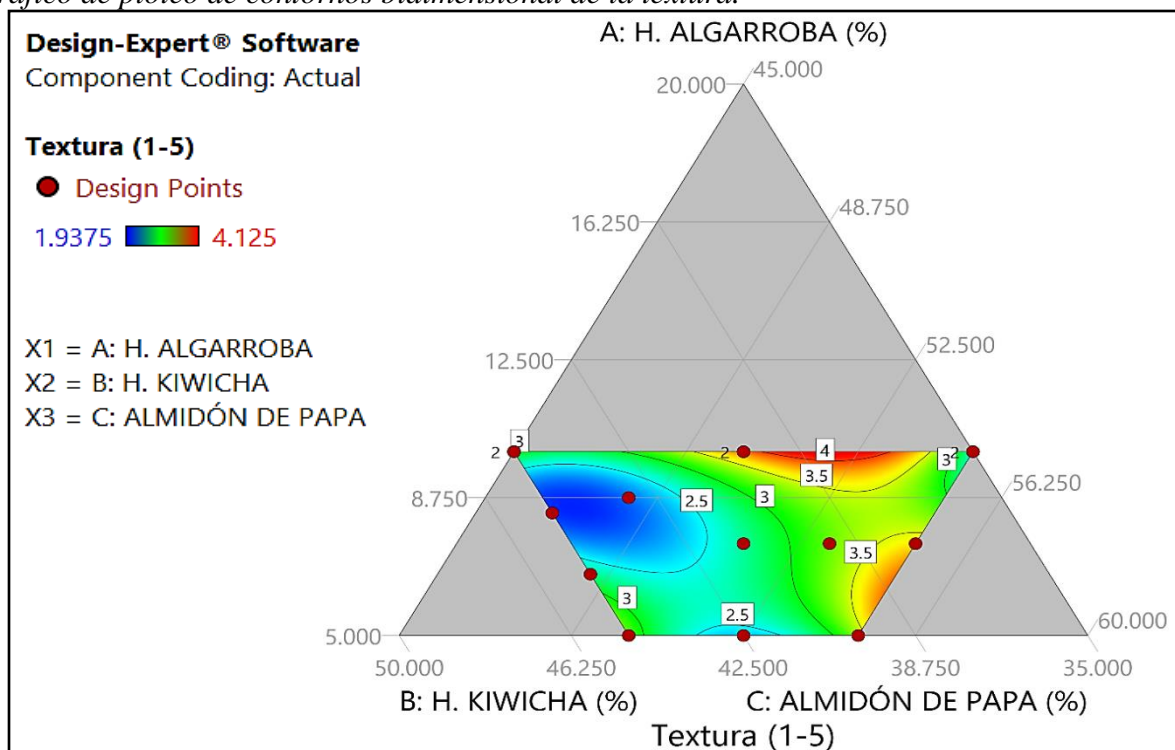
Gráfico de superficie de respuesta tridimensional de la textura.



Nota. Elaboración propia, 2020.

Figura 25

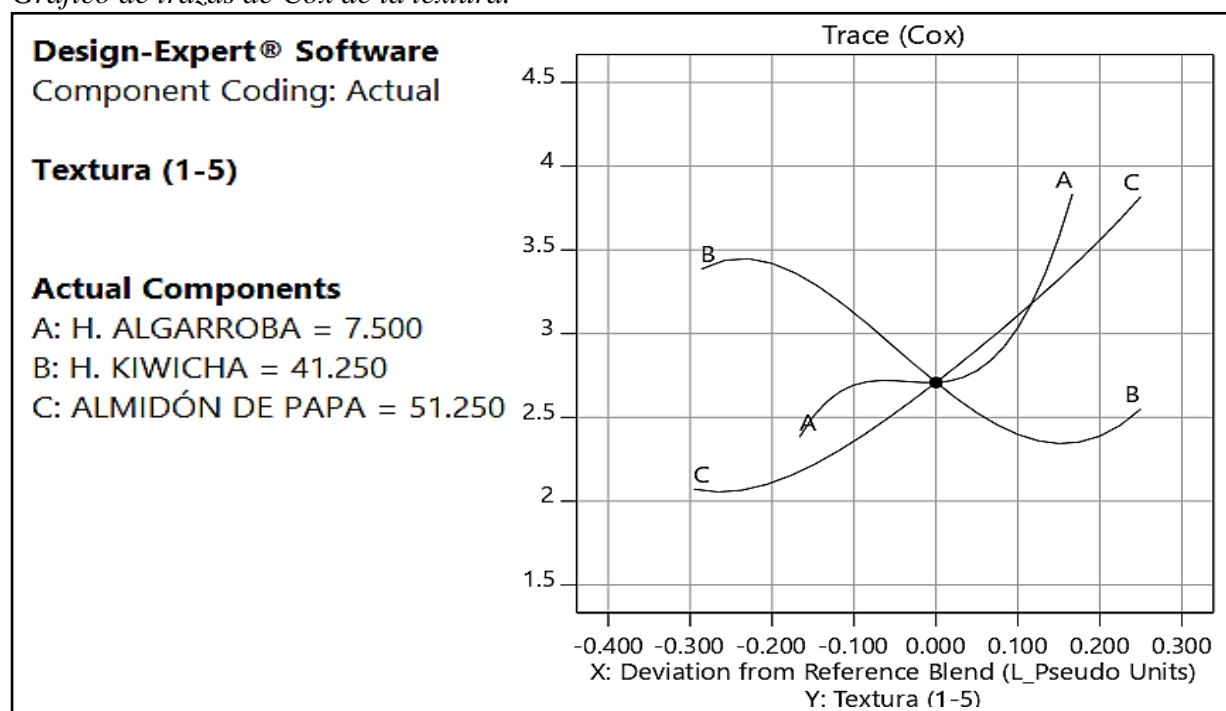
Gráfico de ploteo de contornos bidimensional de la textura.



Nota. Elaboración propia, 2020.

Figura 26

Gráfico de trazas de Cox de la textura.



Nota. Elaboración propia, 2020.

3.3 Optimización de variables respuesta

Luego de evaluar cada una de las variables dependientes y determinar cuáles fueron estadísticamente significativas, se realizó la optimización del pan de molde libre de gluten. Para esto, se tuvo que realizar los análisis de estas variables respuestas al pan de molde patrón. Los resultados se muestran en la Tabla 42.

Tabla 42

Resultados de los análisis de las variables respuesta del pan de molde patrón

Muestra	Firmeza (N)	Color	Textura sensorial
Pan control 1	11,113	3,7	3,9
Pan control 2	9,882	3,8	3,8
Pan control 3	8,796	3,8	3,9
Promedio	9,930	3,8	3,9

Elaboración propia, 2020.

Una vez obtenidos los resultados del pan de molde patrón, se ingresaron estos valores como restricciones para el pan de molde optimizado en el software Design-Expert 11.0®. Se consideraron a todas las variables respuesta evaluadas con el mismo nivel de importancia. En seguida, se obtuvo el tratamiento que cumplió con todas las restricciones establecidas, en la Tabla 44 se muestra el tratamiento con mayor nivel de deseabilidad.

Tabla 43

Restricciones para la optimización

Variable	Criterio de optimización	Límite inferior	Límite superior
Harina de algarroba	En rango	5%	10%
Harina de kiwicha	En rango	35%	45%
Almidón de papa	En rango	45%	55%
Firmeza (N)	Objetivo		9,930
Color	En rango	3	4
Textura sensorial	En rango	3	4

Elaboración propia, 2020.

El software originó un tratamiento que cumplía con las restricciones establecidas para obtener una formulación optimizada de nuestro producto, la cual se puede verificar en la Tabla 44 con una deseabilidad relativamente alta y sus resultados de las variables respuestas significativas estimadas por el Design-Expert 11.0®.

Tabla 44

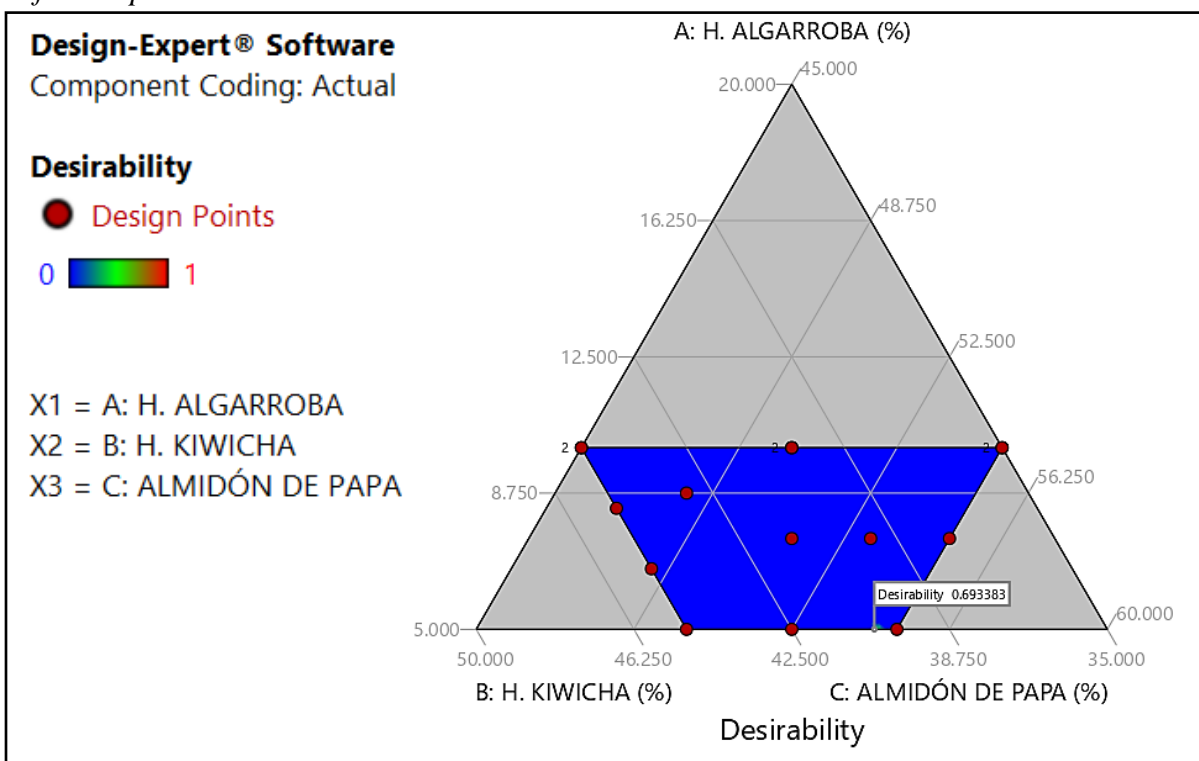
Tratamiento optimizado obtenido con mayor deseabilidad

Tratamiento	Harina de algarroba	Harina de kiwicha	Almidón de papa	Firmeza (N)	Color	Textura sensorial	Deseabilidad
Tratamiento optimizado	5,000%	40,536%	54,464%	10,272	3,3	3,0	0,693

Elaboración propia, 2020.

En la Figura 27, se puede visualizar gráficamente la zona de mayor deseabilidad generada por el programa, además, en las Figuras 28, 29 y 30, se describe gráficamente la zona de mayor deseabilidad de cada variable respuesta significativa como firmeza, color y textura sensorial, respectivamente.

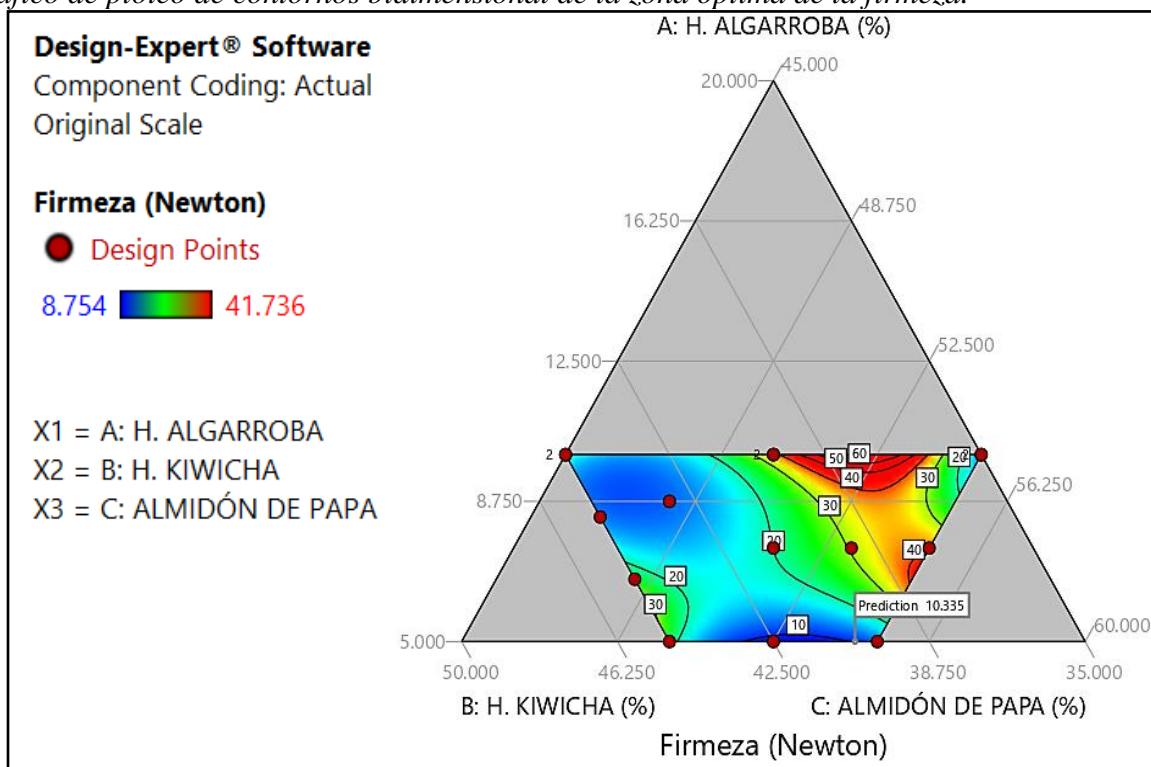
Figura 27

Gráfico de ploteo de contornos bidimensional de deseabilidad.

Nota. Elaboración propia, 2020.

Figura 28

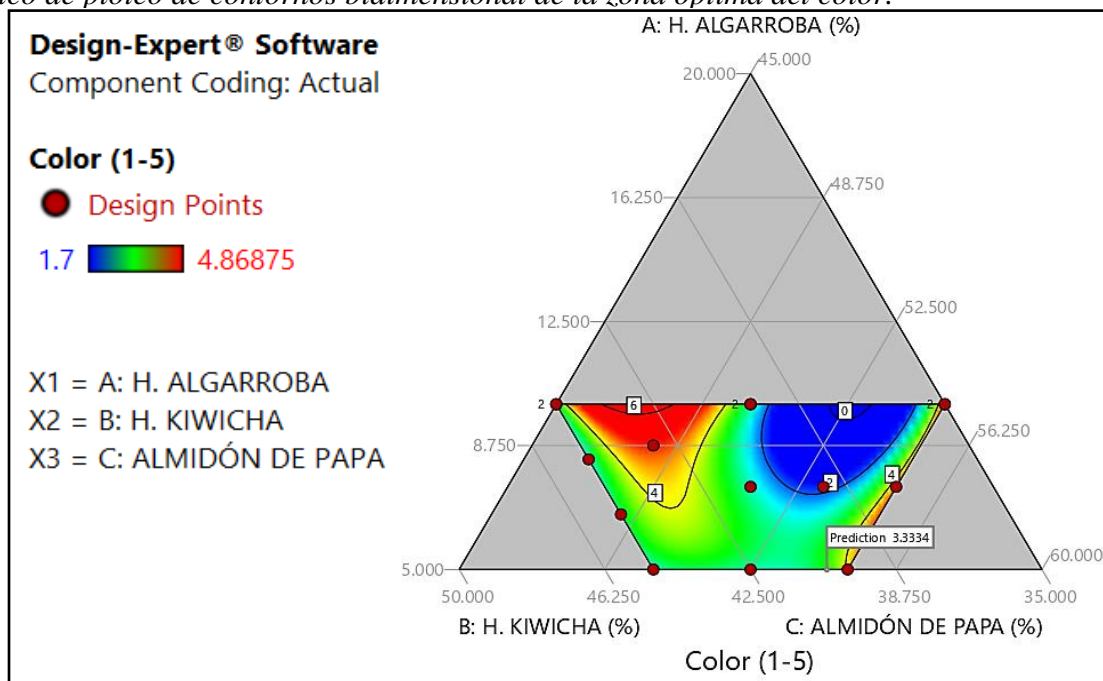
Gráfico de ploteo de contornos bidimensional de la zona óptima de la firmeza.



Nota. Elaboración propia, 2020.

Figura 29

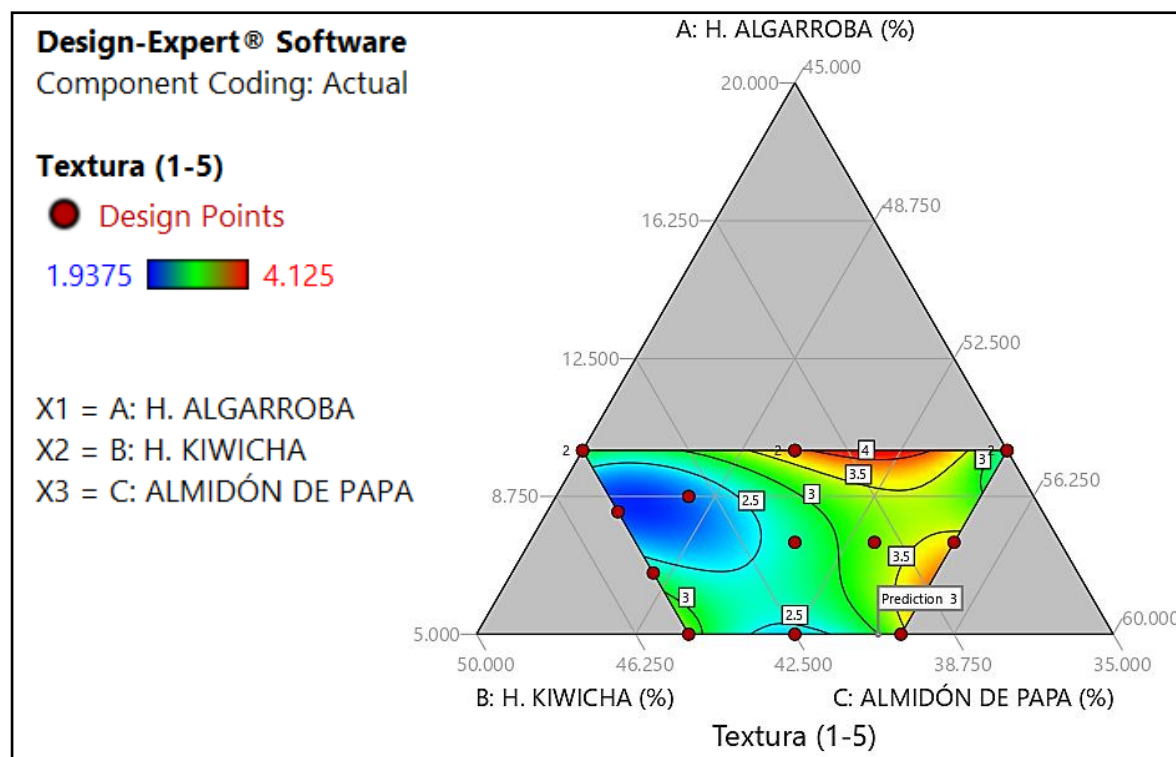
Gráfico de ploteo de contornos bidimensional de la zona óptima del color.



Nota. Elaboración propia, 2020.

Figura 30

Gráfico de ploteo de contornos bidimensional de la zona óptima de la textura.



Nota. Elaboración propia, 2020.

3.4 Resultados del análisis microbiológico y químico-proximal del pan de molde optimizado

Tabla 45

Valores microbiológicos obtenidos en el pan de molde optimizado.

Agente microbiano	Resultado
Mohos (ufc/g)	0
<i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	0
<i>Salmonella sp.</i> (ausencia/25 g)	Ausencia

Nota. Elaboración propia, 2020.

En cuanto a los valores obtenidos, se puede afirmar que el pan de molde libre de gluten se encuentra dentro de los límites establecidos y cumplen las disposiciones de la norma vigente peruana correspondiente, por lo tanto, es seguro elaborar los panes de molde a base de harinas de algarroba, kiwicha y almidón de papa según la actual legislación peruana, “Reglamento sobre vigilancia y control Sanitario de Alimentos y Bebidas (DS N° 004-2014-SA)”.

Tabla 46

Composición químico proximal del pan de molde optimizado.

Análisis	Unidad	Pan optimizado
Carbohidratos	g/100 g	43,21 \pm 0,14
Proteínas	g/100 g	13,27 \pm 0,09
Grasas	g/100 g	10,82 \pm 0.04
Humedad	g/100 g	27,77 \pm 0,03
Cenizas	g/100 g	2,65 \pm 0.04
Fibra	g/100 g	2,28 \pm 0,04

Nota. Los valores mostrados son el promedio (n=3) \pm desviación estándar. Elaboración propia, 2020.

En cuanto a los valores obtenidos del análisis químico proximal del pan de molde a base de harinas de algarroba, kiwicha y almidón de papa, comparado con el pan de molde libre de gluten patrón y su respectiva desviación estándar detallada en la tabla 46, se muestra el aumento del valor proteico en el pan de molde libre de gluten optimizado (13,27%) en comparación con el pan del molde libre de gluten patrón (4,0%), aumento en porcentaje de carbohidratos en el pan optimizado (43,21%) con respecto al pan de molde patrón (34%), aumento en fibra del pan de molde sin gluten optimizado (2,28%) con respecto al pan de molde libre de gluten patrón (1,5%), en grasa (10,82%) con respecto a la grasa presente en el pan de molde patrón (3,8%); se observa un aumento notorio, esto se debe a que el harina de algarroba presenta un 3,40 % y la harina de kiwicha un 7,2% y el almidón de papa un 0,3%.

IV. CONCLUSIONES

- Se optimizaron las características texturales y sensoriales del pan de molde a base de harinas de *Prosopis pallida*, *Amaranthus caudatus* y almidón de papa, con variables respuestas significativas de 10,272 N (firmeza), 3,3 (color) y 3,0 (textura sensorial); con la formulación óptima de 5,000% (harina de algarroba), 40,536% (harina de kiwicha) y 54,464% (almidón de papa).
- Se caracterizó la harina de algarroba, kiwicha y almidón de papa mediante los análisis proximales, determinación de contenido de gluten y microbiológicos.
- Se formuló la composición de las masas a base de harina de algarroba, harina de kiwicha y almidón de papa y determinaron los parámetros para la elaboración del pan de molde libre de gluten, tales como recepción de materia prima e ingredientes, pesado, mezclado, primer batido (300 rpm), segundo batido (600 rpm), pesado (650 gramos), moldeado, fermentación (30°C por 30 minutos a 80% HR), horneado (145°C por 60 minutos), enfriado, rebanado, empacado y almacenado.
- Se establecieron las características texturales (firmeza, cohesividad y elasticidad) y sensoriales (sabor, olor, color y textura) de los tratamientos obtenidos en el software Design-Expert 11.0®, se analizaron estadísticamente y se definieron las variables respuestas significativas como firmeza (máx. 41,736 N y mín. 8,754 N), color (máx. 4,87 y mín. 1,70) y textura sensorial (máx. 4,13 y mín. 1,94), a diferencia de las características sensoriales olor y sabor, de las que no fue posible hallar una ecuación, que explique su comportamiento por el uso de sus ingredientes.
- Se realizó el análisis proximal y microbiológico al pan de molde optimizado a base de harinas de algarroba, kiwicha y almidón de papa, los análisis microbiológicos manifestaron que el pan cumple con los requisitos de la Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración,

y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería (RM N° 1020-2010/MINSA), por lo tanto, apto para el consumo humano.

V. RECOMENDACIONES

- Realizar análisis reológicos a las masas de pan de harinas de algarroba y kiwicha.
- Realizar un análisis colorimétrico y de estructura alveolar a las harinas en estudio y al producto terminado.
- Realizar la validación experimental de la optimización de la mezcla.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amado Argüelles, M., Cabrera Arriola, F., Ramírez Muñoz, F., y Zenayuca Inquel , G. (2018).

Repositorio *PUCP.* Obtenido de
http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/11636/AMADO_CABRERA_PLANEAMIENTO_KIWICHA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Andina, A. (3 de Marzo de 2021). Conoce al algarrobo, prodigioso árbol oriundo del bosque seco costero peruano. *Realidad.pe*.

Aurica But, C. (2015). *Obtención de panes libres de gluten: Efecto estructural de distintos hidrocoloides sobre masas panarias de maíz*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia - Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural.

Becerra Bonilla, M. V. (2018). Efecto de la adición de albúmina de huevo en un gel cárnico de porcino. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.

Bigne, F. (2016). *Aplicación de harina de fruto de algarrobo en el desarrollo de productos panificados saludables*. La Plata: Universidad Nacional De La Plata.

Bravo Pérez, E. D., y Moreno Prada, L. J. (2015). *Ciencia La salle*. Obtenido de Ciencia La salle:
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1002&context=ing_alimentos

C. Montgomery, D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. México D.F.: Limusa Wiley.

Cabel Tapia, M. L. (2017). *Efecto del tratamiento térmico y tipo de líquido de gobierno sobre las características fisicoquímicas y sensoriales en filetes de tilapia azul (Oreochromis aureus) en conserva*. Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego - Facultad de Ciencias Agrarias.

- Cardenas, D. M. (2015). *Repositorio la Molina*. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/947/T007352.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chamorro Gomez, R. E. (2018). *Valor nutricional y bioactivos de 30 accesiones de kiwicha (Amaranthus Caudatus L.) del INIA Perú*. Lima.
- Córdova Yucra, J. L. (2017). Determinación del porcentaje de sustitución de la harina de trigo (*Triticum spp*) por harina de chía (*Salvia hispanica L.*) en función a las características sensoriales, físicas y químicas del pan de molde. Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Flores Ramos, I. L. (2019). *Efecto de la temperatura y tiempo de escaldado en la reduccion de Bacillus Cereus durante el proceso de la obtencion de algarroba en polvo producido en la empresa algarrobos organicos del Peru. S.A.C - Lurin-Lima*. Piura.
- Gonzalez González, A. K., y Inga, S. B. (2018). *Evaluación de la textura instrumental del alfajor gigante de dos sabores de las principales marcas de la región Lambayeque como propuesta de parámetro de calidad*. Lambayeque: Facultad de Ingeniería Química - Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Grandes Román, G. N. (2015). *Repositorio UTC*. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2538/1/T-UTC-00074.pdf>
- Gutierrez Arce, A. G. (2015). *Efecto de la adición de goma xantana, goma guar y tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas y sensoriales en pan tipo pita integral*. Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego - Facultad de Ciencias Agrarias.

Huaman Chacaltana, M. H., Licapa Quichca, Y., y Mendoza Peña, S. J. (2018). *Repositorio UNE*.

Obtenido

de

<http://repositorio.une.edu.pe/bitstream/handle/UNE/1254/TESIS%20DE%20GRANOS%20ANDINOS%202018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hurtado Gonzales, J. A. (2016). *Utilización de prefermentos en la elaboración de pan de molde blanco para extender su tiempo de vida útil*. Lima: Universidad San Ignacio de Loyola - Facultad de Ingeniería.

I. N. (05 de Noviembre de 2020). *Gobierno del Perú*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/inia/noticias/312681-minagri-presenta-super-kiwicha-con-alta-calidad-nutricional-y-genetica>

Ibarra Cardenas, H. (2019). *“Adaptabilidad de kiwicha (Amaranthus caudatus) para ser incorporada en la cedula de cultivos en la microcuenta kesari-CIRCA-APURIMAC*. Lima.

Lamadrid Ibañez, J. A. (2019). *Propiedades nutricionales y funcionales del fruto del algarrobo*. Antioquía.

Larico Condori, J. A. (2018). *Elaboración de butifarra dulce seca con carne de llama (Lama glama), pecanas (Carya illinoensis) y harina de kañiwua (Chenopodium pallidicaule)*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.

Lavy Chocce, A. G. (2016). *Utilización de carne de llama (Lama glama) y harina de kiwicha (Amaranthus caudatus) en butifarra dulce*. Lima: Facultad de Industrias Alimentarias - Universidad Nacional Agraria La Molina.

Morán Bravo, K. M., y Soledispa Navarrete, K. L. (2015). *Efecto De La Goma Xanthan Y La Hidroxipropilmetilcelulosa En Las Características Físicas y Reológicas Del Pan De Arroz*

Libre De Gluten Tipo Molde. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral - Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción.

Murgueytio Riofrío, E. (Mayo de 2014). *Repositorio USFQ*. Obtenido de <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/2979/1/110060.pdf>

Muro Baca, A. Y. (2017). *Diseño y evaluación económica - financiera para la instalación de una planta industrial de etanol anhidro a partir de la vaina de algarroba (Prosopis pallida) con fines de exportación*. Chiclayo: Universidad Católica "Santo Toribio de Mogrovejo" - Facultad de Ingeniería.

Osorio López, M. (2018). *Repositorio La Molina*. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3230/Q04-O7-T.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Pacheco Alfaro, A. R. (2016). *"Elaboración de panes sin gluten utilizando harina de quinua (Chenopodium quinoa willd.) y almidón de papa (Solanum tuberosum)"*. Lima: Facultad de Industrias Alimentarias - Universidad Nacional Agraria La Molina.

Parra Pariona, Y., y Valencia Urquiza, H. (2017). *Efecto de la aplicación de agua ozonizada a diferentes concentraciones en el mejoramiento de masas de panificación y producto terminado*. Arequipa.

Peña Carrasco, E. F. (2017). *Repositorio la molina*. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2655/Q02-P45-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pérez Ramos, K. P. (2019). *Elaboración de un bocadito extruido de quinua, tarwi y fécula de camote para niños escolares*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.

- Pilataxi Yupa, M. (2013). *Elaboración y evaluación nutritiva y nutracéutica de pan*. Obtenido de <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/2566/1/56T00333.pdf>
- Pisfil Gonzales, C. A. (2017). *Optimización del nivel de sustitución de la harina de trigo por harina de quinua (*Chenopodium quinoa*), cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*) en la elaboración de pan panini precocido*. Lambayeque: Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo" - Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias.
- Prakriti Jnawali, V. K. (2016). CELIAC DISEASE: Overview and considerations for development of gluten-free foods.
- Reyes García , M., Gómez-Sanchez Prieto, I., y Espinoza Barrientos, C. (2017). *Tablas peruanas de composición de alimentos*. Lima.
- Reyes García, M., Gómez-Sánchez Prieto, I., y Espinoza Barrientos, C. (2017). *Tablas peruanas de composición de alimentos*. Lima: Instituto Nacional de Salud.
- Tavara Tineo, F. D. (2015). *Comprobación de la norma sanitaria rm n° 1020-2010/minsa en la elaboración de pan de molde comercializado en la ciudad de Sullana*. Piura: Universidad Nacional de Piura, Facultad de Ingeniería Industrial.
- Tavara Tineo, F. D. (2015). *Comprobación de la norma sanitaria RM N° 1020-2010/MINSA en la elaboración de pan de molde comercializado en la ciudad de sullana*. Piura: Universidad Nacional de Piura - Facultad de Ingeniería Industrial.
- Torres González, J. D., González Morelos, K., y Acevedo Correa, D. (2015). *Análisis del perfil de textura en frutas, productos cárnicos y quesos*. Cali: RECITEIA.

Valverde Gonzalo, K. H., Layango Gallardo, H. M., y Mayaute Dominguez, Y. A. (2014).

Evaluación de la goma de tara (Caesalpinia spinosa) como retenedor de humedad en una premezcla para pan de molde. Callao: Universidad Nacional del Callao - Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos.

Vargas Nina, G. A. (2015). *Repositorio la molina*. Obtenido de

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2179/Q02-V373-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vidaurre Ruiz, J. M. (2020). *Desarrollo de panes libres de gluten con harinas de granos andinos.*

Lima.

VII. ANEXOS

Anexo 1: Metodología del análisis microbiológico

Figura 31

“Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería”

a) Harinas, sémolas, féculas y almidones						
Harinas y sémolas.						
Agente microbiano	Categoría	Clase	N	c	Límite por g	
					m	M
Mohos	2	3	5	2	10 ⁴	10 ⁵
<i>Escherichia coli</i>	5	3	5	2	10	10 ²
<i>Bacillus cereus</i> (*)	7	3	5	2	10 ³	10 ⁴
<i>Salmonella sp.</i>	10	2	5	0	Ausencia/25 g	-----
(*) Sólo para harinas de arroz y/o maíz.						
Féculas y almidones.						
Agente microbiano	Categoría	Clase	N	c	Límite por g	
					m	M
Mohos	2	3	5	2	10 ³	10 ⁴
<i>Escherichia coli</i>	5	3	5	2	10	10 ²
<i>Bacillus cereus</i>	7	3	5	2	10 ³	10 ⁴
<i>Salmonella sp.</i>	10	2	5	0	Ausencia/25 g	-----
b) Productos de panificación, galletería y pastelería.						
Productos que no requieren refrigeración, con o sin relleno y/o cobertura (pan, galletas, panes enriquecidos o fortificados, tostadas, bizcochos, panetón, queques, obleas, pre-pizzas, otros).						
Agente microbiano	Categoría	Clase	n	c	Límite por g	
					m	M
Mohos	2	3	5	2	10 ²	10 ³
<i>Escherichia coli</i> (*)	6	3	5	1	3	20
<i>Staphylococcus aureus</i> (*)	8	3	5	1	10	10 ²
<i>Clostridium perfringens</i> (**)	8	3	5	1	10	10 ²
<i>Salmonella sp.</i> (*)	10	2	5	0	Ausencia/25 g	-----
<i>Bacillus cereus</i> (***)	8	3	5	1	10 ²	10 ⁴
(*) Para productos con relleno						
(**) Adicionalmente para productos con rellenos de carne y/o vegetales						
(***) Para aquellos elaborados con harina de arroz y/o maíz						

Nota. Recuperado de RM N° 1020/2010/MINSA.

Figura 32

Resultados del análisis microbiológico de la harina de kiwicha

**LABORATORIO DE ANALISIS
FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLOGICOS
"MICROSERVILAB"
LAMBAYEQUE – PERU**

CERTIFICACIÓN DE CALIDAD DE ALIMENTOS N° 193

I. DATOS DEL SOLICITANTE:

- Bach. Roberto Jahir García Arámbulo
- Bach. Jessica Mechan Llontop

II. PROYECTO:

"Optimización de las características texturales y sensoriales del pan de molde a base de harinas de *Prosopis pallida*, *Amaranthus caudatus* y almidón de papa"

III. DATOS DE LA MUESTRA

Nombre	: Harina de Kiwicha
Forma de presentación	: Bolsa hermética
Marca	: "Vamos creciendo"
Estado del envase	: Bueno
Naturaleza del envase	: Plástico
Procedencia	: Chiclayo
Llegada al laboratorio	: 07-08-2020
Fecha de análisis	: 07-08-2020

IV. TIPO DE ANALISIS
MICROBIOLOGICO

V. DOCUMENTO NORMATIVO
Reglamento sobre vigilancia y control Sanitario de Alimentos y Bebidas (05.007-98-SA)

VI. RESULTADO DEL ANALISIS

1. Determinación de criterios microbiológicos

• Recuento de mohos	(UFC/g)	:	0	UFC/g
• Escherichia coli	(NMP/g)	:	<1	NMP/g
• Salmonella sp	(Ausencia/25g)	:	Ausencia	25 g

VII. CONCLUSIONES
La muestra cumple con los requisitos del Reglamento sobre vigilancia y control Sanitario de Alimentos y Bebidas (05.007-98-SA).

LAMBAYEQUE, AGOSTO DEL 2020

Correo: microservilab@hotmail.com Cel: 949019545

Scanned by TapScanner

Nota. Elaboración propia, 2020.

Figura 33

Resultados del análisis microbiológico de la harina de algarroba.

**LABORATORIO DE ANALISIS
FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
"MICROSERVILAB"
LAMBAYEQUE – PERU**

CERTIFICACIÓN DE CALIDAD DE ALIMENTOS N° 192

I. DATOS DEL SOLICITANTE:

- Bach. Roberto Jahir García Arámbulo
- Bach. Jessica Mehan Llontop

II. PROYECTO:

"Optimización de las características texturales y sensoriales del pan de molde a base de harinas de *Prosopis pallida*, *Amaranthus caudatus* y almidón de papa "

III. DATOS DE LA MUESTRA

Nombre : Harina de Algarroba
 Forma de presentación : Bolsa hermética
 Marca : "Campo natural"
 Estado del envase : Bueno
 Naturaleza del envase : Plástico
 Procedencia : Chiclayo
 Llegada al laboratorio : 07-08-2020
 Fecha de análisis : 07-08-2020

**IV. TIPO DE ANALISIS
MICROBIOLÓGICO**

V. DOCUMENTO NORMATIVO
 Reglamento sobre vigilancia y control Sanitario de Alimentos y Bebidas (05.007-98-SA)

VI. RESULTADO DEL ANALISIS

1. Determinación de criterios microbiológicos

• Recuento de mohos	(UFC/g)	:	0	UFC/g
• Escherichia coli	(NMP/g)	:	<1	NMP/g
• Salmonella sp	(Ausencia/25g)	:	Ausencia	25 g

VII. CONCLUSIONES
 La muestra cumple con los requisitos del Reglamento sobre vigilancia y control Sanitario de Alimentos y Bebidas (05.007-98-SA).

Lambayeque, Agosto del 2020

Correo: microservilab@hotmail.com Cel: 949019545

Scanned by TapScanner

Nota. Elaboración propia, 2020.

Figura 34
Resultados del análisis microbiológico del almidón de papa.

**LABORATORIO DE ANALISIS
FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
"MICROSERVILAB"
LAMBAYEQUE – PERU**

CERTIFICACIÓN DE CALIDAD DE ALIMENTOS N° 194

I. DATOS DEL SOLICITANTE:

- Bach. Roberto Jahir García Arámbulo
- Bach. Jessica Mehan Llontop

II. PROYECTO:

"Optimización de las características texturales y sensoriales del pan de molde a base de harinas de *Prosopis pallida*, *Amaranthus caudatus* y almidón de papa"

III. DATOS DE LA MUESTRA

Nombre : Almidón de papa
Forma de presentación : Bolsa hermética
Marca : "Duryea"
Estado del envase : Bueno
Naturaleza del envase : Plástico
Procedencia : Chiclayo
Llegada al laboratorio : 07-08-2020
Fecha de análisis : 07-08-2020

IV. TIPO DE ANALISIS
MICROBIOLÓGICO

V. DOCUMENTO NORMATIVO
Reglamento sobre vigilancia y control Sanitario de Alimentos y Bebidas (05.007- 98-SA)

VI. RESULTADO DEL ANALISIS

2. Determinación de criterios microbiológicos

• Recuento de mohos	(UFC/g)	:	0	UFC/g
• Escherichia coli	(NMP/g)	:	<1	NMP/g
• <i>Bacillus cereus</i>	(UFC/g)	:	0	UFC/g
• <i>Salmonella sp</i>	(Ausencia/25g)	:	Ausencia	25g

VII. CONCLUSIONES
La muestra cumple con los requisitos del Reglamento sobre vigilancia y control Sanitario de Alimentos y Bebidas (05.007-98-SA).

Lambayeque, Agosto del 2020

Correo: microservilab@hotmail.com Cel: 949019545

Scanned by TapScanner

Nota. Elaboración propia, 2020.

Figura 35

Resultados del análisis microbiológico y proximal del pan de molde optimizado.

**LABORATORIO DE ANALISIS
FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLOGICOS
"MICROSERVILAB"
LAMBAYEQUE – PERU**

CERTIFICACIÓN DE CALIDAD DE ALIMENTOS N° 350

I. DATOS DEL SOLICITANTE:

- Bach. Roberto Jahir García Arámbulo
- Bach. Jessica Mehan Llontop

II. PROYECTO:
"Optimización de las características texturales y sensoriales del pan de molde a base de harinas de *Prosopis pallida*, *Amaranthus caudatus* y almidón de papa"

III. DATOS DE LA MUESTRAS

Nombres : Pan de molde a base de harina de algarroba, kiwicha y almidón de papa

Coidgos : M1, M2, M3

Forma de presentación : Bolsa hermética

Estado del envase : Bueno

Naturaleza del envase : Plástico

Procedencia : Chiclayo

Llegada al laboratorio : 10-10-2020

Fecha de análisis : 10-10-2020

IV. TIPO DE ANALISIS
FISICOQUIMICO – MICROBIOLOGICO

V. DOCUMENTO NORMATIVO
Reglamento sobre vigilancia y control Sanitario de Alimentos y Bebidas (05.007-98-SA)
Norma Sanitaria para la fabricación, elaboración y expendio de productos de Panificación, Galletería y Pastelería

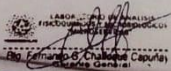
VI. RESULTADO DEL ANALISIS

1. Determinación de criterios fisicoquímicos y microbiológicos

Muestra		Pan de Molde M1	Pan de Molde M2	Pan de Molde M3
Ensayo				
Humedad	%	27.74	27.78	27.79
Carbohidratos	%	43.36	43.17	43.09
Grasa	%	10.81	10.86	10.79
Proteína	%	13.19	13.26	13.37
Fibra	%	2.24	2.32	2.28
Ceniza	%	2.66	2.61	2.68
Mohos	UFC/g	0	0	0
<i>Escherichia coli</i>	UFC/g	0	0	0
<i>Salmonella sp</i> Ausencia/25g		Ausencia	Ausencia	Ausencia

VII. CONCLUSIONES
Las muestras cumplen con los requisitos del Reglamento sobre vigilancia y control Sanitario de Alimentos y Bebidas (05.007-98-SA).

Lambayeque, Octubre del 2020


 Dr. Fernando S. Chacón Capurín
 Microscopista General

Correo: microservilab@hotmail.com

Cel: 949019545

Scanned by TapScanner

Nota. Elaboración propia, 2020.

Anexo 2: Metodología del análisis proximal y determinación del contenido de gluten

Tabla 47

Análisis químico proximal del producto final


Análisis fisicoquímicos	Norma técnica	Descripción	Fórmula
Proteínas	AOAC. 960.52	El método consiste en determinar el contenido de nitrógeno de una sustancia química, para ello es necesario la destrucción orgánica por acción del ácido sulfúrico, obteniéndose como resultado sulfato de amonio, el cual después es destilado a amoniaco. Los cálculos se realizan en base a un patrón (muestra en blanco) y se cuantifica la diferencia gastada de titulante en la muestra.	<p>% de Nitrógeno obtenido:</p> $\%N = \frac{(mLHCl_{mtra} - mLHCl_{blanco}) * NHCL * 0,014}{Peso\ muestra} * 100$ <p>Dónde:</p> <p>*ml HCl_{mtra}: Cantidad de Ácido Clorhídrico gastado en la muestra.</p> <p>*ml HCl blanco: Cantidad de Ácido Clorhídrico gastado en el blanco.</p> <p>*NHCl: Normalidad del ácido clorhídrico.</p> <p>*0,014: miliequivalentes del nitrógeno.</p> <p>$\% P = \% Nitrógeno * F. P$</p> <p>Dónde:</p> <p>*F.P: Factor de proteína 5,70 usado para la harina de trigo (Garcia y Fernandez , 2012)</p>
Cenizas	AOAC 923.03	El método consiste en la incineración de la	$\%Cenizas = \frac{P_{final} - P_{inicial}}{P_{muestra}} * 100$ <p>Dónde:</p>

		muestra a 600 °C para quemar todo el material orgánico, al material inorgánico que no se volatiliza a esa temperatura se le conoce como ceniza.	<p>*Peso final: Peso del crisol más la muestra calcinada.</p> <p>*Peso inicial: Peso del crisol vacío tarado.</p>
Humedad	AOAC. 925.10	El método consiste en determinar gravimétricamente la pérdida de peso de la muestra por calentamiento hasta obtener peso constante.	$\% \text{Humedad} = \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{P_{\text{muestra}}} * 100$ <p>Dónde:</p> <p>*Peso final: Peso de la cápsula más la muestra deshidratada.</p> <p>*Peso Inicial: Peso de la cápsula vacía.</p>
Acidez	NTP 206.008.1976	El método consiste en extraer los ácidos contenidos en la muestra por agua exenta de dióxido de carbono. El extracto filtrado se lleva a volumen conocido y el contenido de acidez se valora con solución de	$\% \text{Acidez} = \frac{vb * N * mEq}{Va} * 100$ <p>Donde:</p> <p>*Va= volumen de muestra acida.</p> <p>*Vb =volumen de base gastado, en ml. *N = normalidad de la base.</p> <p>*mEq = mili equivalentes del ácido predominante en la muestra.</p>


		hidróxido de sodio estandarizado.	
Grasas	AOAC. 945.16	El método se basa en la extracción de la grasa con un solvente orgánico como el éter de petróleo, cloroformo, benceno o acetona, en un equipo Soxhlet.	$\%grasa\ cruda = \frac{m2 - m1}{m} * 100$ $\%grasa\ cruda\ en\ base\ seca = \%grasa\ cruda * \frac{100}{100 - \%humedad}$ <p>Dónde:</p> <p>*m: peso de la muestra</p> <p>*m1: tara del matraz solo</p> <p>*m2: peso matraz con grasa</p>
Fibra	AOAC. 962.09	El método consiste en la eliminación de los carbohidratos solubles por hidrólisis a compuestos más simples (azúcares) mediante la acción de los ácidos y álcalis débiles en caliente.	$\%Fibra\ cruda(base\ húmeda) = C * \frac{100 - \%humedad\ muestra\ original}{100}$

Nota. Adaptado de Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del pan tipo molde con sustitución parcial de harina de chontaduro (*Bactris Gasipaes*), Bravo y Moreno, 2015.

Figura 36
Resultado del análisis proximal de las materias primas.



**LABORATORIO DE ANALISIS
FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLOGICOS
DE ALIMENTOS Y BEBIDAS
"MICROSERVILAB"
LAMBAYEQUE – PERU**



CERTIFICACIÓN DE CALIDAD DE ALIMENTOS N°200

I. DATOS DE SOLICITANTE:
Nombre : Bach.Roberto Jahir Garcia Arambulo
Bach.Jessica Mechan Llontop

II. PROYECTO:
Título : Optimización de las características texturales y sensoriales del pan de molde a base de harinas de *Prosopis pallida*, *Amaranthus caudatus* y almidon de papa"

III. DATOS DE LA MUESTRAS:
Nombre : Harina de Algarroba, Harina de Kiwicha y Almidón de papa
Forma de presentación : Bolsa hermética
Estado del envase : Bueno
Naturaleza del envase : Plástico
Procedencia : Chiclayo
Llegada al laboratorio : 14-02-2020
Fecha de análisis : 14-02-2020


IV. TIPO DE ANALISIS
FISICOQUIMICO

V. DOCUMENTO NORMATIVO
Reglamento sobre vigilancia y control Sanitario de Alimentos y Bebidas (05.007- 98-SA)

VI. RESULTADO DEL ANALISIS
1. Determinación de criterios fisicoquimicos

Muestra / Analisis	Harina Algarroba 1	Harina Algarroba 2	Harina Algarroba 3	Harina Kiwicha 1	Harina Kiwicha 2	Harina Kiwicha 3	Almidón de papa 1	Almidón de papa 2	Almidón de papa 3
Humedad (%)	11.10	11.00	11.05	12.00	11.90	11.95	10.75	10.72	10.76
Carbohidratos (%)	56.88	57.73	57.68	61.94	62.89	62.74	79.06	79.08	79.10
Grasa (%)	3.40	3.40	3.40	7.30	7.20	7.20	0.30	0.30	0.30
Proteína (%)	12.77	12.37	12.37	13.96	13.56	13.56	3.99	4.10	3.94
Ceniza (%)	4.60	4.50	4.50	2.30	2.20	2.30	3.10	3.10	3.10
Fibra (%)	11.25	11.00	11.00	2.50	2.25	2.25	2.80	2.70	2.80

VII. CONCLUSIONES
Las muestras cumplen con los requisitos del Reglamento sobre vigilancia y control Sanitario de Alimentos y Bebidas (05.007- 98-SA) .



Lambayeque, Febrero del 2020

Correo: microservilab@hotmail.com

Cel: 949019545

Nota. Elaboración propia, 2020.

Figura 37

Resultados del análisis de determinación del contenido de gluten de la harina de algarroba.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
Programa de Investigación y Proyección Social en Cereales y Granos Nativos

RESULTADOS DE ANALISIS

Fecha de recepción : 11 – 10 – 2019

Fecha de entrega : 14 – 10 – 2019

Nombre del solicitante : Srta Jessica Mechán Llontop

Empresa : Personal

Muestra : Harina de algarroba

Peso recibido : Aprox. 90 gramos

Análisis solicitados : % Gluten húmedo, gluten seco e Índice de gluten

RESULTADOS:

MUESTRA	% GLUTEN HÚMEDO	ÍNDICE DE GLUTEN	% GLUTEN SECO
1a. Repetición	0	0	0
2a. Repetición	0	0	0
3a. Repetición	0	0	0
Promedio	0	0	0

Observaciones: La muestra de harina de algarroba muestra ausencia de gluten.


Dr. Jorge E. Jiménez Dávalos
 Jefe del PIPS en Cereales y
 Granos Nativos- UNALM




Ing. Martha Ibañez Tremolada
 Responsable del Laboratorio de
 Calidad del PIPS en Cereales y
 Granos Nativos – UNALM

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Lima - Perú Tel: 349 5799/ 614 7800 anexo 358
psereal@lamolina.edu.pe

Nota. Elaboración propia, 2019.

Figura 38

Resultados del análisis de determinación del contenido de gluten de la harina de kiwicha.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
Programa de Investigación y Proyección Social en Cereales y Granos Nativos

RESULTADOS DE ANALISIS

Fecha de recepción : 11 – 10 – 2019

Fecha de entrega : 14 – 10 – 2019

Nombre del solicitante : Srta Jessica Mechán Llontop

Empresa : Personal

Muestra : Harina de Kiwicha


Peso recibido : Aprox. 100 gramos

Análisis solicitados : % Gluten húmedo, gluten seco e Índice de gluten


RESULTADOS:

MUESTRA	% GLUTEN HÚMEDO	ÍNDICE DE GLUTEN	% GLUTEN SECO
1a. Repetición	0	0	0
2a. Repetición	0	0	0
3a. Repetición	0	0	0
Promedio	0	0	0

Observaciones: La muestra de harina de kiwicha HKW1 muestra ausencia de gluten.



Dr. Jorge Jiménez Dávalos
Jefe del PIPS en Cereales y Granos Nativos- UNALM





Ing. Martha Ibañez Tremolada
Responsable del Laboratorio de Calidad del PIPS en Cereales y Granos Nativos – UNALM

★ Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú ☎ Tel: 349 5799/ 614 7800 anexo 358
pcereal@lamolina.edu.pe

Nota. Elaboración propia, 2019.

Anexo 3: Metodología del análisis de perfil de textura

Se realizó utilizando el texturómetro Instron modelo 3342, el cual registró la lectura de dos compresiones, al 40% del espesor inicial de cada muestra (una rebanada de pan de molde de 25mm de espesor), con una velocidad de test de 1,7 mm/s y una velocidad de espera entre las compresiones de 30 segundos. Para este ensayo se utilizará una probeta de 25 mm de diámetro. Se hicieron 3 repeticiones y se obtuvo el promedio para los 15 tratamientos obtenidos y el pan control.

Anexo 4: Metodología del análisis sensorial

Figura 39

Panelistas evaluando sensorialmente el pan de molde



Nota. Elaboración propia, 2019.

Figura 40
Cabina personal de evaluación sensorial.



Nota. Elaboración propia, 2019.

Tabla 48
Reclutamiento de Jueces.

N°	Apellidos y nombres	Género	Edad	N°	Apellidos y nombres	Género	Edad
1	Aponte Aponte	F	23	12	Lamadrid Ballena Mónica	F	22
2	Arroyo Carrasco Erwin	M	22	13	Mechán Pisfil Cristhian	M	22
3	Astudillos Tuñoque Lizbeth	F	21	14	Ñiquen Esqueche Joselyn	F	22
4	Cruz Ochoa Danery	F	20	15	Quintana Carranza Leidy	F	21
5	De la cruz Purihuamán Florentino	M	23	16	Nicolás Tineo Dayner	M	21
6	Farfán Cabrejo Jorvana	F	22	17	Rodriguez Rojas Gema	F	20
7	Fernández Torres Yarco	M	20	18	Salas Silva Rosa	F	21
8	Flores Segovia Ángel Fabian	M	21	19	Santisteban Bances Eder	M	26
9	Floriano Sánchez Pierinna	F	21	20	Santisteban Sánchez José Elmer	M	22
10	Gómez Reyes Diana	F	21	21	Suclupe Campos David	M	20
11	La torre Lucumí Noelia	F	21	22	Tuñoque Yoctún Luis	M	21

Nota. Elaboración propia, 2019

Tabla 49

Datos de la encuesta realizada.

N°	Participante	Preguntas									Puntaje	Condición
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9		
1	Chaveli	√	√	√	√	√	√	√	√	x	90	Apto
2	Erwin	X	x	√	X	√	√	x	√	x	40	No apto
3	Lizbeth	√	x	√	√	√	√	√	X	√	80	No apto
4	Danery	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100	Apto
5	Florentino	x	x	√	√	√	√	x	√	x	50	No apto
6	Jorvana	x	√	√	X	√	√	√	X	√	70	No apto
7	Yarco	√	√	√	X	√	√	x	√	√	80	No apto
8	Ángel	√	√	√	√	√	√	√	√	x	90	Apto
9	Pierinna	√	x	√	√	√	√	x	√	√	80	No apto
10	Diana	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100	Apto
11	Noelia	√	√	√	X	√	√	√	√	x	80	No apto
12	Mónica	√	√	√	√	√	√	x	√	√	90	Apto
13	Cristhian	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100	Apto
14	Joselyn	√	√	√	√	√	√	x	√	x	80	No apto
15	Leidy	√	√	√	√	√	√	x	√	x	80	No apto
16	Dayner	√	√	√	X	√	√	x	X	√	70	No apto
17	Gema	√	√	√	X	√	√	x	√	√	80	No apto
18	Rosa	√	x	√	√	√	√	√	√	x	80	No apto
19	Eder	x	√	√	√	√	√	x	√	√	80	No apto
20	José Elmer	√	√	√	√	√	√	x	√	√	90	Apto
21	David	x	√	√	√	√	√	x	√	x	70	No apto
22	Luis	√	√	√	√	√	√	x	√	√	90	Apto

Nota. Elaboración propia, 2019.

Figura 41

Formato de encuesta para seleccionar a los panelistas a entrenar.

ENCUESTA DE PAN DE MOLDE LIBRE DE GLUTEN	
Nombre: _____	Edad: _____
E-mail: _____	Teléfono _____
<p>Buenos días / tardes, estamos realizando una encuesta para seleccionar a los jueces que serán responsables de realizar los análisis sensoriales posteriores al producto en mención. Les pedimos que sus respuestas sean contestadas con total veracidad, marcando con una "X" dentro del paréntesis.</p>	
<p>1. ¿Está usted resfriado en estos momentos? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No</p>	
<p>2. ¿Participaría usted, 2 veces por semana en capacitaciones y degustaciones? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No</p>	
<p>3. ¿Presenta usted, intolerancia al gluten? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No</p>	
<p>4. ¿Usted fuma o bebe alcohol?, describa con qué frecuencia <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No _____</p>	
<p>5. ¿Usted consume pan? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No</p>	
<p>6. ¿Cuántas veces por semana usted, consume pan? <input type="checkbox"/> 1 vez <input type="checkbox"/> 2-4 veces <input type="checkbox"/> más de 5 veces</p>	
<p>7. ¿Consume usted, habitualmente pan de molde? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No</p>	
<p>8. ¿Ha consumido usted, alguna vez productos panificados elaborados con las siguientes harinas? <input type="checkbox"/> Harina de kiwicha <input type="checkbox"/> Harina de algarroba <input type="checkbox"/> Harina de quinua <input type="checkbox"/> Harina de kañiwa</p>	
<p>9. ¿Ha estado usted, antes en alguna evaluación sensorial?, especifique. <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No _____</p>	
<p>Gracias por su colaboración</p>	

Nota. Elaboración propia, 2019.

Figura 43

Formato de prueba de escala hedónica.

PRUEBA DE ESCALA HEDÓNICA ESTRUCTURADA						
Código de panelista: _____ Fecha: _____						
Nombre del producto: <u>"Pan de molde a base de harinas de algarroba y kiwicha"</u>						
Usted recibirá 3 muestras de pan de molde libre de gluten a base de harinas de algarroba y kiwicha, por favor colocar una (x) en la celda del ítem que usted mejor considere para cada atributo de cada muestra.						
ATRIBUTOS		Código de muestra				
Color	Muy oscuro					
	Oscuro					
	Moderado					
	Claro					
	Muy claro					
Olor	Muy fuerte					
	Fuerte					
	Moderado					
	Débil					
	Muy débil					
Sabor	Me disgusta mucho					
	Me disgusta moderadamente					
	No me gusta ni me disgusta					
	Me gusta moderadamente					
	Me gusta mucho					
Textura	Muy suave					
	Suave					
	Moderado					
	Dura					
	Muy dura					
Observaciones: _____						

Nota. Elaboración propia, 2019.

Anexo 5: Pruebas pre-experimentales

Anexo 5a: Primera prueba pre-experimental

Figura 44

Tratamientos obtenidos para la primera prueba pre-experimental.

Tratamiento	Harina de algarroba (%) (Componente A)	Harina de kiwicha (%) (Componente B)	Agua (%) (Componente C)
1	26.875	26.250	46.875
2	25.000	28.333	46.667
3	30.000	25.000	45.000
4	32.500	27.500	40.000
5	35.000	25.000	40.000
6	30.000	30.000	40.000
7	25.000	25.000	50.000
8	30.625	27.500	41.875
9	25.000	26.667	48.333
10	30.000	25.000	45.000
11	27.500	30.000	42.500
12	25.000	25.000	50.000
13	28.750	27.500	43.750
14	35.000	25.000	40.000
15	25.000	30.000	45.000

Nota. De amarillo los tratamientos elaborados. Elaboración propia, 2019.

Figura 45

Tratamiento 5 (izquierda) y 7 (derecha) elaborado de la primera prueba pre-experimental



Nota. Elaboración propia, 2019.

Anexo 5b: Segunda prueba pre-experimental

Figura 46

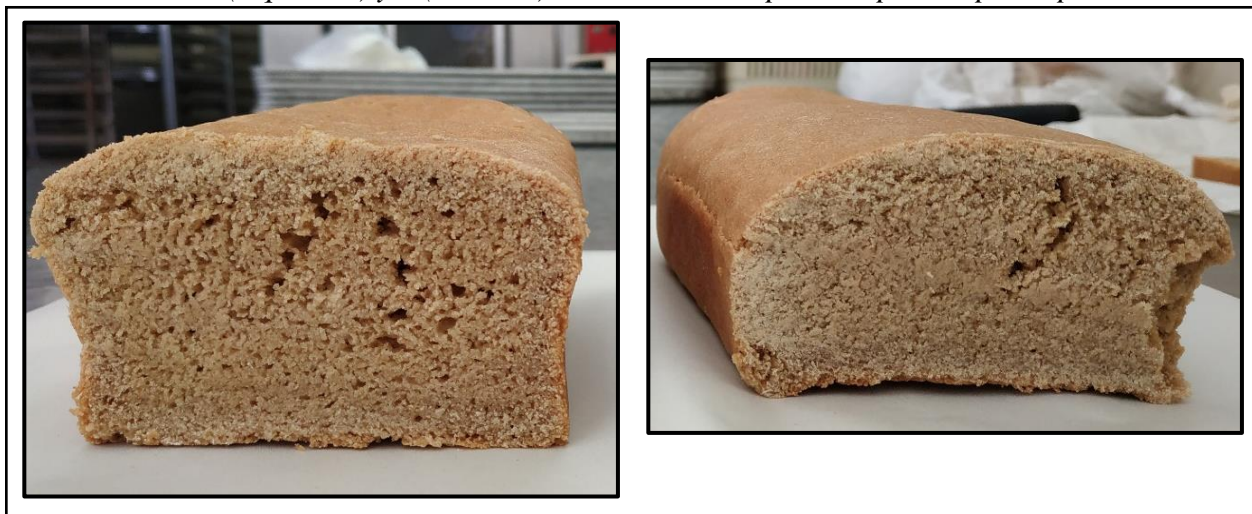
Tratamientos obtenidos para la segunda prueba pre-experimental.

Tratamiento	Harina de algarroba (%) (Componente A)	Harina de kiwicha (%) (Componente B)	Almidón de papa (%) (Componente C)
1	7.50	25.00	67.50
2	5.00	20.00	75.00
3	5.00	17.50	77.50
4	10.00	17.50	72.50
5	7.50	17.50	75.00
6	10.00	25.00	65.00
7	7.50	10.00	82.50
8	10.00	25.00	65.00
9	10.00	10.00	80.00
10	5.00	10.00	85.00
11	8.75	13.75	77.50
12	5.00	25.00	70.00
13	8.75	21.25	70.00
14	5.00	10.00	85.00
15	10.00	10.00	80.00

Nota. De amarillo los tratamientos elaborados. Elaboración propia, 2019.

Figura 47

Tratamiento 10 (izquierda) y 6 (derecha) elaborado de la primera prueba pre-experimental.



Nota. Elaboración propia, 2019.

Anexo 5c: Tercera prueba pre-experimental

Figura 48

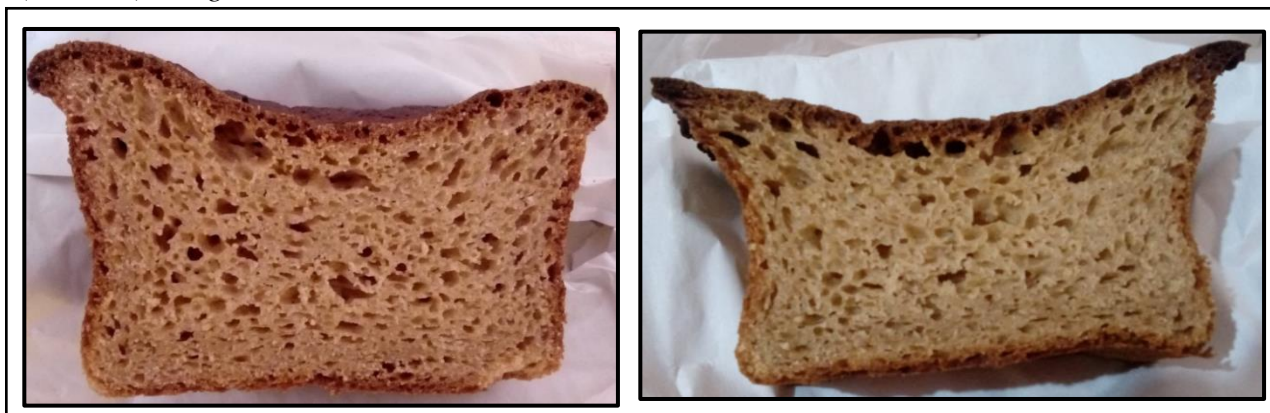
Tratamientos obtenidos para la tercera prueba pre-experimental.

Tratamiento	H. algarroba (%)	H. kiwicha (%)	Almidón de papa (%)
1	10.00	45.00	45.00
2	5.00	40.00	55.00
3	7.50	37.50	55.00
4	10.00	35.00	55.00
5	8.75	43.13	48.13
6	5.00	42.50	52.50
7	7.50	41.25	51.25
8	10.00	40.00	50.00
9	5.00	45.00	50.00
10	10.00	35.00	55.00
11	8.33	45.00	46.67
12	10.00	45.00	45.00
13	6.67	45.00	48.33
14	10.00	40.00	50.00
15	7.50	39.38	53.13

Nota. De amarillo el tratamiento elaborado. Elaboración propia, 2019.

Figura 49

Tratamiento 2 elaborado de la tercera prueba pre-experimental con 80% (izquierda) y 100% (derecha) de agua.



Nota. Elaboración propia, 2019.

Anexo 6: Pan control

Figura 50

Pan control.



Nota. Elaboración propia, 2019.

Anexo 7: Elaboración de pan de molde

Figura 51

Materia prima e ingredientes.



Nota. A: Harina de kiwicha . B: Harina de algarroba. C: Almidón de papa. D: Agua de mesa. E: Azúcar rubia. F: Aceite de soja. G: Levadura. H: Sal. I: Goma Xantana. J: Lecitina de soja. K: Antimoho. Elaboración propia, 2019.

Figura 52

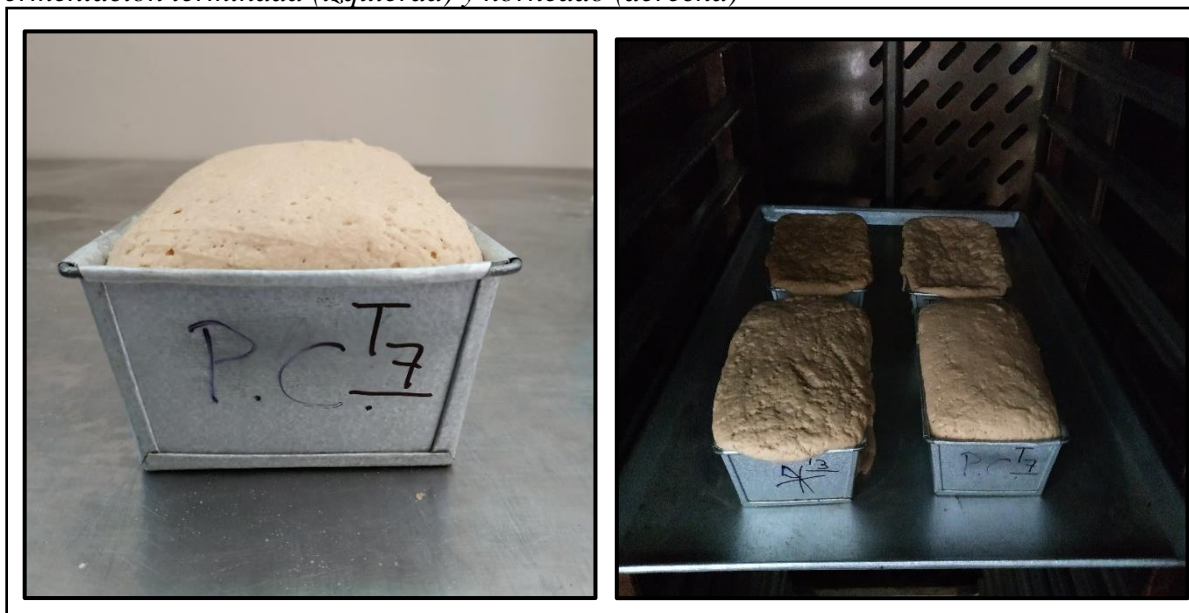
Mezcla batida y moldeada (izquierda) y fermentación (derecha)



Nota. Elaboración propia, 2019.

Figura 53

Fermentación terminada (izquierda) y horneado (derecha)



Nota. Elaboración propia, 2019.

Figura 54
Horneado terminado.



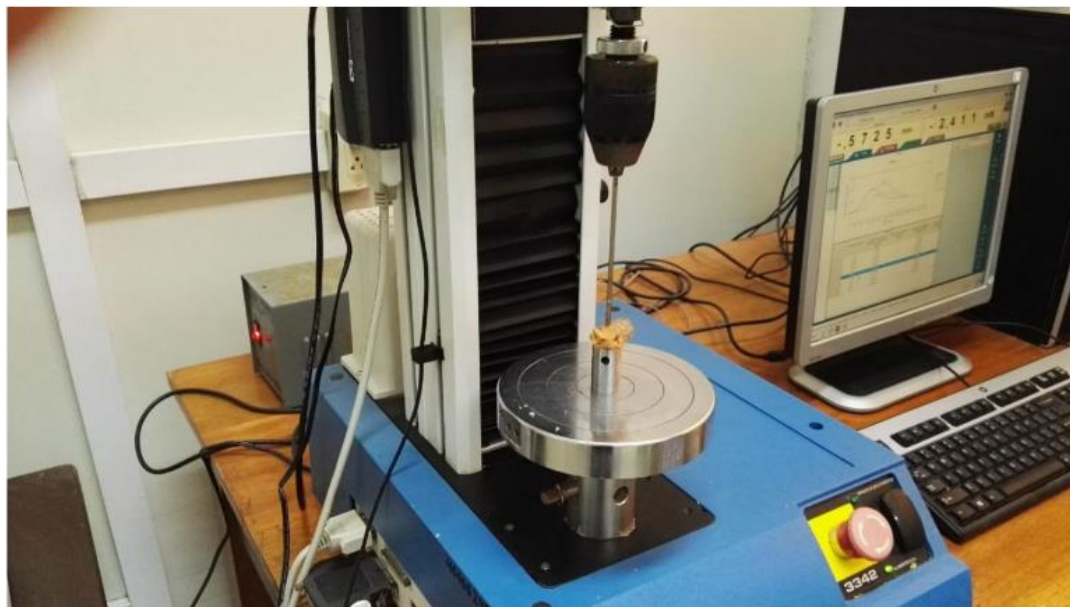
Nota. Elaboración propia, 2019.

Figura 55
Enfriado.



Nota. Elaboración propia, 2019.

Figura 56
Texturómetro Instron modelo 3342



Nota. Recuperado de Cabel, 2017.

Anexo 8: Análisis estadísticos de las variables dependientes en Design-Expert 11.0®

Figura 57

Análisis de varianza de la firmeza, elasticidad y cohesividad.

ANOVA for Special Quartic model						
Response 1: Firmeza						
Transform: Inverse Sqrt						
Constant: 0						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0.0401	8	0.0050	25.08	0.0005	significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	0.0025	2	0.0012	6.16	0.0352	
AB	0.0065	1	0.0065	32.81	0.0012	
AC	0.0056	1	0.0056	28.06	0.0018	
BC	0.0095	1	0.0095	47.67	0.0005	
A ² BC	0.0006	1	0.0006	2.78	0.1465	
AB ² C	0.0020	1	0.0020	9.85	0.0201	
ABC ²	0.0142	1	0.0142	71.25	0.0002	
Residual	0.0012	6	0.0002			
Lack of Fit	0.0007	3	0.0002	1.33	0.4095	not significant
Pure Error	0.0005	3	0.0002			
Cor Total	0.0412	14				

ANOVA for Special Quartic model						
Response 2: Elasticidad						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0.0537	8	0.0067	3.53	0.0710	not significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	0.0005	2	0.0002	0.1249	0.8848	
AB	0.0042	1	0.0042	2.21	0.1873	
AC	0.0039	1	0.0039	2.06	0.2010	
BC	0.0034	1	0.0034	1.77	0.2315	
A ² BC	0.0000	1	0.0000	0.0109	0.9201	
AB ² C	0.0000	1	0.0000	0.0064	0.9386	
ABC ²	0.0096	1	0.0096	5.07	0.0653	
Residual	0.0114	6	0.0019			
Lack of Fit	0.0096	3	0.0032	5.26	0.1030	not significant
Pure Error	0.0018	3	0.0006			
Cor Total	0.0651	14				

ANOVA for Cubic model						
Response 3: Cohesividad						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0.1138	9	0.0126	3.84	0.0761	not significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	0.0046	2	0.0023	0.6919	0.5429	
AB	0.0008	1	0.0008	0.2583	0.6329	
AC	0.0038	1	0.0038	1.16	0.3313	
BC	0.0176	1	0.0176	5.36	0.0685	
ABC	0.0037	1	0.0037	1.12	0.3380	
AB(A-B)	0.0010	1	0.0010	0.3186	0.5968	
AC(A-C)	0.0026	1	0.0026	0.7897	0.4149	
BC(B-C)	0.0498	1	0.0498	15.15	0.0115	
Residual	0.0164	5	0.0033			
Lack of Fit	0.0078	2	0.0039	1.35	0.3820	not significant
Pure Error	0.0087	3	0.0029			
Cor Total	0.1302	14				

Nota. Elaboración propia, 2019.

Figura 58
Análisis de varianza del color, sabor y textura.

ANOVA for Cubic model						
Response 4: Color						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	12.25	9	1.36	22.55	0.0016	significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	3.26	2	1.63	27.05	0.0021	
AB	0.0782	1	0.0782	1.30	0.3066	
AC	0.3688	1	0.3688	6.11	0.0564	
BC	0.5776	1	0.5776	9.57	0.0271	
ABC	0.2252	1	0.2252	3.73	0.1113	
AB(A-B)	0.1521	1	0.1521	2.52	0.1733	
AC(A-C)	0.1624	1	0.1624	2.69	0.1619	
BC(B-C)	5.24	1	5.24	86.77	0.0002	
Residual	0.3018	5	0.0604			
Lack of Fit	0.0638	2	0.0319	0.4021	0.7003	not significant
Pure Error	0.2380	3	0.0793			
Cor Total	12.55	14				

ANOVA for Special Quartic model						
Response 5: Olor						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	4.57	8	0.5715	1.86	0.2320	not significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	1.33	2	0.6673	2.18	0.1948	
AB	0.0023	1	0.0023	0.0074	0.9341	
AC	0.0008	1	0.0008	0.0026	0.9607	
BC	0.3865	1	0.3865	1.26	0.3046	
A ² BC	0.0579	1	0.0579	0.1888	0.6791	
AB ² C	0.1106	1	0.1106	0.3604	0.5702	
ABC ²	0.0151	1	0.0151	0.0491	0.8320	
Residual	1.84	6	0.3068			
Lack of Fit	0.8760	3	0.2920	0.9082	0.5306	not significant
Pure Error	0.9645	3	0.3215			
Cor Total	6.41	14				

ANOVA for Quadratic model						
Response 6: Sabor						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	2.16	5	0.4326	2.56	0.1043	not significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	0.5467	2	0.2733	1.62	0.2509	
AB	0.1718	1	0.1718	1.02	0.3395	
AC	0.7028	1	0.7028	4.16	0.0718	
BC	0.5178	1	0.5178	3.07	0.1138	
Residual	1.52	9	0.1689			
Lack of Fit	0.8773	6	0.1462	0.6826	0.6847	not significant
Pure Error	0.6426	3	0.2142			
Cor Total	3.68	14				

ANOVA for Special Quartic model						
Response 7: Textura						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	4.59	8	0.5737	7.26	0.0132	significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	0.2295	2	0.1147	1.45	0.3060	
AB	0.9280	1	0.9280	11.74	0.0140	
AC	0.9314	1	0.9314	11.79	0.0139	
BC	1.05	1	1.05	13.29	0.0108	
A ² BC	0.0222	1	0.0222	0.2815	0.6148	
AB ² C	0.2269	1	0.2269	2.87	0.1411	
ABC ²	1.32	1	1.32	16.67	0.0065	
Residual	0.4742	6	0.0790			
Lack of Fit	0.2460	3	0.0820	1.08	0.4762	not significant
Pure Error	0.2282	3	0.0761			
Cor Total	5.06	14				

Nota. Elaboración propia, 2019.

Optimización de las características texturales y sensoriales del pan de molde a base de harinas de Prosopis pallida, Amaranthus caudatus y almidón de papa

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.lamolina.edu.pe

Fuente de Internet

5%

2

repositorio.uns.edu.pe

Fuente de Internet

1%

3

repositorio.unprg.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

www.dspace.espol.edu.ec

Fuente de Internet

1%

5

qdoc.tips

Fuente de Internet

1%

6

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

1%

7

dokumen.pub

Fuente de Internet

1%

8

idoc.pub

Fuente de Internet

<1%

9

repository.lasalle.edu.co

Fuente de Internet

<1%

10	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	Juan Arzola G, Pablo Piña V, Mario Nieves S, María Medina J. "Supervivencia de postlarvas de camarón blanco <i>Litopenaeus vannamei</i> a diferentes salinidades y temperaturas", Revista MVZ Córdoba, 2013 Publicación	<1 %
12	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola Trabajo del estudiante	<1 %
13	repositorio.unajma.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.usfq.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
18	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

20	sedici.unlp.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
21	1library.co Fuente de Internet	<1 %
22	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
23	editorial.ucatolica.edu.co Fuente de Internet	<1 %
24	edoc.pub Fuente de Internet	<1 %
25	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	repositorio.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
28	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego Trabajo del estudiante	<1 %
29	repositorio.usil.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	intranet.cip.org.pe Fuente de Internet	<1 %



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:	Roberto García Y Mehan Jessica
Título del ejercicio:	TESIS
Título de la entrega:	OPTIMIZACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS TEXTURALES Y SEN...
Nombre del archivo:	TESIS_FINAL_GARCIA_MECHAN_2022.docx
Tamaño del archivo:	15.52M
Total páginas:	95
Total de palabras:	21,428
Total de caracteres:	112,645
Fecha de entrega:	21-oct.-2022 10:52a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre...	1931624536

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal optimizar las características texturales y sensoriales del pan de molde a base de harinas de *Prosopeia polifida*, *Amaranthus caudatus* y almidón de papa, mediante el Diseño óptimo de mezclas, a través del uso del software Design-Expert 11.0.0. Para efectos de la investigación, en la primera etapa se realizaron pruebas pre experimentales para establecer las restricciones porcentuales de las harinas de algarroba, kiwicha y almidón de papa, las cuales se definieron en 5-10%, 35-45% y 45-55%, respectivamente. Una vez obtenidas estas restricciones y luego de ser ingresadas al software, se obtuvieron los 15 tratamientos a analizar por las variables dependientes, tales como firmeza, elasticidad, cohesividad, color, olor, sabor y textura. Al elaborar y realizar los análisis al producto con la respectiva metodología para cada uno, se obtuvieron los resultados, los cuales fueron introducidos en el software para el correspondiente análisis estadístico y determinación de las variables dependientes significativas, las cuales fueron la firmeza, color y textura; la siguiente etapa consistió en realizar dichos análisis al pan control. Para la última etapa, una vez obtenidos estos resultados, se tomaron esos valores como referencia para realizar la optimización del producto en estudio, con los siguientes criterios "Objetivo" para la firmeza de 9.930 N y "En rango" para el color y textura de 3 - 4. Es así, que se obtuvo un tratamiento optimizado con una deseabilidad de 0.693 y los valores estimados de las variables dependientes significativas, los cuales fueron 5% harina de algarroba, 40.536% harina de kiwicha y 54.464% almidón de papa, con una firmeza de 10.272 N, color de 3.3 puntos y textura de 3.0 puntos.

Palabras claves: Optimización de mezclas, pan de molde, harina de algarroba, harina de kiwicha, almidón de papa.