



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA**

TEMA:

Elaboración de harina fortificada de amaranto y cáscara de cacao CCN-51 y Nacional para el desarrollo de galletas sin gluten.

AUTORA:

Campoverde Vargas, María Daniela

**Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de
INGENIERA AGROINDUSTRIAL**

TUTOR:

Ing. Chero Alvarado, Víctor Egbert, M.Sc.

Guayaquil, Ecuador

03 de marzo del 2026



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente **Trabajo de Integración Curricular**, fue realizado en su totalidad por **Campoverde Vargas, María Daniela**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniera Agroindustrial**.

TUTOR

f. _____

Ing. Chero Alvarado, Víctor Egbert, M.Sc.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Pincay Figueroa, Paola Estefania, M.Sc.

Guayaquil, a los 03 del mes de marzo del año 2026



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Campoverde Vargas, María Daniela**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Integración Curricular, **Elaboración de harina fortificada de amaranto y cáscara de cacao CCN-51 y Nacional para el desarrollo de galletas sin gluten**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Agroindustrial**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del trabajo de titulación referido.

Guayaquil, a los 03 del mes de marzo del año 2026

LA AUTORA

f. _____
Campoverde Vargas, María Daniela



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

AUTORIZACIÓN

Yo, **Campoverde Vargas, María Daniela**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular, **Elaboración de harina fortificada de amaranto y cáscara de cacao CCN-51 y Nacional para el desarrollo de galletas sin gluten**. Previo a la obtención del título de **Ingeniera Agroindustrial**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 03 del mes de marzo del año 2026

LA AUTORA:

f. _____

Campoverde Vargas, María Daniela



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA AGROINDUSTRIA

CERTIFICADO COMPILATIO

El firmante, revisó el Trabajo de Integración Curricular, **Elaboración de harina fortificada de amaranto y cáscara de cacao CCN-51 y Nacional para el desarrollo de galletas sin gluten** presentado por la estudiante **Campoverde Vargas María Daniela**, de la carrera de **Agroindustria**, donde obtuvo del programa COMPILATIO, el valor de 0 % de coincidencias, considerando ser aprobada.

The screenshot shows a 'CERTIFICADO DE ANÁLISIS' from 'magister'. The document title is 'MARIA DANIELA CAMPOVERDE TRABAJO TITULACION'. The analysis results are: 0% Textos sospechosos, 0% Similitudes (ignorado), 0% similitudes entre comillas, 0% entre las fuentes mencionadas, and 4% Idiomas no reconocidos (ignorado). Metadata includes: Nombre del documento: MARIA DANIELA CAMPOVERDE TRABAJO TITULACION .docx, ID del documento: 32f0c6cecb3e0c4c1df5811ccf298f4e4aae7dd, Tamaño del documento original: 20,12 MB, Depositante: Víctor Egbert Chero Alvarado, Fecha de depósito: 2/3/2026, Tipo de carga: interface, fecha de fin de análisis: 2/3/2026, Número de palabras: 40.586, Número de caracteres: 262.636.

Fuente: COMPILATIO-Usuario Chero Alvarado, 2026

Certifica,

Ing. Chero Alvarado, Víctor Egbert, M.Sc.
Revisor - COMPILATIO

AGRADECIMIENTO

A Dios, por acompañarme en cada paso de este proceso, por darme calma en los momentos de presión, claridad en las decisiones y la fortaleza necesaria.

A mis padres, Ing. Lorena Vargas y Eco. Santiago Campoverde, gracias por enseñarme el valor de la disciplina, la responsabilidad y el compromiso. Por confiar en mí, por impulsarme a dar siempre lo mejor de mí, por ser el ejemplo que me motivó a construir este camino profesional con esfuerzo y dedicación.

A mi hermana Paula por ser un apoyo a lo largo de este camino y por alegrarse por cada uno de mis logros, por todos los consejos que me has dado y por convertirte con el tiempo una amiga para mí.

A mi tutor de tesis, el Ing. Víctor Chero, por sus enseñanzas, consejos y recomendaciones que fueron fundamentales para mi crecimiento personal y profesional. Gracias por su compromiso, por compartir su experiencia con vocación y por motivarme a ser cada día una mejor profesional.

A mi tía María Eugenia Campoverde, por estar siempre dispuesta a escucharme, por brindarme apoyo sincero y preocupación constante durante toda mi etapa universitaria. Gracias por enseñarme a tomar la vida con calma y por cada reunión compartida que me hizo sentir acompañada, querida y en familia.

A la Sra. Cecilia, por su presencia incondicional en toda mi niñez y adolescencia, por su cariño genuino, por acompañarme siempre con una sonrisa y una palabra de aliento.

A Xavier Freire, por su paciencia, comprensión, ayuda y apoyo continuo. Gracias por acompañarme, motivarme y estar presente en cada etapa, incluso en los momentos en donde no podía más.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, ante todo, a Dios, por acompañarme silenciosamente en cada paso de este camino, por darme fuerzas cuando sentí que no podía más y por sostenerme incluso en los momentos en los que dudé de mí.

A mis padres, Ing. Lorena Vargas y Eco. Santiago Campoverde, por ser mi refugio, mi impulso y mi mayor ejemplo. Por cada palabra de aliento, cada desvelo compartido, cada abrazo oportuno, por enseñarme que los sueños se construyen con esfuerzo, constancia y amor. Este logro representa todo lo que sembraron en mí.

A mi tía María Eugenia Campoverde, por ser una guía constante durante toda mi vida universitaria, por sus consejos llenos de sabiduría como que para todo siempre hay prosperidad y abundancia, y por permitirme pasar los mejores cuatro años acompañada de los chiquitos y sus ocurrencias.

A la Sra. Cecilia, por estar presente en cada etapa importante de mi vida, por su cariño sincero, su compañía incondicional y por convertirse con el tiempo en una amiga invaluable.

A mi hermana Paula, por su cariño, paciencia, consejos, bromas y su apoyo, además de acompañarme en cada paso que doy en mi vida.

A Xavier Freire, por caminar a mi lado durante todo este proceso, por su paciencia infinita, su motivación constante y por convertirse en un apoyo importante para no rendirme. Gracias por creer en mí siempre y estar ahí cuando más lo necesitaba.

Finalmente, le dedico este trabajo a todas las personas que conocí en toda esta etapa universitaria, quienes me dejaron los mejores recuerdos y con el tiempo se convirtieron en amistades que marcaron este camino.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Chero Alvarado, Víctor Egbert, M.Sc.

TUTOR

f. _____

Ing. Pincay Figueroa, Paola Estefania, M.Sc.

DIRECTORA DE CARRERA

f. _____

Ing. Ema Moreno Veloz, M.Sc.

COORDINADORA DE TITULACIÓN



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

CALIFICACIÓN

f. _____

Ing. Chero Alvarado, Víctor Egbert, M.Sc.

TUTOR

ÍNDICE GENERAL

1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	2
1.2 Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3 Hipótesis General.....	3
2 MARCO TEÓRICO	4
2.1 El origen del cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	4
2.1.1 Morfología y taxonomía general del cacao.	4
2.1.2 Variedades de cacao en Ecuador.	6
2.1.3 Composición nutricional del cacao.	7
2.1.4 Producción de cacao en Ecuador.	8
2.1.5 Producción de cacao a nivel mundial.	9
2.1.6 Valorización de los residuos del cacao.	10
2.2 El origen del amaranto (<i>Amaranthus spp.</i>)	11
2.2.1 Morfología general del amaranto.	12
2.2.2 Variedades de amaranto en Ecuador.	14
2.2.3 Composición nutricional del amaranto.....	14
2.2.4 Producción de amaranto en Ecuador.	15
2.2.5 Producción de amaranto a nivel Mundial.	17
2.3 Caracterización de las Harinas	18
2.3.1 Harinas compuestas.	18
2.3.2 Harinas fortificadas.	18
2.3.3 Harinas integrales.....	19
2.3.4 Propiedades fisicoquímicas de las harinas.	19
2.4 Operaciones unitarias en la elaboración de las harinas.	21
2.4.1 Escaldado.	21
2.4.2 Estallado.	22
2.4.3 Troceado.	22
2.4.4 Presecado.....	22
2.4.5 Secado.	23
2.4.6 Molienda.	23
2.4.7 Tamizado.....	23

2.5 Caracterización de las Galletas	24
2.5.1 Clasificación general de las galletas.....	24
2.5.2 Propiedades de las galletas.....	25
3 MARCO METODOLÓGICO	27
3.1 Ubicación Geográfica	27
3.2 Diseño de la Investigación	27
3.2.1 Variables independientes.....	28
3.2.2 Variables dependientes.	28
3.3 Materiales, reactivos y equipos	29
3.3.1 Materiales y equipos utilizados en la elaboración de las galletas sin gluten y de la harina fortificada de amaranto y cáscaras de cacao CCN-51 y Nacional.	29
3.3.2 Materiales, reactivos y equipos utilizados en caracterización de las galletas sin gluten y de la harina fortificada de amaranto y cáscaras de cacao CCN-51 y Nacional.	31
3.4 Procedimiento para la obtención de la harina de Cáscaras de Cacao CCN - 51 y Nacional	37
3.4.1 Recolección Y Selección de Cacao.....	38
3.4.2 Limpieza.	39
3.4.3 Cortado.....	39
3.4.4 Secado.	39
3.4.5 Molienda.	40
3.4.6 Tamizado.....	40
3.4.7 Almacenamiento.....	40
3.5 Proceso para la obtención de harina fortificada de Amaranto	41
3.5.1 Recepción de la materia prima.	42
3.5.2 Limpieza y selección del Amaranto.	42
3.5.3 Estallado.....	42
3.5.4 Secado.	43
3.5.5 Molienda.	43
3.5.6 Tamizado.....	43
3.5.7 Fortificación.....	44
3.5.8 Almacenamiento.....	44
3.6 Obtención de Galletas sin Gluten	44

3.6.1	Proceso para la elaboración de galletas sin gluten.....	46
3.6.2	Recolección de Materia Prima.....	47
3.6.3	Pesado de ingredientes.....	47
3.6.4	Cremado.....	47
3.6.5	Mezcla de ingredientes secos.....	47
3.6.6	Incorporación de mezclas.....	47
3.6.7	Moldeado.....	48
3.6.8	Horneado.....	48
3.6.9	Almacenamiento.....	48
3.7	Análisis físicos, químicos de las harinas y galletas elaboradas	49
3.7.1	Determinación de humedad de las harinas y galletas.....	49
3.7.2	Determinación de cenizas de las harinas y galletas.....	50
3.7.3	Determinación de proteína y extracto libre no nitrogenado de las harinas y galletas.....	50
3.7.4	Determinación de extracto etéreo de las harinas y galletas.....	51
3.7.5	Determinación de ácidos grasos de las harinas y galletas.....	52
3.7.6	Determinación de fibra de las harinas y galletas.....	52
3.7.7	Determinación del pH del de las harinas y galletas.....	53
3.8	Análisis microbiológicos de las harinas y galletas elaboradas	53
3.8.1	Mohos y levaduras de las harinas y galletas.....	53
3.8.2	Coliformes totales y <i>E. coli</i> de las harinas y galletas.....	53
3.8.3	<i>Salmonella</i> de las harinas y galletas.....	54
3.9	Análisis sensorial de las galletas	54
3.10	Análisis Económicos de las harinas y galletas elaboradas	55
3.10.1	Costos totales de las harinas y galletas.....	55
3.10.2	Costos unitarios de producción del proyecto.....	56
3.10.3	Precio de venta del proyecto.....	56
3.10.4	Ingresos brutos del proyecto.....	56
3.10.5	Beneficio neto del proyecto.....	56
3.10.6	Relación costo/beneficio del proyecto.....	56
3.10.7	Tasa promedio de rentabilidad del proyecto.....	57
4	RESULTADOS	58
4.1	Balances de masas del proceso de las harinas de cáscaras de cacao	58

4.1.1	Balance de materia en el proceso de limpieza y selección.....	58
4.1.2	Balance de materia en el proceso de secado.....	58
4.1.3	Balance de materia en el proceso de molienda.....	59
4.1.4	Balance de materia en el proceso de tamizado.....	59
4.1.5	Balance de materia en el proceso de almacenamiento.....	60
4.2	Balances de masas del proceso de las harinas de amaranto.....	60
4.2.1	Balance de materia en el proceso de limpieza y selección.....	61
4.2.2	Balance de materia en el proceso de estallado.....	61
4.2.3	Balance de materia en el proceso de secado.....	62
4.2.4	Balance de materia en el proceso de molienda.....	62
4.2.5	Balance de materia en el proceso de tamizado.....	63
4.2.6	Balance de materia en el proceso de fortificación.....	63
4.2.7	Balance de materia en el proceso de almacenamiento.....	64
4.3	Curva de secado de las cáscaras de cacao.....	64
4.3.1	Diseño de la curva de secado.....	65
4.3.2	Velocidad de secado.....	66
4.4	Curva de secado del amaranto.....	69
4.4.1	Determinación de la humedad.....	69
4.4.2	velocidad de secado.....	71
4.5	Granulometría de la harina de cáscara de cacao.....	73
4.6	Granulometría de la harina de amaranto.....	74
4.7	Resultados de los análisis bromatológicos de las harinas.....	75
4.7.1	Determinación de humedad de las harinas.....	77
4.7.2	Determinación de cenizas de las harinas.....	77
4.7.3	Determinación de proteínas de las harinas.....	78
4.7.4	Determinación de extracto no nitrogenado de las harinas.....	78
4.7.5	Determinación de extracto etéreo.....	79
4.7.6	Determinación de ácidos grasos de las harinas.....	80
4.7.7	Determinación de fibra de las harinas.....	80
4.7.8	Determinación de pH de las harinas.....	81
4.7.9	Determinación de carbohidratos de las harinas.....	82
4.8	Resultados de los análisis microbiológicos de las harinas.....	82
4.8.1	Resultados de mohos y levaduras de las harinas.....	82
4.8.2	Resultados de Coliformes totales.....	83

4.8.3 Resultados de <i>Salmonella</i>	83
4.9 Resultados de la formulación de las galletas	83
4.9.1 Tratamientos para la formulación de galletas.....	83
4.9.2 Formulación de galletas sin gluten	84
4.9.3 Resultados de la optimización de las galletas.	85
4.10 Resultados de los análisis bromatológicos de las galletas	87
4.10.1 Puntos predictivos de las galletas.....	89
4.10.2 Determinación de humedad de las galletas.	90
4.10.3 Determinación de cenizas del proyecto.....	94
4.10.4 Determinación de proteína de las galletas.....	99
4.10.5 Determinación de extracto no nitrogenado de las galletas.....	103
4.10.6 Determinación de extracto etéreo de las galletas.....	107
4.10.7 Determinación de ácidos grasos de las galletas.	111
4.10.8 Determinación de fibra de las galletas.....	115
4.10.9 Determinación de pH de las galletas.....	119
4.10.10 Determinación de carbohidratos de las galletas.....	123
4.11 Resultados de los análisis microbiológicos de las galletas.....	128
4.11.1 Resultados de mohos y levaduras de las harinas	128
4.11.2 Resultados de coliformes totales de las galletas.	128
4.11.3 Resultados de la <i>salmonella</i> de las galletas.	128
4.12 Resultados de los análisis sensoriales de las galletas	129
4.12.1 Resultados de las evaluaciones visuales de las galletas.	129
4.12.2 Resultados de las evaluaciones olfativa de las galletas.....	130
4.12.3 Resultados de las evaluaciones gustativas de las galletas.	132
4.12.4 Resultados de las evaluaciones de textura de las galletas.	134
4.12.5 Resultados de las evaluaciones auditiva de las galletas.....	135
4.12.6 Resultados de las evaluaciones de aceptabilidad de las galletas.	137
4.12.7 Resultados de los defectos de las galletas.	138
4.13 Análisis económico de la harina de cáscara de cacao.....	140
4.13.1 Resultado de los costos totales.....	141
4.13.2 Resultado del precio de venta.	142
4.13.3 Resultado de los ingresos brutos.....	142
4.13.4 Resultado del beneficio neto.	143

4.13.5 Resultado de la relación costo/beneficio.	143
4.13.6 Resultado de la tasa promedio de rentabilidad.	143
4.14 Resultados análisis económico de la harina de amaranto.....	144
4.14.1 Resultado de los costos totales de la harina de amaranto.	144
4.14.2 Resultado del precio de venta.	145
4.14.3 Resultado de los ingresos brutos.....	146
4.14.4 Resultado del beneficio neto.	146
4.14.5 Resultado de la relación costo/beneficio.	146
4.14.6 Resultado de la tasa promedio de rentabilidad.	147
4.15 Resultados de los análisis económicos de las galletas.....	147
4.15.1 Costos de los ingredientes para las galletas.....	147
4.15.2 Resultado de los costos totales de las galletas.....	148
4.15.3 Resultado del precio de venta.	149
4.15.4 Resultado de los ingresos brutos.....	149
4.15.5 Resultado del beneficio neto.	149
4.15.6 Resultado de la relación costo/beneficio.	149
4.15.7 Resultado de la tasa promedio de rentabilidad.	150
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	151
6 DISCUSIÓN.....	153
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción taxonómica del cacao	5
Tabla 2. Principales usos del cacao	11
Tabla 3. Descripción taxonómica del amaranto	13
Tabla 4. Principales aminoácidos esenciales en el amaranto	15
Tabla 5. Composición química de la harina de trigo.....	20
Tabla 6. Requisitos físicos y químicos de la harina de trigo.....	20
Tabla 7. Requisitos microbiológicos para la harina de trigo	21
Tabla 8. Requisitos para la fortificación de la harina de trigo	21
Tabla 9. Clasificación general de las galletas	25
Tabla 10. Requisitos bromatológicos para las galletas simples	25
Tabla 11. Requisitos microbiológicos para las galletas simples	26
Tabla 12. Materiales y equipos utilizados para el proceso de secado	29
Tabla 13. Materiales y equipos utilizados para el proceso de molienda.....	30
Tabla 14. Materiales y equipos utilizados para el proceso de tamizado.....	30
Tabla 15. Materiales y equipos utilizados para la elaboración de galletas.	31
Tabla 16. Materiales, reactivo y equipos utilizados en la determinación del pH	32
Tabla 17. Materiales, reactivo y equipos utilizados en la determinación de acidez.....	32
Tabla 18. Materiales y equipos utilizados en la determinación de humedad.....	33
Tabla 19. Materiales y equipos utilizados en la determinación ceniza	33
Tabla 20. Materiales, reactivo y equipos utilizados en la determinación de fibra cruda	34
Tabla 21. Materiales, reactivo y equipos utilizados en la determinación de proteínas.....	34
Tabla 22. Materiales, reactivo y equipos utilizados en la determinación de grasa	35
Tabla 23. Materiales, reactivo y equipos utilizados en la determinación de ácidos grasos.....	35
Tabla 24. Materiales, reactivo y equipos utilizados en la determinación de mohos y levaduras	36

Tabla 25. Materiales, reactivo y equipos utilizados en la determinación de <i>Salmonella</i>	36
Tabla 26. Materiales, reactivo y equipos utilizados en la determinación de <i>E.coli</i>	37
Tabla 27. Porcentajes aproximados para el uso de cada harina	44
Tabla 28. Datos de la humedad durante el secado de las cáscaras de cacao.....	64
Tabla 29. Determinación de la curva de secado de las cáscaras de cacao	65
Tabla 30. Determinación de la velocidad de secado de las cáscaras de cacao.....	67
Tabla 31. Datos del proceso de secado del amaranto	69
Tabla 32. Determinación de la curva de secado del amaranto.....	70
Tabla 33. Determinación de la velocidad de secado del amaranto.....	71
Tabla 34. Granulometría de las harinas de cáscaras de cacao.....	74
Tabla 35. Granulometría de la harina de amaranto.....	75
Tabla 36. Resultados aproximados de los análisis bromatológicos	76
Tabla 37. Análisis de humedad de las harinas	77
Tabla 38. Análisis de cenizas de las harinas	77
Tabla 39. Análisis de proteínas de las harinas	78
Tabla 40. Análisis de extracto no nitrogenado de las harinas	79
Tabla 41. Análisis de extracto etéreo de las harinas	79
Tabla 42. Análisis de ácidos grasos de las harinas.....	80
Tabla 43. Análisis de fibra de las harinas.....	81
Tabla 44. Análisis de pH de las harinas	81
Tabla 45. Análisis de carbohidratos de las harinas	82
Tabla 46. Combinaciones de Tratamientos	84
Tabla 47. Formulación de galletas sin gluten	84
Tabla 48. Resultados de los análisis bromatológicos de las galletas.....	88
Tabla 49. Resultados de la humedad de las galletas	90
Tabla 50. Resultados de las cenizas de las galletas	95
Tabla 51. Resultados de las proteínas de las galletas	99
Tabla 52. Resultados del extracto no nitrogenado de las galletas.....	103
Tabla 53. Resultados del extracto etéreo de las galletas.....	107
Tabla 54. Resultados de los ácidos grasos de las galletas.....	111

Tabla 55. Resultados de la fibra de las galletas.....	115
Tabla 56. Resultados del pH de las galletas.....	119
Tabla 57. Resultados de carbohidratos de las galletas	124
Tabla 58. Resultados de la evaluación visual de las galletas.....	129
Tabla 59. Resultados de la evaluación olfativa de las galletas.....	131
Tabla 60. Resultados de la evaluación gustativa de las galletas.....	132
Tabla 61. Resultados de la evaluación de textura de las galletas	134
Tabla 62. Resultados de la evaluación auditiva de las galletas	136
Tabla 63. Resultados de la evaluación de aceptabilidad de las galletas ..	137
Tabla 64. Resultados de la evaluación de los defectos de las galletas	139
Tabla 65. Costos totales para la harina de cáscaras de cacao	141
Tabla 66. Costos totales para la harina de amaranto.....	145
Tabla 67. Costos materia prima	147
Tabla 68. Costos totales de producción	148

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Provincias con mayor producción del cultivo de <i>Amaranthus quitensis</i>	16
Figura 2. Diagrama de flujo de la harina de cáscaras de cacao CCN – 51 y Nacional	38
Figura 3. Diagrama de flujo de la harina de fortificada de Amaranto.....	41
Figura 4. Tratamientos de mezclas en programa Design expert 8.0	45
Figura 5. Diagrama de flujo de la elaboración de galletas sin gluten.....	46
Figura 6. Balance de materia de limpieza y selección	58
Figura 7. Balance de materia del secado.....	59
Figura 8. Balance de materia de la molienda	59
Figura 9. Balance de materia del tamizado.....	60
Figura 10. Balance de materia del almacenamiento	60
Figura 11. Balance de materia de la limpieza y selección del amaranto.....	61
Figura 12. Balance de materia del estallado del amaranto.....	61
Figura 13. Balance de materia del secado del amaranto	62
Figura 14. Balance de materia de la molienda del amaranto.....	62
Figura 15. Balance de materia del tamizado del amaranto.....	63
Figura 16. Balance de materia de la fortificación del amaranto	63
Figura 17. Balance de materia del almacenamiento del amaranto.....	64
Figura 18. Curva de secado de la de cáscaras de cacao.....	66
Figura 19. Velocidad de secado de las cáscaras de cacao	67
Figura 20. Relación entre la humedad y velocidad de secado las cáscaras de cacao.....	68
Figura 21. Curva de secado del amaranto.....	70
Figura 22. Velocidad de secado del amaranto	72
Figura 23. Relación entre la humedad y velocidad de secado del amaranto	73
Figura 24. Resultados de los análisis bromatológicos	76
Figura 25. Tabla de criterios y soluciones de optimización.....	86
Figura 26. Gráfico ternario de deseabilidad	86
Figura 27. Resultados de los análisis bromatológicos de las galletas	89
Figura 28. Puntos predictivos estadísticos de las galletas.....	89

Figura 29. Transformación de la respuesta de la humedad.....	90
Figura 30. Modelo secuencial de suma de cuadrados de la humedad	91
Figura 31. Evaluación del modelo ANOVA de la humedad	92
Figura 32. Evaluación del diagnóstico de residuos de la humedad.....	93
Figura 33. Análisis de la figura de contornos de la humedad	94
Figura 34. Transformación de la respuesta de la ceniza.....	95
Figura 35. Modelo secuencial de suma de cuadrados de la ceniza	96
Figura 36. Evaluación del modelo ANOVA de la ceniza.....	97
Figura 37. Evaluación del diagnóstico de residuos de la ceniza.....	98
Figura 38. Análisis de la figura de contornos de la ceniza.....	98
Figura 39. Transformación de la respuesta de la proteína	99
Figura 40. Modelo secuencial de suma de cuadrados de la proteína.....	100
Figura 41. Evaluación del modelo ANOVA de la proteína.....	101
Figura 42. Evaluación del diagnóstico de residuos de la proteína.....	102
Figura 43. Análisis de la figura de contornos de la proteína.....	102
Figura 44. Transformación de la respuesta del extracto no nitrogenado ...	103
Figura 45. Modelo secuencial de suma de cuadrados del extracto no nitrogenado.....	104
Figura 46. Evaluación del modelo ANOVA del extracto no nitrogenado	105
Figura 47. Evaluación del diagnóstico de residuos del extracto no nitrogenado.....	106
Figura 48. Análisis de la figura de contornos del extracto no nitrogenado .	106
Figura 49. Transformación de la respuesta del extracto etéreo	107
Figura 50. Modelo secuencial de suma de cuadrados del extracto etéreo	108
Figura 51. Evaluación del modelo ANOVA del extracto etéreo.....	109
Figura 52. Evaluación del diagnóstico de residuos del extracto etéreo	110
Figura 53. Análisis de la figura de contornos del extracto etéreo.....	110
Figura 54. Transformación de la respuesta del ácido grasos	111
Figura 55. Modelo secuencial de suma de cuadrados del ácido grasos....	112
Figura 56. Evaluación del modelo ANOVA del ácido grasos	113
Figura 57. Evaluación del diagnóstico de residuos del ácido grasos.....	114
Figura 58. Análisis de la figura de contornos del ácido grasos	114
Figura 59. Transformación de la respuesta de la fibra.....	115
Figura 60. Modelo secuencial de suma de cuadrados de la fibra	116

Figura 61. Evaluación del modelo ANOVA de la fibra.....	117
Figura 62. Evaluación del diagnóstico de residuos de la fibra	118
Figura 63. Análisis de la figura de contornos de la fibra.....	118
Figura 64. Transformación de la respuesta del pH.....	119
Figura 65. Modelo secuencial de suma de cuadrados del pH	120
Figura 66. Evaluación del modelo ANOVA del pH.....	121
Figura 67. Evaluación del diagnóstico de residuos del pH	122
Figura 68. Análisis de la figura de contornos del pH.....	123
Figura 69. Transformación de la respuesta de los carbohidratos.....	124
Figura 70. Modelo secuencial de suma de cuadrados de los carbohidratos	125
Figura 71. Evaluación del modelo ANOVA de los carbohidratos	126
Figura 72. Evaluación del diagnóstico de residuos de los carbohidratos ...	127
Figura 73. Análisis de la figura de contornos de los carbohidratos	127
Figura 74. Estadística de la evaluación visual de las galletas	130
Figura 75. Estadística de la evaluación olfativa de las galletas	131
Figura 76. Estadística de la evaluación gustativas de las galletas	133
Figura 77. Estadística de la evaluación de textura de las galletas	135
Figura 78. Estadística de la evaluación auditiva de las galletas.....	136
Figura 79. Estadística de la evaluación de aceptabilidad de las galletas ..	138
Figura 80. Estadística de la evaluación de los defectos de las galletas....	140

RESUMEN

La presente investigación tuvo como Objetivo desarrollar una harina fortificada a partir de harina de amaranto y harina de cáscara de cacao de las variedades CCN-51 y Nacional) para la elaboración de galletas sin gluten con perfil nutricional mejorado. Se empleó un diseño experimental con rangos de incorporación de 10 % – 15 % para cáscara de cacao variedad CCN - 51, para la variedad Nacional 5 % – 10 % y para harina de amaranto 12 % – 17 %. La optimización se realizó mediante el método de conveniencia estadística, priorizando la maximización del contenido de proteína, cenizas, fibra y pH, y la reducción de carbohidratos y extracto etéreo. El tratamiento 10 fue identificado como la formulación óptima. En el análisis bromatológico de las materias primas, el amaranto presentó mayor contenido de proteína (12.39 % – 14.86 %), mientras que la cáscara de cacao registró alto contenido de fibra (24.68 % – 30.59 %). Se determinó que el secado de 24 horas no fue adecuado debido a la presencia de mohos, levaduras y *Salmonella*; en contraste, a 48 horas no se detectó contaminación microbiológica y la humedad promedio se redujo a 8.38 %, garantizando estabilidad e inocuidad. Las galletas desarrolladas presentaron un promedio de 8.58 % de proteína, 7.99 % de fibra y 4.25 % de cenizas, con humedad de 7.91 %. La rentabilidad económica fue de 48.18 % para los paquetes de galletas, 39.47 % para la harina de amaranto y 39.02 % para la harina de cacao. Se concluyó que la harina fortificada desarrollada fue nutricionalmente mejorada, microbiológicamente segura y económicamente viable.

Palabras Clave: harina fortificada, cáscaras de cacao, amaranto, galletas, valorización de subproductos, productos sin gluten

ABSTRACT

This research aimed to develop a fortified flour from amaranth flour and cocoa husk flour (of the CCN-51 and Nacional varieties) for the production of gluten-free cookies with an improved nutritional profile. An experimental design was used with incorporation ranges of 10%–15% for CCN-51 cocoa husk, 5%–10% for the Nacional variety, and 12%–17% for amaranth flour. Optimization was performed using statistical convenience sampling, prioritizing the maximization of protein, ash, fiber, and pH content, and the reduction of carbohydrates and ether extract. Treatment 10 was identified as the optimal formulation. In the proximate analysis of the raw materials, amaranth showed the highest protein content (12.39%–14.86%), while cocoa husk registered a high fiber content (24.68%–30.59%). It was determined that the 24-hour drying process was inadequate due to the presence of mold, yeast, and Salmonella. In contrast, after 48 hours, no microbiological contamination was detected, and the average moisture content was reduced to 8.38%, ensuring stability and safety. The developed cookies presented an average of 8.58% protein, 7.99% fiber, and 4.25% ash, with a moisture content of 7.91%. Economic profitability was 48.18% for the cookie packages, 39.47% for the amaranth flour, and 39.02% for the cocoa flour. It was concluded that the developed fortified flour was nutritionally enhanced, microbiologically safe, and economically viable.

Keywords: fortified flour, cocoa husks, amaranth, cookies, byproduct valorization, gluten free products

1 INTRODUCCIÓN

El procesamiento industrial del *Theobroma cacao* L. genera una gran cantidad de subproductos, entre los cuales, la cáscara representa entre el 10 % y el 20 % del peso total del grano de cacao, lo que representa una fuente de biomasa subutilizada a nivel industrial (Handojo et al., 2019). Este subproducto ha sido desechado o destinado a usos de bajo valor como compost, biocombustible o alimentación animal. No obstante, varios estudios han evidenciado que la cáscara de cacao posee altos niveles de fibra dietética, proteínas, lípidos insaturados y compuestos bioactivos (Tušek et al., 2024).

El *Amaranthus* spp., se caracteriza como un ingrediente funcional en la fortificación de harinas por su perfil nutricional como una fuente completa de proteínas, conteniendo todos los aminoácidos esenciales, contiene fibra dietética y otros micronutrientes. La incorporación de amaranto en algunos casos no solo corrige deficiencias nutricionales comunes, sino que también aporta compuestos bioactivos y contribuye a la estabilidad oxidativa del producto final.

En paralelo, el sector de panadería y derivados se enfrentan al desafío de mejorar el perfil nutricional de las galletas libre de gluten, las cuales presentan limitaciones relacionadas con la textura, el volumen específico, la vida útil y la aceptabilidad por parte del consumidor. Por ello, la fortificación de alimentos se presenta como una estrategia eficaz y sostenible para combatir estas carencias. Al enriquecer productos básicos como las harinas con vitaminas y minerales clave, se puede mejorar la ingesta nutricional.

La presente investigación se enfoca en la evaluación comparativa de las propiedades físico, químicas y microbiológicas de harinas elaboradas a partir de cáscara de cacao Nacional y CCN-51 con fortificación de amaranto, con el Objetivo de establecer su idoneidad como ingrediente funcional en productos de galletería.

1.1 Justificación

La creciente demanda de productos sin gluten con adecuado valor nutricional representa un desafío para la industria alimentaria, debido a que la mayoría de estos productos se elaboran principalmente a base de almidones refinados, lo que resulta en bajo contenido proteico y reducido aporte de fibra dietética. En este contexto, la incorporación de materias primas alternativas con alto valor funcional constituye una estrategia pertinente para mejorar la calidad nutricional de estos alimentos.

El amaranto es un pseudocereal reconocido por su elevado contenido proteico y su perfil balanceado de aminoácidos esenciales, mientras que la cáscara de cacao, subproducto de la agroindustria cacaotera, posee un alto contenido de fibra dietética y compuestos bioactivos. Sin embargo, este subproducto es generalmente descartado, generando pérdidas económicas y problemas ambientales. Por tanto, su aprovechamiento como ingrediente alimentario no solo responde a criterios nutricionales, sino también a principios de economía circular y sostenibilidad.

Desde el punto de vista tecnológico, fue necesario evaluar el proceso de secado como etapa crítica para garantizar estabilidad bromatológica y microbiológica, ya que los resultados demostraron que tiempos insuficientes favorecen el crecimiento de mohos y patógenos. La estandarización del proceso permitió asegurar la inocuidad del producto final.

Asimismo, la formulación y optimización de galletas sin gluten enriquecidas con harina fortificada permitió mejorar significativamente el contenido de proteína y fibra en comparación con productos comerciales convencionales. La evaluación económica evidenció que la propuesta es rentable, demostrando que la valorización de la cáscara de cacao puede generar beneficios tanto nutricionales como financieros.

1.2 Objetivos

1.2.1. Objetivo general.

Elaborar una harina fortificada a partir de amaranto y cáscara de cacao CCN-51 y Nacional para el desarrollo de galletas sin gluten.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Diseñar el proceso tecnológico para la obtención de una harina fortificada a base de amaranto y cáscara de cacao CCN-51 y Nacional.
- Caracterizar las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de la harina fortificada de amaranto y cáscara de cacao CCN 51 y Nacional.
- Desarrollar la formulación de una galleta sin gluten evaluando diferentes niveles de incorporación de harina fortificada de amaranto y cáscara de cacao CCN 51 y Nacional.
- Evaluar la calidad física, química, microbiológica y sensorial de las galletas formuladas.
- Analizar la viabilidad económica del proceso de producción de las galletas considerando los costos de materia prima y la estimación de los costos de producción, para determinar la rentabilidad del producto y su mercado

1.3 Hipótesis General

El uso de harina fortificada de amaranto y cáscara de cacao (variedades CCN-51 y Nacional), sometidas a diferentes tiempos de secado, modificará significativamente las características bromatológicas de las harinas y mejorará la composición proximal y las propiedades sensoriales de las galletas sin gluten, demostrando su viabilidad técnica y económica como alternativa para la valorización de la cáscara de cacao.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 El origen del cacao (*Theobroma cacao* L.)

Según Beckett (2009) el consumo de cacao se remonta a 3 000 años, en las civilizaciones Azteca y Maya, informes arqueológicos demuestran el consumo de una bebida elaborada a partir de granos de cacao, el xocoatl , por los aztecas en el año 400 a. C. Sin embargo, Vásquez et al. (2019), indican que la difusión mundial del cacao no se produjo hasta 1519, cuando la civilización azteca presentó las semillas de cacao al explorador español Hernán Cortés.

Como menciona Coronado (2012) el cacao (*Theobroma cacao* L.) fue considerado un fruto de gran valor en diferentes esferas políticas, económicas, sociales y religiosas en la antigua Mesoamérica, de manera similar Andalón (2010) indica que el cacao se ofrecía en eventos sociales importantes para dignatarios y en diversos acuerdos políticos y de otra índole. También se incluía en diversas festividades religiosas, como ceremonias matrimoniales y funerales, ya que se consideraba que la bebida acompañaría al dignatario fallecido en su tránsito al inframundo; además, tenía diversos usos medicinales.

El cacao es una planta pertenece al género *Theobroma*, originaria de los sectores húmedos de América del Sur, Enríquez (1987), indica que su origen parece estar situado al noroeste de América del Sur, lo que hoy se conoce como la Amazonia, de igual forma Vásquez et al. (2019) expone que el cacao es una baya de la familia Malvaceae, crece directamente en el tronco y las ramas del árbol del cacao, que puede alcanzar hasta 10 m de altura, con frutos que se extienden hasta 25 cm de longitud.

2.1.1 Morfología y taxonomía general del cacao.

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una especie arbórea perenne de la familia Malvaceae, subfamilia Byttnerioideae, ampliamente distribuida en regiones tropicales húmedas del mundo y de gran importancia económica por ser la principal fuente de semillas utilizadas en la producción de chocolate

(Gopaulchan et al., 2019). La especie *Theobroma cacao* es la más estudiada y cultivada dentro del género *Theobroma*, entre las 22 especies, aunque solo *Theobroma cacao* se utiliza de forma extensiva en la agroindustria global (Colli-Silva et al., 2024).

Los frutos del árbol del cacao (*Theobroma cacao* L.), están compuestos por la cáscara de la mazorca de cacao, los granos y la pulpa representando alrededor del 70 %, 20 % y 10 % de todo el fruto (Figuerola et al., 2019), de igual manera Chico (2022) indica que el peso de su fruto varía entre 200 g y más de 1 kg.

Theobroma cacao es un árbol semi caducifolio que puede alcanzar una altura de 12 m de altura y en cultivo se conservan generalmente entre los 4 m y 8 m, el tallo es parcialmente pubescente (Dostert et al., 2011). La corteza tiene un color gris marrón, las ramas son café vellosas, sus hojas son simples y enteras (o levemente coriáceas o cartáceas) de forma ligeramente asimétrica, con una curvatura irregularmente sinuosa y de contornos obovados a elípticos o angostamente ovados, con un tamaño de 17 a 48 cm de largo y 7 a 10 cm de ancho, alternas y lisas o laxamente (Rondón y Cumana Campos, 2005). Según Gopaulchan et al. (2019), la taxonomía del cacao se la puede definir como indica la Tabla 1.

Tabla 1.

Descripción taxonómica del cacao

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Dilleniidae
Orden	Malvales
Familia	Malvaceae
Subfamilia	Byttnerioideae
Tribu	Theobromateae
Género	<i>Theobroma</i>
Especie	<i>Theobroma cacao</i> L.

Nota. Elaborado por la autora; datos adaptados de (Gopaulchan et al., 2019).

2.1.2 Variedades de cacao en Ecuador.

De acuerdo con Llerena et al. (2023), actualmente existen entre 101 y 155 tipos y 4 genotipos de *Theobroma cacao* L.; sus cultivares se diferencian por las características y rasgos morfológicos de la mazorca y los granos. En Ecuador se cultivan diferentes variedades de cacao: Criollo, Forastero, Trinitario (un híbrido de Criollo y Forastero) y el reconocido Nacional predominando el clon de cacao CCN-51 (Colección de Castro Naranjal) y el cacao del tipo Nacional X Trinitario, también conocido como “Fino de Aroma” o “Arriba” (Samaniego et al., 2020).

El clon CCN-51 es una variedad híbrida altamente productiva y adaptada a una amplia gama de condiciones agroecológicas, obtenida en Ecuador a partir de cruzamientos entre materiales genéticos provenientes de diversas fuentes (incluyendo IMC-67, ICS-95 y otros) con aportes de las variedades Iquitos, Criollo y Amelonado (Boza et al., 2014). Lo cual Boza et al. (2014) señalan que esta combinación le confiere una alta productividad, resistencia a enfermedades y adaptabilidad, lo que ha promovido su cultivo extensivo en Ecuador y otros países de América Latina.

El cacao Criollo es considerado una de las variedades ancestrales de cacao con alto valor organoléptico debido a la complejidad aromática de sus semillas. Esta variedad se caracteriza por bajo vigor, menor rendimiento y sensibilidad a enfermedades, lo que limita su producción a pesar de la alta calidad de sus semillas. Genéticamente, el cacao Criollo ha sido asociado a perfiles aromáticos complejos que lo hacen particularmente valioso para chocolates de alta gama cuando se presenta en estado puro o como componente de híbridos (Motamayor et al., 2008).

Según Ríos et al. (2017), el cacao Trinitario es el resultado de un cruzamiento entre cacaos de tipo Criollo y Forastero, estos tienen diversidad de formas y colores en sus mazorcas; este cacao en ciertos países es considerado como un cacao fino ya que presenta buenas características organolépticas.

El cacao Nacional o Fino Aroma es reconocido por un perfil aromático floral y frutal complejo, apreciado en la industria chocolatera de alto valor. A diferencia de las clasificaciones clásicas internas de Criollo, Forastero o Trinitario, el cacao Nacional ecuatoriano constituye una población genética distinta, con huellas evolutivas propias en la Amazonía ecuatoriana y diferenciada de otros grupos por marcadores genéticos específicos (Motamayor et al., 2008).

2.1.3 Composición nutricional del cacao.

El cacao exhibe potencial prebiótico debido a su alto contenido de flavanoles, que no solo proporciona efectos antioxidantes y antiinflamatorios, sino que también mejora la actividad y supervivencia de los probióticos en el intestino. Se ha demostrado que el cacao en polvo sin fermentar sirve como un portador adecuado para *Lactobacillus rhamnosus* manteniendo una alta viabilidad durante el almacenamiento en frío (Suriwong et al., 2025).

Uno de los componentes más significativos del cacao son los polifenoles, particularmente los flavanoles como la epicatequina, catequina y procianidinas. Diversos estudios han demostrado que estos compuestos poseen una elevada capacidad antioxidante contribuyendo a la reducción del estrés oxidativo y de procesos inflamatorios asociados a enfermedades crónicas no transmisibles (Rimbach et al., 2009). Además, los flavanoles del cacao no se absorben completamente en el intestino delgado, lo que permite su llegada al colon, donde pueden ser metabolizados por el microbiota intestinal favoreciendo el crecimiento de bacterias beneficiosas (Jang et al., 2016).

Además, el jugo de pulpa de cacao ofrece un entorno rico en nutrientes que apoya el crecimiento y la estabilidad de las cepas probióticas durante la vida útil, lo que lo convierte en un medio prometedor para el desarrollo de bebidas probióticas (Santos Filho et al., 2019).

El cacao, los derivados del cacao y los productos a base de cacao no solo se consideran ingredientes que promueven la salud, sino que también

sirven como portadores eficaces para la administración de probióticos debido a su composición rica en nutrientes y atributos funcionales (Puerari et al., 2012), de igual forma Katz et al. (2011), indican que dependiendo del grado de procesamiento, el cacao y sus derivados contienen lípidos (principalmente manteca de cacao), carbohidratos, proteínas, fibra dietética, minerales y polifenoles, siendo estos últimos los principales responsables de sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias.

2.1.4 Producción de cacao en Ecuador.

Poma (2023), señala que la producción de cacao en Ecuador constituye una de las actividades agroexportadoras más significativas del país, tanto por su contribución económica como por su reconocimiento internacional en la producción de cacao fino de aroma. Ecuador se posiciona de manera sostenida entre los principales productores de cacao a nivel mundial, destacándose por la calidad diferenciada de su grano y por la coexistencia de sistemas productivos tradicionales y tecnificados.

Somarriba y Beer (2011), explican que el cultivo de cacao en Ecuador se desarrolla principalmente en regiones de clima tropical húmedo, con predominio en las provincias de Los Ríos, Guayas, Manabí, Esmeraldas y Santo Domingo de los Tsáchilas, donde las condiciones edafoclimáticas favorecen el crecimiento del cultivo. Estos sistemas productivos se caracterizan mayoritariamente por ser explotaciones de pequeña y mediana escala, integradas en sistemas agroforestales, los cuales contribuyen a la conservación de la biodiversidad, la regulación microclimática y la sostenibilidad del suelo.

Durante la última década, la producción nacional de cacao ha mostrado un crecimiento sostenido, impulsado principalmente por la expansión del área cultivada y la introducción de materiales genéticos de alto rendimiento, como el clon CCN-51, junto con variedades tradicionales de cacao fino de aroma (Boza et al., 2014). Estudios recientes indican que el aumento de la productividad ha estado asociado a mejoras en el manejo agronómico, prácticas de poda, fertilización y control fitosanitario, así como a programas

de asistencia técnica dirigidos a pequeños productores (Sánchez Mora et al., 2014).

Desde el punto de vista de Niether et al. (2020), el cacao ecuatoriano presenta una marcada heterogeneidad en términos de rendimiento, mientras los sistemas tradicionales basados en cacao Nacional muestran rendimientos moderados, pero con alto valor comercial, los sistemas intensivos con clones mejorados alcanzan mayores volúmenes de producción, aunque con características sensoriales distintas. Esta dualidad productiva ha permitido al país atender simultáneamente mercados de cacao fino y mercados de cacao convencional.

2.1.5 Producción de cacao a nivel mundial.

De acuerdo con Vásquez et al. (2019) los granos de cacao proporcionan materia prima a las industrias alimentarias mundiales, con exportaciones mundiales valoradas en más de 47 mil millones de dólares. La producción y procesamiento del cacao constituye un rubro elevado de interés económico en Ecuador, ubicado como uno de los siete productores mundiales de cacao junto a Costa de Marfil, Ghana, Camerún, Nigeria, Indonesia y Brasil (Organización Internacional del Cacao, 2019).

El Ecuador entre el 2014 y 2019 tuvo una producción de aproximadamente 260 333 toneladas (Escobar et al., 2020). Estas cifras posicionan a Ecuador como el líder regional en la producción de cacao entre Colombia, Perú y República Dominicana.

El cacao se expandió a otras regiones en el siglo XIX y actualmente se produce en 40 países de África tropical, Asia, América, Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Brasil y Nigeria son los principales productores de cacao del mundo (Ríos et al, 2017).

Los granos de cacao se exportan principalmente a Europa y América del Norte para su procesamiento teniendo en cuenta que los mayores consumidores son Estados Unidos con el 20 %, Alemania con el 9 %, Francia

con el 6 %, Reino Unido con el 6 %, Brasil con el 5 %, Rusia con el 5 % y Japón con el 4 % (Gómez-García Palao, 2016). En el mercado internacional se comercializan granos secos, residuos (cáscaras, cortezas, cáscaras y desechos de cacao), pasta, torta, mantequilla, polvo y chocolate (Organización Internacional del Cacao, 2025).

2.1.6 Valorización de los residuos del cacao.

Según la Organización Internacional del Cacao (ICCO), la generación mundial de residuos de cacao se estima en 700 000 toneladas anuales (Organización Internacional del Cacao, 2025). Estos residuos tradicionalmente se desechan durante las etapas iniciales de recolección del grano ocupando extensas áreas generando preocupación social y ambiental. Si bien los granos de cacao tienen el mayor valor comercial, las cáscaras y la pulpa se han tratado tradicionalmente como subproductos (Figueroa et al., 2019). En particular, el procesamiento del cacao genera cantidades significativas de subproductos, principalmente durante las etapas iniciales en el campo, que pueden representar hasta el 80 % del peso total de la fruta (Santos et al., 2024).

La industria cacaotera utiliza principalmente las semillas contenidas en la cáscara de la mazorca, la fracción de mayor valor comercial para la producción de chocolate (Chico, 2022). Según Vásquez et al. (2019), durante el procesamiento en las fincas, aproximadamente el 80 % del fruto del cacao se desecha como biomasa residual incluyendo cáscaras de mazorcas, cáscaras de granos y exudados de cacao.

Por otro lado, los subproductos del cacao como la cáscara de la vaina del cacao, la cáscara del cacao y la pulpa tienen el potencial de usarse como fuentes de pectina, fibra dietética, lignina y antioxidantes bioactivos (Anoraga et al., 2024). En este contexto la valorización de los residuos generados se presenta como una alternativa para mitigar los impactos ambientales asociados a la disposición inadecuada y simultáneamente promover esquemas de economía circular debido a que el aprovechamiento integral de estos desechos contribuyen a la reducción de emisiones asociadas a la

descomposición anaerobia de los residuos y abre oportunidades tecnológicas y económicas para las comunidades productoras fortaleciendo la sostenibilidad ambiental, social y económica del sector cacaotero (Nascimento et al., 2025); en la Tabla 2 se describe la valorización del cacao.

Tabla 2.

Principales usos del cacao

Producto	Usos y derivados
Manteca de cacao	Elaboración de chocolate y confitería, y también puede ser usado en la industria cosmética y la industria
Pulpa de cacao	Producción de bebidas alcohólicas y no alcohólicas.
Cáscara	Puede ser utilizado como comida para animales
Cenizas de la cáscara	Puede ser usado para elaborar jabón y como fertilizante de cacao, vegetales y otros cultivos
Jugo de cacao	Elaboración de jaleas y mermeladas.
Polvo de Cacao	Puede ser usado como ingrediente alimenticio: bebidas chocolatadas, postres de chocolate y salsas
Pasta o licor de Cacao	Se utiliza para elaborar chocolate

Nota. Elaborado por la autora; los datos fueron extraído de (Murillo, 2018).

2.2 El origen del amaranto (*Amaranthus spp.*)

De acuerdo con Stetter et al. (2020), el amaranto (*Amaranthus spp.*) fue domesticado y consumido por primera vez hace más de 7 000 años, lo que lo convierte en uno de los cultivos alimentarios más viejos de América. Las pruebas arqueobotánicas demuestran que, por lo menos, 5200 a. C. hasta 3400 a. C., varias especies de amaranto fueron domesticadas en la región andina y Mesoamérica (Joshi et al., 2018). En estos lugares, el amaranto fue un componente esencial de los sistemas agrícolas precolombinos, junto con el maíz, la quinua y el frijol.

Según Vidal Torres et al. (2024), las especies de *Amaranthus* que se han empleado como cultivos de grano (*A. caudatus*, *A. hypochondriacus* y *A. cruentus*) fueron domesticadas y surgieron en varias zonas de América antes del descubrimiento de América, Hernández et al. (2018) indican que las civilizaciones azteca y maya en Mesoamérica utilizaron principalmente *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus cruentus*, mientras que en la región andina se domesticó *Amaranthus caudatus*.

A su vez Baginsky et al. (2024), mencionan que, en estas culturas, el amaranto no solo era una fuente alimentaria básica, sino que también desempeñaba un papel significativo en rituales religiosos, prácticas ceremoniales y usos medicinales, lo que le otorgaba un valor simbólico y social comparable al de otros cultivos sagrados.

Desde el punto de vista botánico, Sulub-Tun et al. (2025) indican que el amaranto pertenece al género *Amaranthus*, familia Amaranthaceae, la cual comprende más de 60 especies, aunque solo unas pocas han sido domesticadas para la producción de grano. Estudios genéticos como los de Stetter et al. (2020) exponen que las especies cultivadas presentan diferencias claras respecto a sus parientes silvestres, resultado de procesos de selección humana orientados a mejorar el tamaño del grano, el rendimiento y la adaptabilidad a diferentes condiciones agroecológicas.

2.2.1 Morfología general del amaranto.

Iamónico et al. (2023) exponen que el amaranto es una planta del género *Amaranthus* L., que forma parte de la familia Amaranthaceae y del orden Caryophyllales. Este último, es un grupo botánico que incluye especies herbáceas con gran distribución por todo el mundo y con una notable plasticidad morfológica. Según Costea et al. (2001), el género *Amaranthus* comprende cerca de 70 a 90 especies, la mayoría originarias del continente americano, pero que hoy en día están repartidas por regiones tropicales, subtropicales y templadas debido a su adaptación ecológica y expansión agrícola.

Para Bayón (2015) la clasificación del género *Amaranthus* ha sido compleja desde el enfoque taxonómico, debido a la gran variabilidad morfológica entre las especies existentes, las cuales se encuentran especies silvestres y cultivadas, además dentro de este género coexisten caracteres dioicos y monoicos. Investigaciones taxonómicas como la de Iamónico (2015) fundamenta que los atributos morfológicos y pruebas moleculares, identifican la presencia de subgrupos infragenéricos que facilitan la diferenciación de especies de relevancia agrícola como *A. caudatus*, *A. hypochondriacus* y *A.*

cruentus, las cuales son reconocidas como las principales especies de amaranto de grano.

Las especies de *Amaranthus* son predominantemente plantas herbáceas anuales, aunque algunas presentan comportamiento perenne. El tallo es generalmente erecto, robusto y ramificado, con alturas variables que oscilan entre 0.5 m y más de 2.5 m, dependiendo de la especie, el genotipo y las condiciones ambientales. El tallo puede presentar pigmentaciones rojizas o verdosas, asociadas a la acumulación de betalaínas, compuestos característicos del género (Hernández et al., 2013).

Según Huerta y Barba (2011) indican que el sistema radicular del amaranto es de tipo pivotante, con una raíz principal bien desarrollada y un conjunto de raíces secundarias que favorecen la absorción eficiente de agua y nutrientes.

Las hojas son simples, alternas y pecioladas, con láminas de forma ovada a lanceolada y márgenes enteros. La superficie foliar puede ser glabra o ligeramente pubescente, y el color varía desde verde claro hasta tonalidades púrpuras, dependiendo del contenido de pigmentos fenólicos. Estas características foliares son utilizadas como criterios morfológicos auxiliares en la diferenciación varietal (Aguilera et al. 2021). En la Tabla 3 Iamónico (2015) indica la taxonomía del amaranto.

Tabla 3.

Descripción taxonómica del amaranto

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Caryophyllidae
Orden	Caryophyllales
Familia	Amaranthaceae
Subfamilia	Amaranthoideae
Tribu	Amarantheae
Género	<i>Amaranthus</i> L.

Nota. Elaborado por la autora; los datos fueron adaptados de (Iamónico, 2015).

2.2.2 Variedades de amaranto en Ecuador.

Según investigaciones de Aguilera et al. (2021) acerca de la diversidad del género *Amaranthus*, se concluyó que las especies con mayor relevancia agronómica son, *Amaranthus caudatus* provenientes con la zona sur de America, donde se domesticó la producción de grano fino, *Amaranthus cruentus* distribuido por Mesoamérica y *Amaranthus hypochondriacus* procedente de México.

Amaranthus quitensis, también conocido como un pariente cercano o variante de *A. hybridus*, es considerado la variedad local más importante en el Ecuador, se le conoce como ataco, sangorache o amaranto de grano negro (Jiménez et al., 2018).

Según Delgado et al. (2022) esta variedad se cultiva particularmente en áreas de los Andes y ha sido estudiada desde el punto de vista agronómico para comparar su rendimiento con otras especies como *A. hypochondriacus*, mostrando así variaciones fenotípicas y de producción entre las variedades que se manejan bajo diversos sistemas agronómicos.

2.2.3 Composición nutricional del amaranto.

El amaranto se caracteriza por su excelente valor nutricional ya que se caracteriza por una composición equilibrada de aminoácidos esenciales, altos niveles de fibra dietética, antioxidantes, macro y microelementos, compuestos fitoquímicos y péptidos bioactivos (Baraniak y Kania, 2022).

En adición a sus características, Mukuwapasi et al. (2024) establecen que el amaranto exhibe un perfil de aminoácidos más equilibrado, mientras que su aceite contiene compuestos bioactivos asociados a propiedades antioxidantes además que su fisiología C4 y diversidad genética sustentan su potencial como cultivo.

En la Tabla 4 se resumen los principales aminoácidos esenciales presentes en el grano de amaranto.

Tabla 4.

Principales aminoácidos esenciales en el amaranto

Nombre del aminoácido	5	53	54	55
Leucina	6.20	7.11	7.31	7.85
Valina	5.90	4.62	4.53	3.11
Lisina	5.70	8.97	5.59	10.10
Fenilalanina	5.40	6.55	6.84	3.80
Treonina	5.10	4.40	4.52	3.05
Metionina	4.60	3.03	3.35	4.69
Isoleucina	3.90	4.38	4.06	2.87
Histidina	3.00	4.08	3.98	6.83

Nota. Elaborado por la autora; datos extraídos de (Toimbayeva et al. 2025).

Las proteínas vegetales pueden ser extraídas y procesadas para obtener aislados proteicos; el uso de éstos ha ido aumentando en la industria alimenticia debido a su alto valor nutricional, su buena funcionalidad, su alto nivel proteico (mayor del 90 % en base seca en el caso de algunos aislados de legumbres) y su bajo contenido de nutrientes (Castel et al., 2014).

Las principales fracciones proteicas en el grano de amaranto son las albúminas, globulinas y glutelinas, las cuales difieren en sus solubilidades. Existe una controversia sobre cuál de estas fracciones es el principal componente. La proporción de las diferentes fracciones en un aislado proteico de amaranto y sus propiedades funcionales y nutricionales particulares depende del método de preparación utilizado (Avanza, 2006).

Por otro lado, la calidad de las proteínas no depende sólo de la composición de aminoácido sino también de la biodisponibilidad (digestibilidad). La digestibilidad proteica, la disponibilidad de lisina y la utilización proteica neta de las proteínas de amaranto son definitivamente superiores a las de los cereales y similares a las de la caseína (Salcedo et al., 2002).

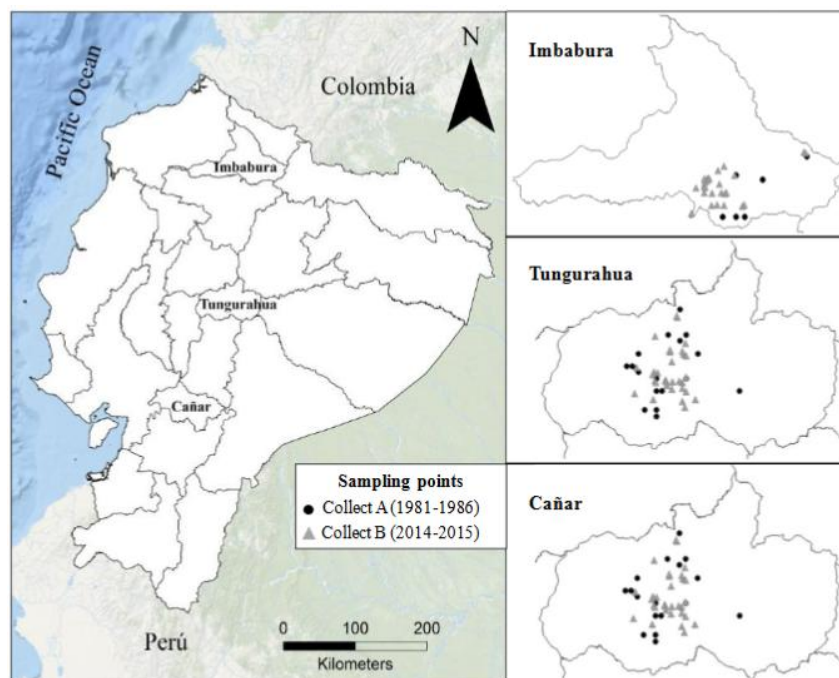
2.2.4 Producción de amaranto en Ecuador.

Para Suquillo (2018) En Ecuador, la producción de amaranto (*Amaranthus spp.*) se concentra en las provincias de la Sierra, donde el cultivo oscila entre los 1 800 y los 2 800 m s. n. m., y una intensa radiación solar. En

la Figura 1 se evidencia las provincias que tiene mayor producción de cultivos de amaranto en el Ecuador.

Figura 1.

*Provincias con mayor producción del cultivo de *Amaranthus quitensis**



*Nota. 1. Sitios de recolección de variedades locales de ataco (*Amaranthus quitensis* Kunth) en tres provincias de la región andina ecuatoriana (Delgado et al., 2022)*

Aproximadamente 50 hectáreas se proyectan para la siembra del amaranto en Ecuador, las áreas de este cultivo han disminuido. Asimismo, se ha documentado una producción media de entre 1.5 y 2.0 toneladas de grano seco por hectárea en condiciones habituales de gestión (Ochoa, 2022). Esto se traduce en una producción nacional anual total de 400 toneladas, que constituye solo una parte muy pequeña de la producción global y no es suficiente para cubrir la demanda internacional de semillas de amaranto, especialmente las variedades con grano claro (Alemán, 2022).

A escala local, investigaciones como la de Jurado (2019) concluyen que en la provincia de Imbabura, el rendimiento de amaranto fue de 3.18 t/ha y que la producción total fue de 47 700 kg (alrededor de 47.7 toneladas), con

un porcentaje cercano al 90 % perteneciente al amaranto de grano claro y el 10 % restante a sangorache (amaranto negro).

2.2.5 Producción de amaranto a nivel Mundial.

De acuerdo con Yadav (2024), el amaranto constituye un pseudocereal de creciente importancia para la seguridad alimentaria mundial debido a su alto valor nutricional, adaptabilidad agronómica y versatilidad industrial, lo que ha impulsado su producción y comercio en mercados especializados de alimentos funcionales y productos libres de gluten.

Aunque el amaranto no cuenta con estadísticas productivas consolidadas a nivel global, diversos estudios coinciden en que su producción ha aumentado de forma sostenida durante la última década, impulsada por la demanda de ingredientes nutraceuticos y cultivos resilientes al cambio climático (Toimbayeva et al., 2025).

Según análisis agronómicos recientes de Hassen et al. (2024), el rendimiento del amaranto a nivel mundial presenta una alta variabilidad, con valores que oscilan entre 1.5 y 7.0 t/ha según la especie cultivada, las prácticas de manejo y las condiciones edafoclimáticas de cada región. Esta variabilidad productiva ha sido identificada como uno de los principales factores que limitan su expansión homogénea a gran escala, a pesar de su reconocido potencial agronómico y nutricional.

Desde el punto de vista económico, reportes de mercado publicados en 2024 indican que el valor del mercado superó los 8 000 millones de dólares reflejando un crecimiento sostenido en la producción y comercialización de granos y productos derivados (Bhilare, 2025). Los principales destinos de exportación incluyen América del Norte y Europa, donde el amaranto es utilizado como ingrediente en productos saludables, alimentos infantiles, formulaciones para deportistas y productos sin gluten consolidando su rol como cultivo estratégico emergente en la agroindustria mundial (Toimbayeva et al., 2025).

2.3 Caracterización de las Harinas

Las harinas constituyen materiales básicos en la industria alimentaria debido a su capacidad de proporcionar carbohidratos complejos, proteínas, fibra y, en algunos casos, micronutrientes esenciales (Awuchi et al., 2019). Su importancia radica no solo en la función estructural en productos horneados, sino también en su papel como vehículo para mejorar el perfil nutricional de alimentos procesados (Wang y Jian, 2022).

Debido a que las harinas se obtienen de materias primas diversas, como cereales, pseudocereales y leguminosas su composición nutricional y funcional puede variar considerablemente, lo que ha estimulado la investigación en formulaciones alternativas y tecnológicamente mejoradas (Akinwotu et al., 2025).

2.3.1 Harinas compuestas.

Las harinas compuestas son mezclas formuladas a partir de dos o más tipos de harinas diseñadas para mejorar el perfil nutricional y funcional de los productos alimentarios y reducir la dependencia de la harina de trigo refinada; estas harinas combinan ingredientes con distintos perfiles de macronutrientes y bioactivos, lo que incrementa proteínas, fibra dietética, minerales y vitaminas en comparación con harinas estándar únicamente de trigo (Akinwotu et al., 2025).

Además de su mejora nutricional, diversas investigaciones han señalado que las harinas compuestas pueden modificar las propiedades del gluten y la textura de las masas, lo que afecta reología y volumen del pan, por lo cual es necesario ajustar las proporciones de mezcla según el producto. Objetivo, de igual forma se considera más nutritiva que la harina refinada, la cual se utiliza para elaborar productos alimenticios con bajo contenido de proteína y fibra (Alim et al., 2024).

2.3.2 Harinas fortificadas.

Las harinas fortificadas son productos a los que se les añaden micronutrientes esenciales durante su procesamiento para combatir

deficiencias en la población y mejorar la calidad nutricional de alimentos de consumo masivo (Cardoso et al., 2019). Estas intervenciones están respaldadas por numerosos estudios como los de Pachón et al. (2015) que avalan la fortificación como una estrategia efectiva de salud pública para reducir tasas de anemia y otros trastornos asociados a carencias nutricionales.

Un estudio de Martínez et al. (2023) aunque enfocado en metodología, demuestra cómo se puede predecir y controlar el contenido mineral en harinas fortificadas mediante tecnologías modernas como espectroscopía NIR, lo que mejora la implementación y calidad de productos fortificados.

2.3.3 Harinas integrales.

Las harinas integrales se obtienen de la molienda del grano completo conservando salvado, germen y endospermo, lo cual permite retener una mayor cantidad de fibra dietética, minerales y compuestos bioactivos comparados con las harinas refinadas (Oliveira et al., 2015). Estudios actuales han demostrado que la inclusión de harinas integrales en productos procesados incrementa significativamente el contenido de fibra y antioxidantes mejorando el perfil nutricional general del alimento.

No obstante, Caballero et al. (2007) indican que las harinas integrales presentan desafíos tecnológicos debido a la presencia de partículas de salvado que deterioran la formación de gluten en harinas de trigo y modifican la reología de las masas, lo que puede traducirse en productos con menor volumen y textura más densa.

2.3.4 Propiedades fisicoquímicas de las harinas.

Según Wang et al. (2002) el comportamiento de las harinas durante el procesamiento y la calidad del producto final dependen de sus características fisicoquímicas, tales como su viscosidad, su estabilidad térmica, la actividad enzimática y la capacidad para absorber agua. La estructura del almidón, la composición de las proteínas y la existencia de polisacáridos que no son

amiláceos, como la fibra soluble e insoluble, están muy vinculadas con estas propiedades (Zhang et al., 2025).

Las harinas, desde un enfoque funcional, tienen además capacidades gelificantes, emulsionantes y espumantes que son indispensables en formulaciones complejas de alimentos. Estudios recientes como los de Zarzycki et al. (2024) han revelado que estas propiedades son susceptibles de ser modificadas a través de tratamientos físicos (micronización, extrusión), químicos o biotecnológicos, lo cual extiende el empleo de harinas no convencionales en la industria alimentaria. En la Tabla 5, se referencia la composición química de la harina de trigo.

Tabla 5.

Composición química de la harina de trigo

Componentes	Mínimo (%)	Máximo (%)
Humedad	13.00	15.00
Grasa	1.00	1.50
Proteína	12.00	13.50
Carbohidratos	67.00	71.00
Fibra	3.00	11.00
Cenizas	0.55	1.50

Nota. Elaborado por la autora; los datos fueron extraídos de (Bazurto, 2015).

La norma NTE INEN 616:2006 indica los requisitos que debe cumplir las harinas para su comercialización, la cual se detalla en la Tabla 6 los parámetros físicos y químicos.

Tabla 6.

Requisitos físicos y químicos de la harina de trigo

Requisitos (%)	Panificable		Integral		Especiales						Todo Uso		Método de ensayo
	Extra		Min	Máx	Pastificios		Galletas		Autoleudantes		Min	Máx	
	Min	Máx			Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx			
Humedad	-	14.5	-	15.0	-	14.5	-	14.5	-	14.5	-	14.5	INEN 518
Proteína	10.0	-	11.0	-	10.0	-	9.0	-	9.0	-	9.0	-	INEN 519
Cenizas	-	1.6	-	2.0	-	0.8	-	0.75	-	3.5	-	0.85	INEN 520
Acidez	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	0.1	INEN 521
Gluten	25.0	-	-	-	23.0	-	23.0	-	23.0	-	25.0	-	INEN 529

Nota. Elaborado por la autora; los datos fueron extraídos de (INEN, 2006).

En la Tabla 7 los parámetros microbiológicos que deben de tener las harinas para asegurar su inocuidad.

Tabla 7.

Requisitos microbiológicos para la harina de trigo

Requisitos	Unidad	n	e	m	M	Método de ensayo
Aerobios mesófilos	ufc/g	5	1	10 ⁵	10 ⁶	INEN 1 529 – 5
Coliformes	ufc/g	5	2	10 ²	10 ³	INEN 1 529 – 7
<i>E. coli</i>	ufc/g	5	2	0	-	INEN 1 529 – 8
<i>Salmonella</i>	ufc/25 g	5	0	0	-	INEN 1 529 – 15
Mohos y levaduras	ufc/g	5	2	5 x 10 ²	10 ³	INEN 1 -529 - 10

Nota. Elaborado por la autora; los datos fueron extraídos de (INEN, 2006) en los cuales los datos de **n** = número de muestras de lote que deben analizarse, **e** = número de muestras defectuosas aceptables, **m** = límite de aceptación y **M** = límite de rechazo.

En la Tabla 8, se indican los parámetros que se utiliza para la fortificación alimentaria.

Tabla 8.

Requisitos para la fortificación de la harina de trigo

Sustancias	Unidad	Mínimo	Máximo	Presentación
Hierro	mg/kg	37.00	73.00	Fumarato Ferroso
Tiamina	mg/kg	2.20	5.80	Nitrato de tiamina
Riboflavina	mg/kg	2.20	5.80	Riboflavina
Ácido fólico	mg/kg	0.90	2.50	Ácido fólico
Niacina	mg/kg	22.10	57.90	Niacinamina

Nota. Elaborado por la autora; los datos fueron extraídos de (MSP, 2012).

2.4 Operaciones unitarias en la elaboración de las harinas.

2.4.1 Escaldado.

En el procesamiento de vegetales y frutas, el escaldado es proceso fundamental debido a su capacidad de inactivar enzimas, reducir la carga microbiana, eliminar gases del tejido vegetal, provocar la contracción del producto para facilitar el envasado, fijar la textura, el color y limpiar la superficie de la verdura (Patras et al., 2011).

Para la aplicación del escaldado Millán et al. (2007) indica que las muestras deben tener una proporción masa/volumen y posteriormente someter a un escaldado de 95 °C durante 3 minutos e inmediatamente enfriar con agua destilada durante 2 minutos.

2.4.2 Estallado.

El estallado es una operación unitaria de tratamiento térmico rápido donde los granos se exponen a altas temperaturas durante un corto periodo causando que el vapor interno expanda el grano bruscamente rompiendo la cáscara y generando un producto expandido con estructura porosa (Sreyajit y Anupam, 2020).

Para Cabrera (2023) este proceso modifica las propiedades fisicoquímicas de los granos facilitando la posterior molienda para harinas con propiedades funcionales específicas, como la aceleración de la gelatinización del almidón y genera harinas con mayor capacidad de absorción de agua y viscosidad modificada.

2.4.3 Troceado.

Como indica Erenturk et al. (2010), el fraccionamiento de la materia prima incrementa el nivel de exposición de transferencia de calor, lo cual acelera la cinética de la deshidratación teniendo un secado homogéneo evitando que existan complicaciones en las operaciones posteriores, el troceado de igual forma contribuye a una reducción de tamaño más eficiente en el molino de bolas debido a que permite una distribución granulométrica más uniforme del producto final y una menor resistencia mecánica.

2.4.4 Presecado.

Buzera et al. (2022) menciona que antes del secado, la implementación de un proceso de presecado o métodos de pretratamiento puede mejorar la permeabilidad, acelerar las tasas de secado, estimular las enzimas e inhibir la oxidación en los materiales alimenticios. La desactivación de enzimas y la reducción de la humedad mediante diferentes técnicas de pretratamiento, como enfoques químicos, térmicos y físicos (Utomo et al., 2008).

2.4.5 Secado.

Como indican Wróbel et al. (2020) los procesos de secado realizados a temperaturas inferiores a 100 °C preservan las propiedades funcionales de los materiales vegetales evitando su degradación térmica, la cual se vuelve significativa cuando se superan los 100 °C.

Esta operación de secado permite que los granos puedan reducirse de tamaño ya que un contenido de humedad alto va a provocar que se forme una masa plástica o aglomerada provocando obstrucciones en los equipos de molienda y una disminución de la eficiencia del proceso. Además, la reducción controlada de la humedad contribuye a mejorar la estabilidad microbiológica contribuyendo con la cadena de inocuidad de todo el proceso (Nainggolan et al., 2024).

2.4.6 Molienda.

Como indica Kong et al. (2025) el proceso de molienda implica la reducción de tamaño del grano, el cual es un método eficaz para aumentar el área superficial, mejorando así la biodisponibilidad de los nutrientes. Para lo cual seleccionar el proceso de molienda que se utilizará es la consideración clave en la producción de harina (Kihlberg et al., 2004).

Como señala Liu et al. (2015) el molino de martillos hace que el producto se caliente y pierda humedad, debido a que una humedad excesiva en la materia prima provocará que exista un mayor desperdicio, ya que se formaran gránulos con mayor tamaño.

De igual forma como indican Bangar et al. (2023) el uso del molino de bolas es una de las técnicas de modificación física utilizadas para reducir la cristalinidad relativa y mejorar la digestibilidad del almidón para su mejor utilidad.

2.4.7 Tamizado.

El proceso de tamizado como indican Cheng et al. (2023) consiste en hacer pasar la harina previamente molida a través de en una serie de tamices

cilíndricos dispuestos verticalmente, los cuales están constituidos por un entramado de hilos metálicos con aperturas de malla definidas.

Esta operación unitaria permite la separación de partículas sólidas en función de su tamaño, asegurando una distribución granulométrica uniforme, con mallas que pueden variar dependiendo de lo que se requiera teniendo tamaños de entre 1.18 mm y 0.212 mm. Lo que permite eliminar fracciones gruesas (Jan et al., 2025).

Conforme a Dziki (2023), el tamaño de partícula adecuado de 0.33 mm proporcionará una textura suave reduciendo la sensación de aspereza en el producto final además que con este tamaño de partícula se tendrá una mejor dispersión de la harina, una mayor uniformidad en las mezclas y una mejor interacción con otros componentes que constituirían el producto final.

Sin embargo, Calero (2019) indican que se ha reportado que una disminución excesiva del tamaño de partícula puede afectar negativamente ciertas características funcionales del producto, tales como el volumen específico y la textura, observándose un incremento en la dureza.

2.5 Caracterización de las Galletas

Conforme con Ike (2024) señala que las galletas son productos horneados ampliamente consumidos que se caracterizan por su baja humedad, textura crujiente y larga vida útil, resultado de una combinación de harinas, grasas, azúcares y otros ingredientes funcionales.

Según Owheruo et al. (2024) indican que la elección de las harinas tiene el potencial de cambiar drásticamente las propiedades funcionales, sensoriales, físicas y químicas de las galletas.

2.5.1 Clasificación general de las galletas.

La clasificación de las galletas se basa en los criterios de elaboración, textura y finalidad de consumo, como lo indica en la Tabla 9.

Tabla 9.*Clasificación general de las galletas*

Clasificación	Tipo	Definición
Forma de elaboración	Drop	Se expanden durante el horneado
	Barra	Se hornean como lamina y luego se cortan
Formulación o contenido de ingredientes	Formas	Moldeadas antes del horneado
	Dulces	Alto contenido de azúcar
	Saladas	Predominio de sal y especias
	Rellenas	Dos galletas rellenas de alguna crema
	Recubiertas	Galletas cubiertas con alguna salsa o crema
Según su funcionalidad	Tradicionales	Elaboradas con harina de trigo y grasas
	Integrales	Formuladas con otro tipo de harina que aporte valores nutricionales

Nota. Elaborado por la autora; los datos fueron adaptados de (Mukherjee y Uppaluri, 2025)

2.5.2 Propiedades de las galletas.

La composición de la harina, el tipo de grasa, la cantidad de azúcar, las condiciones de horneado, empleo de harinas fortificantes o alternativas pueden tener un impacto directamente a las características físicas, químicas y sensoriales de las galletas (Ike, 2024).

En la Tabla 10 se detallan los requisitos bromatológicos que deben de tener las galletas simples

Tabla 10.*Requisitos bromatológicos para las galletas simples*

Requisitos	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
pH en solución acuosa al 10 %	5.50	9.50	NTE INEN 526
Proteínas (%)	3.00	-	NTE INEN 519
Humedad (%)	-	10.00	NTE INEN 518

Nota. Elaborado por la autora; los datos fueron extraídos de INEN (2005).

En la Tabla 11 se indican los requisitos microbiológicos regularizados por la norma INEN.

Tabla 11.

Requisitos microbiológicos para las galletas simples

Requisitos	Unidad	n	m	M	Método de ensayo
R.E.P	ufc/g	3	1.0×10^3	1.0×10^6	INEN 1 529 – 5
Mohos y levaduras	ufc/g	3	1.0×10^2	2.0×10^2	INEN 1 -529 - 10

Nota. Elaborado por la autora; los datos fueron extraídos de INEN (2005) en los cuales los datos de **n** = número de muestras de lote que deben analizarse, **m** = límite de aceptación y **M** = límite de rechazo.

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 Ubicación Geográfica

El trabajo de integración curricular se ejecutó en tres instalaciones diferentes, las cuales ayudaron a cada uno de los procesos; en primer lugar, se utilizó la Planta de industrial de Vegetales la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, ubicado en la avenida Carlos Julio Arosemena km 1½, donde se llevó a cabo el proceso de secado de las materias primas.

Posteriormente, las etapas de molienda, fortificación y tamizado se desarrollaron en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad de Guayaquil, situado en la avenida Delta, Guayaquil.

Finalmente, la formulación y análisis de las galletas fortificadas a base de harina de amaranto y cáscara de cacao de las variedades CCN-51 y Nacional se realizaron en el Laboratorio de Control de Calidad de la Empresa Industrial Molinera C.A., ubicado en la calle El Oro 109, Guayaquil.

3.2 Diseño de la Investigación

La investigación se desarrolló bajo un enfoque experimental alineado con los Objetivos propuestos anteriormente. Para la etapa del procesamiento de las harinas fortificadas de amaranto y cáscara de cacao (CCN-51 y Nacional), se aplicó ANOVA que permitió establecer las condiciones óptimas para las etapas de secado, molienda y composición de las mezclas. Con esto se busca evaluar cómo las diferentes combinaciones de materia prima y condiciones de proceso influyen en las características físicas, químicas y microbiológicas de las harinas.

Después, en la etapa de formulación del producto final, se utilizó un diseño de mezclas para optimizar la incorporación de las harinas fortificadas en la preparación de galletas sin gluten. Este enfoque permitió estudiar el comportamiento de la masa y del producto horneado, evaluando parámetros como textura, expansión, color y aspectos microbiológicos, a su vez las galletas serán evaluadas de forma sensorial mediante un panel previamente

capacitado, siguiendo metodologías establecidas para determinar la aceptabilidad general y los atributos específicos.

Finalmente, el estudio incorpora una evaluación de viabilidad económica que considerará los costos de producción para determinar la rentabilidad del proceso y su potencial de inserción en el mercado.

3.2.1 Variables independientes.

Las variables independientes de esta investigación incluyen los factores relacionados con la producción de las harinas fortificadas y su uso para la elaboración de galletas sin gluten. Dentro de estas variables se considera además el tipo de harina utilizada, específicamente las harinas de cáscara de cacao que proceden de las variedades CCN-51 y Nacional, así como la harina de amaranto utilizada como base nutricional del estudio.

Asimismo, el nivel de sustitución se determinó por los porcentajes de reemplazo de la harina de amaranto con las harinas de cáscara de cacao, lo cual permite establecer diferentes combinaciones experimentales. De igual manera, se toman en cuenta las etapas del procesamiento de las harinas, como el secado, la molienda y el tamaño de partícula, las cuales influyen en las características del producto.

3.2.2 Variables dependientes.

Las variables dependientes del estudio incluyen los parámetros que permiten evaluar la calidad de las harinas fortificadas, así como de las galletas obtenidas a partir de ellas. Estas variables permiten identificar la influencia de las características de las harinas fortificadas y de sus niveles de incorporación sobre las propiedades funcionales, tecnológicas y sensoriales del producto final.

Para las harinas se consideran las propiedades físicas tales como granulometría, color, actividad de agua, emulsión y rendimiento; los parámetros químicos como humedad, proteína, fibra, cenizas y parámetros

microbiológicos como Moho y levaduras, *Salmonella* y *E. coli*, las cuales determinan la inocuidad del producto.

Con respecto a las galletas formuladas con la harina fortificada, las variables dependientes incluyen las propiedades físicas como la textura, expansión, peso y color; los parámetros químicos como humedad, ceniza, fibra, grasas; los análisis microbiológicos de Moho y levaduras, *Salmonella* y *E. coli*. y finalmente los atributos sensoriales entre ellos aceptabilidad general, sabor, textura, aroma y apariencia.

3.3 Materiales, reactivos y equipos

A continuación, se describe los materiales, reactivos y equipos utilizados en cada una de las etapas para la elaboración de harina fortificada de amaranto y cáscara de cacao CCN-51 y Nacional para el desarrollo de galletas libre de gluten.

3.3.1 Materiales y equipos utilizados en la elaboración de las galletas sin gluten y de la harina fortificada de amaranto y cáscaras de cacao CCN-51 y Nacional.

Para la elaboración de harina fortificada de amaranto y cáscaras de cacao CCN-51 y Nacional se utilizaron los siguientes materiales y equipos en cada fase como indica la Tabla 12.

Tabla 12.

Materiales y equipos utilizados para el proceso de secado

Materiales	
Cantidad	Material
5 kg	Cacao CCN - 51
5 kg	Cacao Nacional
5 kg	Amaranto
4 bandejas	Aluminio
1 rollo	Papel Encerado
Equipos	
Cantidad	Equipos
1	Horno de secado
1	Balanza digital

Nota. Elaborado por la autora.

En la Tabla 13, indican los materiales y equipos utilizados en el proceso de molienda tanto para las cáscaras de cacao como para el amaranto.

Tabla 13.

Materiales y equipos utilizados para el proceso de molienda

Materiales	
Cantidad	Material
4 kg	Cacao CCN - 51
4 kg	Cacao Nacional
4 kg	Amaranto
1	Brocha
3	Fundas de basura
3	Bandejas metálicas
Equipos	
Cantidad	Equipos
1	Molino de martillos
1	Molino de bolas
1	Manguera de aire
1	Balanza digital

Nota. Elaborado por la autora.

En la Tabla 14, detalla los materiales y equipos utilizados en el proceso de tamizado tanto para las cáscaras de cacao como para el amaranto.

Tabla 14.

Materiales y equipos utilizados para el proceso de tamizado

Materiales	
Cantidad	Material
4 kg	Cacao CCN - 51
4 kg	Cacao Nacional
4 kg	Amaranto
1	Brocha
3	Cucharetas
3	Bandejas metálicas
30	Fundas herméticas
Equipos	
Cantidad	Equipos
1	Tamiz N° 16, 18, 20, 30 y 50
1	Zaranda
1	Manguera de aire
1	Balanza digital

Nota. Elaborado por la autora.

En la Tabla 15, detalla los materiales y equipos utilizados en la elaboración de las galletas sin gluten.

Tabla 15.

Materiales y equipos utilizados para la elaboración de galletas.

Materiales	
Cantidad	Material
13 g	Harina de Cacao CCN - 51
7 g	Harina de Cacao Nacional
17 g	Harina de Amaranto
19 g	Mantequilla
14 g	Azúcar blanca
14 g	Azúcar morena
8 g	Huevo
4 g	Maicena
0.5 mL	Esencia vainilla
8 g	Cacao en polvo
0.5 g	Canela en polvo
1	Bandejas Aluminio
1	Rollo Papel Encerado
Equipos	
Cantidad	Equipos
1	Horno electrico
1	Batidora
1	Balanza digital

Nota. Elaborado por la autora.

3.3.2 Materiales, reactivos y equipos utilizados en caracterización de las galletas sin gluten y de la harina fortificada de amaranto y cáscaras de cacao CCN-51 y Nacional.

Para la caracterización bromatológica y microbiológica de las galletas sin gluten y de la harina fortificada de amaranto y cáscaras de cacao CCN-51 y Nacional se utilizaron los siguientes materiales y equipos en cada fase como indican la Tabla 16.

Tabla 16.*Materiales, reactivo y equipos utilizados en la determinación del pH*

Materiales	
Cantidad	Material
10 g	Cacao CCN - 51
10 g	Cacao Nacional
10 g	Amaranto
1	Varilla
1	Decantador
Reactivo	
Cantidad	Reactivo
1	Solución de calibración
100 mL	Agua destilada
Equipos	
Cantidad	Equipos
1	pH-metro / tiras de pH
1	Balanza analítica

Nota. Elaborado por la autora.

En la Tabla 17, detalla los materiales, reactivos y equipos utilizados para la determinación de acidez de las harinas y galletas.

Tabla 17.*Materiales, reactivo y equipos utilizados en la determinación de acidez*

Materiales	
Cantidad	Material
5 g	Cacao CCN - 51
5 g	Cacao Nacional
5 g	Amaranto
Reactivo	
Cantidad	Reactivo
1	Solución 0.1 N de NaOH
1	Frasco de fenolftaleína
50 mL	Alcohol etílico de 90 %
100 mL	Agua destilada
Equipos	
Cantidad	Equipos
3	Matraz Erlenmeyer de 100 mL
3	Matraz Erlenmeyer de 50 mL
2	Pipetas de 10 y 25 mL
1	Bureta de 25 mL
1	Soporte universal
1	Balanza analítica

Nota. Elaborado por la autora.

En la Tabla 18, detalla los materiales y equipos utilizados para la determinación de humedad de las harinas y galletas.

Tabla 18.

Materiales y equipos utilizados en la determinación de humedad

Materiales	
Cantidad	Material
2 g	Cacao CCN - 51
2 g	Cacao Nacional
2 g	Amaranto
3	Crisoles
1	Pinza
1	Espátula
Equipos	
Cantidad	Equipos
1	Estufa
1	Desecador
1	Balanza analítica

Nota. Elaborado por la autora.

En la Tabla 19, detalla los materiales y equipos utilizados para la determinación de ceniza de las harinas y galletas.

Tabla 19.

Materiales y equipos utilizados en la determinación ceniza

Materiales	
Cantidad	Material
3 g	Cacao CCN - 51
3 g	Cacao Nacional
3 g	Amaranto
3	Crisoles
Equipos	
Cantidad	Equipos
1	Mufla
1	Desecador
1	Balanza analítica

Nota. Elaborado por la autora.

En la Tabla 20, detalla los materiales, reactivos y equipos utilizados para la determinación de fibra de las harinas y galletas.

Tabla 20.*Materiales, reactivo y equipos utilizados en la determinación de fibra cruda*

Materiales	
Cantidad	Material
2 g	Cacao CCN - 51
2 g	Cacao Nacional
2 g	Amaranto
3	Beakers de 600 mL
3	Liencillo de 20 x 20 cm
3	Embudos
3	Crisol filtrante de alumen
20	Perlas de vidrio
600 mL	Agua destilada
Reactivo	
Cantidad	Reactivo
200 mL	Solución 0.255 N de H ₂ SO ₄
200 mL	Solución 0.313 N de NaOH
Equipos	
Cantidad	Equipos
1	Extractor goldfish
1	Bomba de vacío
1	Estufa
1	Mufla
1	Desecador
1	Balanza analítica

Nota. Elaborado por la autora.

En la Tabla 21, detalla los materiales, reactivos y equipos utilizados para la determinación de proteínas de las harinas y galletas.

Tabla 21.*Materiales, reactivo y equipos utilizados en la determinación de proteínas*

Materiales	
Cantidad	Material
1 g	Cacao CCN - 51
1 g	Cacao Nacional
1 g	Amaranto
3	Balones aforados
1	Pipeta volumétrica
3	Granallas de zinc
3	Fiolas
Reactivo	
Cantidad	Reactivo
25 mL	Ácido sulfúrico concentrado
1 g	Sulfato de sodio

Cantidad	Reactivo
0.1 g	Sulfato de cobre
25 mL	Solución 0.1 N de HCl
5	Gotas de rojo de metilo al 0.1%
80 mL	Soda Kjeldahl
50 mL	Solución 0.1 N de NaOH

Equipos

Cantidad	Equipos
1	Destilador Kjeldahl
1	Balanza analítica

Nota. Elaborado por la autora.

En la Tabla 22, detalla los materiales, reactivos y equipos utilizados para la determinación de grasas de las harinas y galletas.

Tabla 22.

Materiales, reactivo y equipos utilizados en la determinación de grasa

Materiales	
Cantidad	Material
2 g	Cacao CCN - 51
2 g	Cacao Nacional
2 g	Amaranto
Reactivo	
Cantidad	Reactivo
50 mL	Eter
Equipos	
Cantidad	Equipos
1	Extractor goldfish
1	Balanza analítica

Nota. Elaborado por la autora.

En la Tabla 23, detalla los materiales, reactivos y equipos utilizados para la determinación de ácidos grasos de las harinas y galletas.

Tabla 23.

Materiales, reactivo y equipos utilizados en la determinación de ácidos grasos

Materiales	
Cantidad	Material
2 g	Cacao CCN - 51
2 g	Cacao Nacional
2 g	Amaranto

Reactivo	
Cantidad	Reactivo
15 mL	Tolueno
1	Gota de fenolftaleína
10 mL	Solución 0.1 N de NaOH
15 mL	Alcohol absoluto

Equipos	
Cantidad	Equipos
1	Bureta
1	Pisetas

Nota. Elaborado por la autora.

En la Tabla 24, detalla los materiales, reactivos y equipos utilizados para la determinación de mohos y levaduras de las harinas y galletas.

Tabla 24.

Materiales, reactivo y equipos utilizados en la determinación de mohos y levaduras

Materiales	
Cantidad	Material
10 g	Cacao CCN - 51
10 g	Cacao Nacional
10 g	Amaranto

Reactivo	
Cantidad	Reactivo
90 mL	Agua peptona

Equipos	
Cantidad	Equipos
1	Placa Compact Dry para Moho y levadura
1	Incubadora

Nota. Elaborado por la autora.

En la Tabla 25, detalla los materiales, reactivos y equipos utilizados para la determinación de *Salmonella* de las harinas y galletas.

Tabla 25.

Materiales, reactivo y equipos utilizados en la determinación de Salmonella.

Materiales	
Cantidad	Material
25 g	Cacao CCN - 51
25 g	Cacao Nacional
25 g	Amaranto

Reactivo	
Cantidad	Reactivo
225 mL	Agua peptona
Equipos	
Cantidad	Equipos
1	Placa Compact Dry para <i>Salmonella</i>
1	Micropipeta
1	Probetas
1	Incubadora

Nota. Elaborado por la autora.

En la Tabla 26, detalla los materiales, reactivos y equipos utilizados para la determinación de *E. coli* de las harinas y galletas.

Tabla 26.

Materiales, reactivo y equipos utilizados en la determinación de E.coli.

Materiales	
Cantidad	Material
10 g	Cacao CCN - 51
10 g	Cacao Nacional
10 g	Amaranto
Reactivo	
Cantidad	Reactivo
90 mL	Agua peptona
Equipos	
Cantidad	Equipos
1	Placa Compact Dry para <i>E. coli</i>
1	Micropipeta
1	Incubadora
1	Probeta

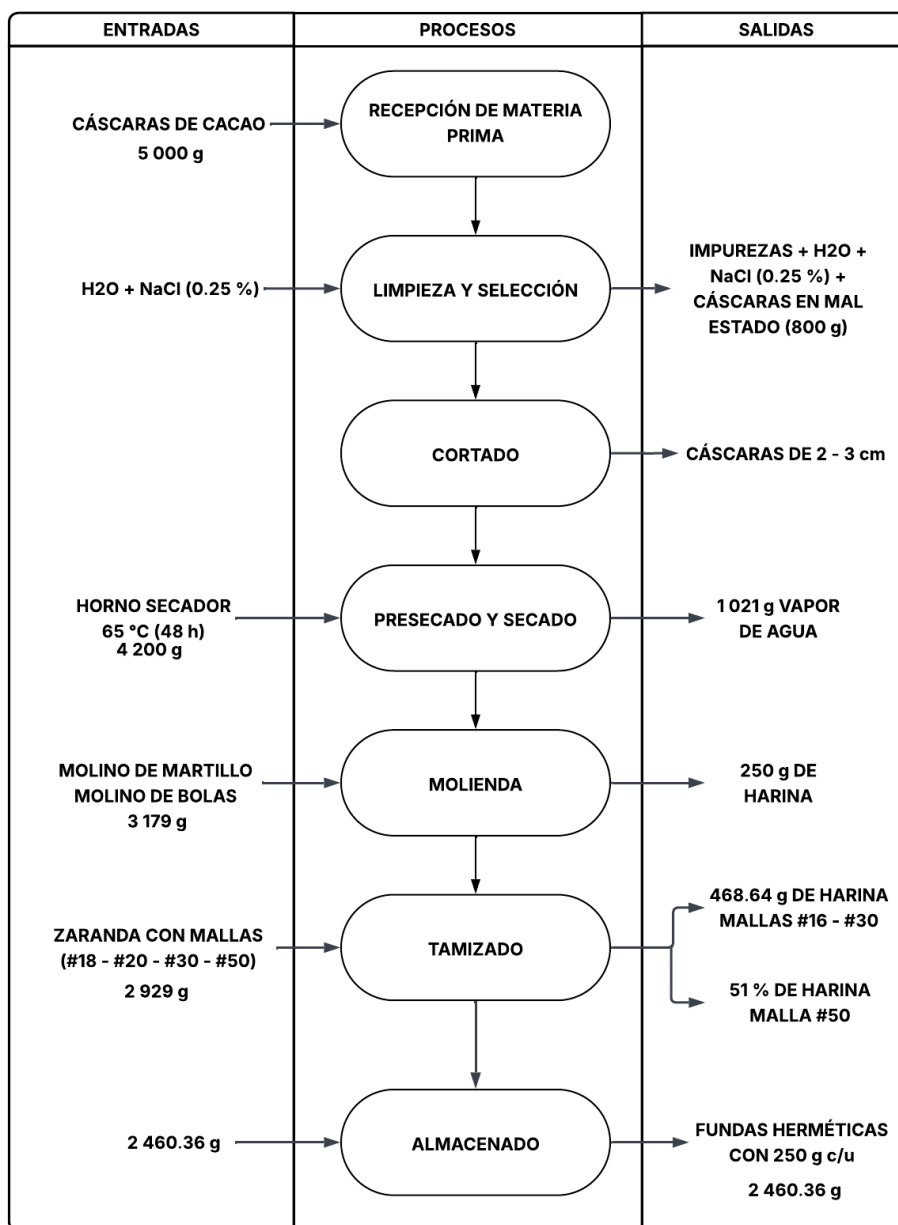
Nota. Elaborado por la autora.

3.4 Procedimiento para la obtención de la harina de Cáscaras de Cacao CCN - 51 y Nacional

Las harinas de cáscaras de cacao CCN-51 y Nacional se elaboró en base al estudio realizado por María Murillo-Baca et al. (2020), cuyo diagrama de flujo se muestra en la Figura 2.

Figura 2.

Diagrama de flujo de la harina de cáscaras de cacao CCN – 51 y Nacional



Nota: Elaborado por la autora; datos adaptados de (María Murillo-Baca et al., 2020)

3.4.1 Recolección Y Selección de Cacao.

Las cáscaras de cacao fueron recolectadas en una finca ubicada en el cantón Pasaje, provincia de El Oro, zona caracterizada por la elevada producción de cacao. Para el presente estudio, se recolectaron 5 kg de cáscaras de cacao correspondientes a las variedades: CCN-51 y Nacional

asegurando que la materia prima proviniera de cosechas recientes, con el fin de evitar el proceso de deterioro.

3.4.2 Limpieza.

Las mazorcas de cacao fueron sometidas a dos tratamientos de limpieza compuesto por dos etapas: lavado y escaldado; las cáscaras de cacao fueron lavadas con una mezcla de agua y Cloruro de Sodio (NaCl) al 0.25 % retirando todas las impurezas de las cáscaras y limpiando con un cepillo dental las grietas de cada cáscara para eliminar cualquier residuo.

Posteriormente, se procedió a realizar el escaldado para que la materia prima se conserve, la cual se colocó en una olla a fuego alto agua hasta llegar a una temperatura de 95 °C durante 3 minutos e inmediatamente se colocó en un recipiente agua destilada fría y se colocaron durante 2 minutos.

3.4.3 Cortado.

Las cáscaras de cacao fueron cortadas en trozos de 2 cm respectivamente con ayuda de tablas de picar y cuchillos, este procedimiento se realizó con el fin de optimizar el proceso de secado.

3.4.4 Secado.

En esta fase se implementaron dos tipos de secado: un presecado solar y el secado industrial. Para el pre secado, las cáscaras de cacao fueron distribuidas uniformemente sobre una lona y expuestas al sol durante 5 días, en condiciones ambientales con temperaturas de 30 °C – 35 °C aproximadamente. Esta etapa permitió realizar una disminución del 30 % de la humedad de las materias primas y facilitar el posterior proceso el cual se lleva a temperaturas más intensas.

Después del tiempo del presecado, las cáscaras de cacao fueron trasladadas al horno secador de aire forzado por 48 horas con un rango de temperatura de 60 °C – 65 °C y con una humedad entre 7 % a 9 % respectivamente, durante esta etapa a las 24 horas se retiró 500 g de muestra de cacao CCN – 51 el cual contaba con un rango de humedad de entre 13 %

a 16 %, con el propósito de evaluar el efecto del tiempo de secado en la calidad del producto final.

3.4.5 Molienda.

Tras verificar que la materia prima contenía una humedad apropiada, se llevó a cabo la primera fase de molienda, utilizando un molino de martillos con una velocidad de 1 500 RPM para disminuir significativamente el tamaño de las partículas y optimizar el procesamiento posterior.

Después, se llevó a cabo la segunda fase de molienda de las cáscaras premolidas, para esto se utilizó un molino de bolas, en la cual cada muestra fue procesada durante un tiempo de 25 minutos. Para conservar las características físicas y químicas del material, así como para prevenir el sobrecalentamiento del equipo, este procedimiento se llevó a cabo tres veces, con intervalos de reposo de 15 minutos entre cada ciclo.

3.4.6 Tamizado.

El proceso de tamizado se llevó a cabo mediante el paso del material pulverizado a través de una serie de mallas con aberturas progresivamente menores, lo que facilitó la separación de las partículas de acuerdo con su tamaño.

Para esto, se utilizaron tamices de laboratorio normalizados de las mallas 18, 20, 30 y 50, la cual tienen aberturas de tamaño correspondiente a 1.00 mm, 0.85 mm, 0.60 mm y 0.30 mm, respectivamente. Los tamices se colocaron en una zaranda vibratoria durante cinco minutos a una velocidad de 300 RPM, se colocaron las mallas en orden descendente, desde la malla de mayor apertura hasta la de menor permitiendo una clasificación eficiente y controlada del material.

3.4.7 Almacenamiento.

Cuando se concluyó el procedimiento de tamizado, se llevó a cabo la recolección del material pulverizado que pasó por la malla N.º 50, que corresponde a la fracción de partículas más pequeñas. Para prevenir la

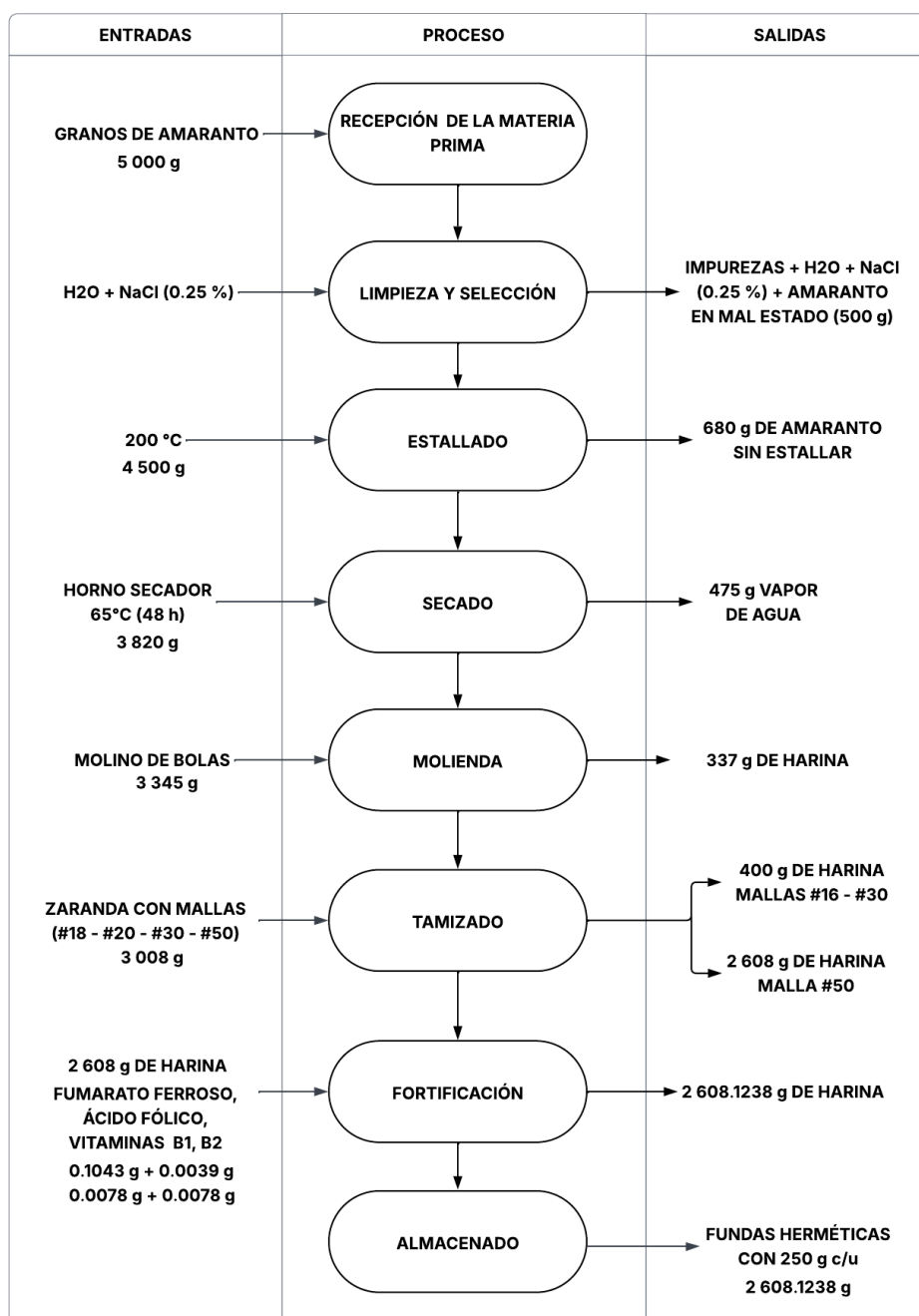
absorción de humedad del medioambiente y mantener la estabilidad de la muestra, esa fracción se guardó en bolsas herméticas.

3.5 Proceso para la obtención de harina fortificada de Amaranto

La harina fortificada de amaranto se elaboró en base al estudio realizado por Grace (2011) cuyo diagrama de flujo se muestra en la Figura 3.

Figura 3.

Diagrama de flujo de la harina de fortificada de Amaranto.



Nota: Elaborado por la autora; los datos fueron adaptados de (Grace, 2011).

3.5.1 Recepción de la materia prima.

Las semillas de amaranto fueron recolectadas en una finca ubicada en el cantón Loja provincia de Loja, zona caracterizada por las condiciones agroclimáticas favorables para la producción de cultivos andinos. Para llevar a cabo esta investigación, se recogieron alrededor de 5 kg de granos de amaranto garantizando que el material fuera de recolecciones recientes, además se realizó una selección manual de las semillas eliminando aquellas que presenten daños físicos, decoloraciones, brotes, partículas extrañas e impurezas como piedras o restos de tallo que puedan comprometer la calidad del producto final.

3.5.2 Limpieza y selección del Amaranto.

Los granos de amaranto fueron limpiados en dos etapas sucesivas, con el Objetivo de quitar impurezas físicas y disminuir la contaminación microbiana superficial. En la fase inicial, se llevó a cabo una limpieza en seco por medio de tamizado con tamices de cocina. Esto permitió que se separaran de manera eficaz partículas extrañas como polvo, residuos vegetales, restos terrenales y otros materiales no pertenecientes a la materia prima.

A continuación, los granos escogidos se limpiaron a través de una solución acuosa de NaCl (cloruro de sodio) al 0.25 %. Este procedimiento ayuda a eliminar las impurezas finas que están pegadas en la superficie y a disminuir la carga microbiana en la superficie.

3.5.3 Estallado.

Los granos de amaranto fueron tratados térmicamente a alta temperatura para el proceso de estallado, para ello se usó una paila de acero inoxidable y paletas metálicas para garantizar que el grano se agitara continuamente y que el calor se distribuyera uniformemente. Para asegurar que la superficie del sartén llegara a unos 200 °C, lo cual es necesario para provocar el estallido correcto del grano, se utilizó un termómetro infrarrojo para controlar la temperatura.

Para facilitar una explosión uniforme y prevenir la carbonización o las explosiones incompletas, se procesaron porciones de 100 g de amaranto por lote. Los granos se mantuvieron a 200 °C durante 40 segundos, tiempo adecuado para que el agua interna del grano se evapore rápidamente y su estructura pericárpica se rompiera como resultado.

3.5.4 Secado.

Luego del proceso de estallado, los granos de amaranto presentaron un contenido de humedad comprendido entre 11 % y 13 %, rango característico de tratamientos térmicos de alta temperatura y corta duración. Durante esta etapa, se retiró una muestra representativa de 500 g, con el propósito de evaluar el efecto del secado a 24 horas.

El amaranto estallado fue llevado a un horno de aire forzado, por el cual se dejó secando durante 48 horas a una temperatura entre 60 °C y 65 °C, hasta que el contenido final de humedad estuvo entre 9 % y 10 %.

3.5.5 Molienda.

Tras el proceso de secado, se utilizó un molino de bolas para disminuir el tamaño de las partículas y conseguir una harina con granulometría uniforme. Cada muestra fue tratada en un tiempo de molienda de 25 minutos, con tres repeticiones sucesivas y pausas de 15 minutos entre cada ciclo.

Estos intervalos de reposo hicieron posible dispersar el calor que se produjo por la fricción mecánica, lo cual evitó que el material se sobrecalentara y que compuestos termolábiles se deterioraran.

3.5.6 Tamizado.

Después del proceso de molienda, la harina de amaranto fue llevada a una zaranda vibratoria que funciona a 300 rpm por cinco minutos; con el fin de categorizar el material en función del tamaño de sus partículas y asegurar una distribución granulométrica.

Se usaron tamices de laboratorio de mallas N.º 18, 20, 30 y 50 con aberturas de 1.00 mm, 0.85 mm, 0.60 mm y 0.30 mm, para eliminar las fracciones más grandes que podrían alterar la textura.

3.5.7 Fortificación.

A la harina de amaranto se le aplicó un proceso de fortificación que consistió en añadirle una premezcla de micronutrientes, cuya dosificación fue hecha según las directrices establecidas por la normativa INEN NTE 616.

La preparación de la premezcla incorporó 40 mg/kg de fumarato ferroso, 1.5 mg/kg de ácido fólico, 3 mg/kg riboflavina y 3 mg/kg tiamina. Estas cantidades se sitúan dentro de los niveles sugeridos para enriquecer harinas destinadas al consumo humano.

3.5.8 Almacenamiento.

Tras finalizar el proceso de tamizado, se recolectó el material pulverizado que pasó a través de la malla N.º 50, que es la fracción de partículas más diminutas. Con el fin de evitar que la muestra absorba humedad del medioambiente y conservar su estabilidad, esa porción se almacenó en bolsas herméticas, las cuales fueron correctamente rotuladas.

3.6 Obtención de Galletas sin Gluten

Para hacer las galletas sin gluten utilizando la harina fortificada de amaranto y cáscaras de cacao CCN – 51 y Nacional, se realizaron premezclas de las harinas, además de fundamentos en los estudios realizados por Sneha A y Haripriya A (2018) y Soares et al. (2025), las cuales indican el porcentaje idóneo de cada harina tal como indica la Tabla 27.

Tabla 27.

Porcentajes aproximados para el uso de cada harina

Materia Prima	Mínimo	Máximo
Harina de cáscara de cacao variedad: CCN - 51	10 %	15 %
Harina de cáscara de cacao variedad: Nacional	5 %	10 %
Harina de fortificada de Amaranto	12 %	17 %

Nota. Elaborado por la autora y validado de Sneha A. y Haripriya A. (2018) y (Soares et al. 2025).

Con los porcentajes óptimos de cada harina; se llevaron a cabo múltiples mezclas utilizando las harinas mencionadas, lo que resultó en un total de 14 tratamientos distintos como indicó el programa estadístico Design Expert 8.0, el cual fue el encargado de optimizar estos tratamientos, como indica en la Figura 4.

Figura 4.

Tratamientos de mezclas en programa Design expert 8.0

Study Type	Mixture	Experiments	14				
Initial Design	D-optimal	Blocks	No Blocks				
Design Model	Quadratic						
Response	Name	Units	Obs	Minimum	Maximum	Trans	Model
Y1	HUMEDAD		0	No Data	No Data	None	No model chose
Y2	CENIZAS		0	No Data	No Data	None	No model chose
Y3	PROTEINA		0	No Data	No Data	None	No model chose
Y4	E. NO NITROGENADO		0	No Data	No Data	None	No model chose
Y5	EXTRACTO ETereo		0	No Data	No Data	None	No model chose
Y6	ACIDOS GRASOS		0	No Data	No Data	None	No model chose
Y7	FIBRA		0	No Data	No Data	None	No model chose
Y8	pH		0	No Data	No Data	None	No model chose
Component	Name	Units	Type	Low Actual	High Actual	Low Coded	High Coded
A	CCN - 51		Mixture	10.00	15.00	0.000	0.667
B	NACIONAL		Mixture	5.00	10.00	0.000	0.667
C	AMARANTO		Mixture	12.00	17.00	0.000	0.667

Nota. Elaborado por la autora y extraído del Software Design expert 8.0

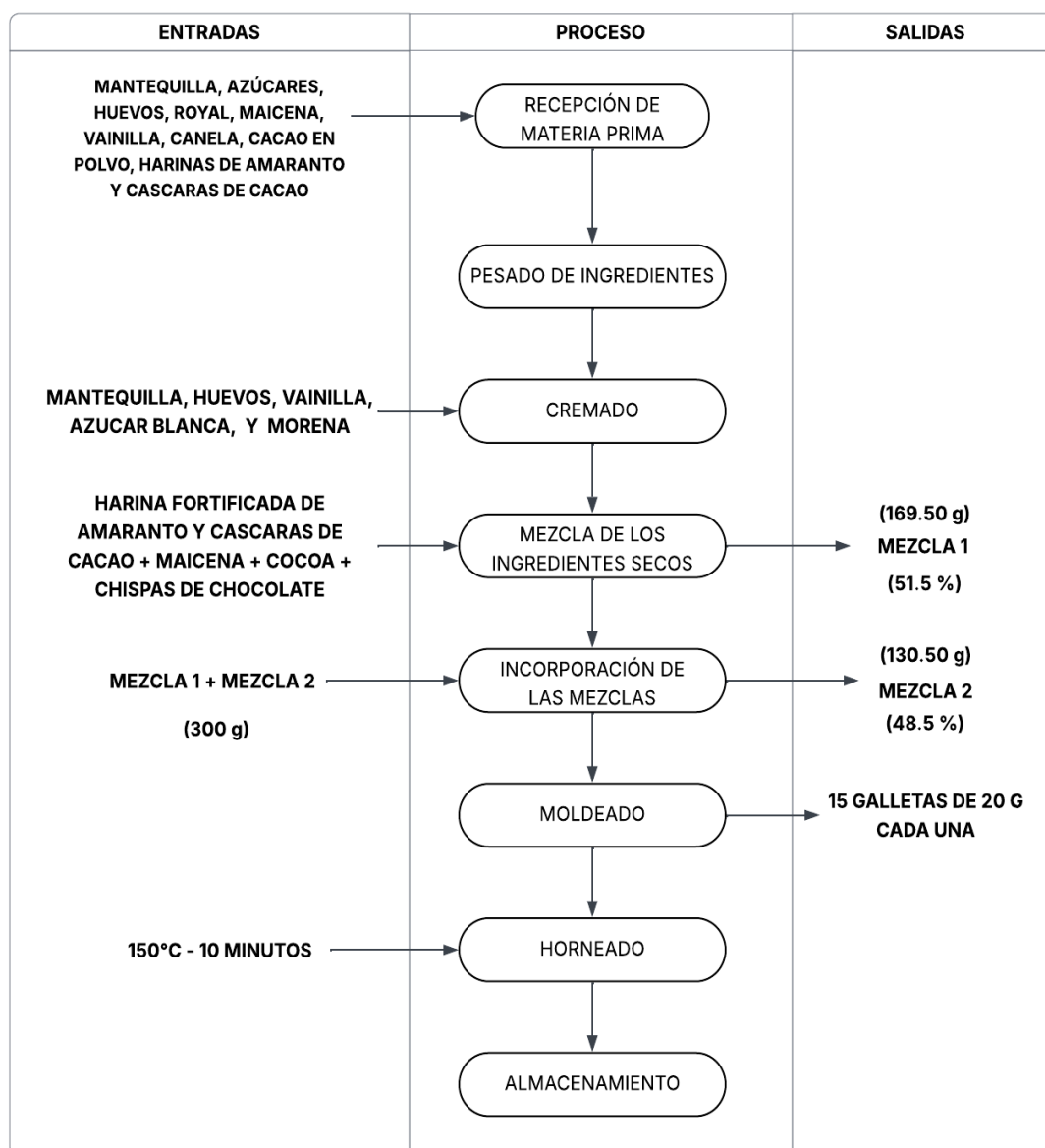
Para esto, se realizaron varias premezclas para identificar que tipo de galleta se deseaba obtener, si una galleta dulce, salada, tipo pretzel, cracker o crumble, con relleno, secas, ligeras, elásticas, de mantequilla, esponjosas, tipo obleas, etc.

3.6.1 Proceso para la elaboración de galletas sin gluten

El proceso de obtención de las galletas se llevó a cabo siguiendo el procedimiento utilizado para la elaboración de galletas de mantequilla. Este proceso incluyó las etapas básicas de preparación, mezcla de ingredientes, formación de la masa, moldeado y horneado, las cuales permiten obtener un producto con las características físicas y sensoriales propias de este tipo de galletas. La secuencia de dichas etapas y las operaciones realizadas durante la elaboración se presentan de manera esquemática en la Figura 5.

Figura 5.

Diagrama de flujo de la elaboración de galletas sin gluten



Nota. Elaborado por la autora.

3.6.2 Recolección de Materia Prima.

Para la elaboración de las galletas, se procedió a la adquisición de los ingredientes necesarios a utilizar en la receta base, la cual se empleó: mantequilla, azúcar morena, azúcar blanca, maicena, huevo, harina de cáscara de cacao CCN – 51 y Nacional, harina fortificada de amaranto, cacao en polvo, canela, esencia de vainilla y polvo de hornear.

3.6.3 Pesado de ingredientes.

Los ingredientes fueron pesados de manera individual siguiendo la formulación básica determinada en la Tabla 40, con el uso de una balanza se pesaron todos los ingredientes para lo cual se llevó a cabo 18 pruebas experimentales de las cuales se les realizaron variaciones en los porcentajes de harina de cáscara de cacao de las variedades CCN-51 y Nacional, así como en el contenido de azúcares y el porcentaje de harina fortificada con amaranto.

3.6.4 Cremado.

Con la ayuda de una batidora eléctrica, se formó una emulsión con la mantequilla, la azúcar morena, la azúcar blanca y la esencia de vainilla, por lo cual se batió a velocidad media durante 5 minutos. Luego se añadió el huevo continuando con el batido hasta obtener una emulsión suave y cremosa.

3.6.5 Mezcla de ingredientes secos.

Para la mezcla de los ingredientes secos se efectuó una pre-molienda de la combinación de harina de amaranto y harina de cáscara de cacao empleando un molino eléctrico para café, con el propósito de disminuir el tamaño del grano; este proceso se realizó durante un periodo de 30 segundos. Luego se tamizó la mezcla molida en un tazón en el cual se añadió el cacao en polvo y la maicena, combinándolos bien hasta obtener una mezcla uniforme de ingredientes secos.

3.6.6 Incorporación de mezclas.

Después de tener las dos premezclas de ingredientes húmedos y secos, se incorporaron las dos fases de forma paulatina, añadiendo la

premezcla seca sobre la premezcla húmeda con una paleta de metal y empleando movimientos envolventes constantes durante cerca de cinco minutos.

Esta clase de movimiento posibilitó que los ingredientes se distribuyeran uniformemente, reduciendo así la inclusión excesiva de aire y previniendo que se formaran grumos.

3.6.7 Moldeado.

Después de integrar los ingredientes de manera uniforme, la mezcla resultante fue dividida en porciones de 12.5 g cada una; esto se hizo para que las galletas tuvieran un tamaño uniforme, una transferencia de calor y horneado consistente. Luego las piezas se colocaron en bandejas de metal para pasar por un proceso de refrigeración durante 10 minutos y las grasas de las galletas se puedan estabilizar.

3.6.8 Horneado.

Después de 10 minutos de refrigeración, las galletas se sacaron y se colocaron en bandejas de metal cubiertas con papel encerado, para evitar que el producto se pegara a la superficie, prevenir que durante la cocción aparecieran deformaciones estructurales.

Luego, las galletas se dejaron reposar 5 minutos a temperatura ambiente, mientras que el horno eléctrico se precalentaba a 200 °C para estabilizar térmicamente. Al concluir este periodo, las galletas fueron puestas en el horno y horneadas a 150 °C durante 10 minutos.

3.6.9 Almacenamiento.

Una vez finalizado el proceso de horneado, las galletas reposaron durante 10 minutos para que adquieran la temperatura ambiental, después de eso fueron empacadas en fundas herméticas y debidamente rotuladas con el fin de prevenir la contaminación microbiológica y física, así como reducir la absorción de humedad y la exposición al oxígeno.

3.7 Análisis físicos, químicos de las harinas y galletas elaboradas

Para la caracterización de las harinas se realizaron los respectivos análisis bromatológicos que incluyeron la determinación de humedad, cenizas, proteínas, extracto no nitrogenado, extracto etéreo, ácidos grasos, fibra y pH. Una vez obtenidos estos resultados, se procedió con un estudio estadístico mediante el análisis de varianza (ANOVA) para determinar si el tiempo de secado aplicado a la materia prima de las harinas influyó significativamente en sus respectivas composiciones bromatológicas.

En cuanto a las galletas, se les aplicaron los mismos análisis bromatológicos mencionados anteriormente.

Sin embargo, para evaluar la influencia del tipo de harina y porcentaje de adición de estas en sus características finales, se empleó un enfoque estadístico más avanzado como el análisis de varianza (ANOVA), complementado con la aplicación de un modelo secuencial de suma de cuadrados, la evaluación del diagnóstico de residuos y el análisis de la figura de contornos. Estas técnicas estadísticas permitieron una comprensión profunda de cómo los diferentes tratamientos de las harinas afectaron los resultados bromatológicos de las galletas.

3.7.1 Determinación de humedad de las harinas y galletas.

Para determinar el contenido de humedad de la harina fortificada de amaranto, las harinas de cáscara de cacao CCN-51 y Nacional y de las galletas sin gluten se utilizó la norma NTE INEN 518, con tres repeticiones. Para eso, se pesaron 2 g de muestra en una pesa filtro metálica y se puso en una estufa para secar a 130 °C durante una hora.

Después de este período, con una pinza se les coló la tapa a los pesa filtros y se procedió a sacarlos de la estufa, para colocarlos al desecador por 30 minutos para que se enfriaran y prevenir que la humedad del ambiente fuera reabsorbida. Después, la muestra fue pesada y se calculó el porcentaje de humedad conforme a la formula descrita a continuación:

$$\%H = \left(\frac{Pi - Pf}{M} \right) * 100$$

Donde:

%H: porcentaje de humedad

Pi: peso inicial de la sumatoria del pesafiltro y la muestra

Pf: peso final

M: gramos de la muestra

3.7.2 Determinación de cenizas de las harinas y galletas.

Para determinar el contenido de cenizas de la harina fortificada de amaranto, las harinas de cáscara de cacao CCN-51 y Nacional y de las galletas sin gluten se utilizó el método gravimétrico descrito en la norma NTE INEN 520, con tres repeticiones. En la cual se pesó primero los crisoles de porcelana y 3 gramos de las muestras, para después enviarlos a la mufla con una temperatura de 600 °C por 3 horas, para posteriormente colocarlos en el desecador con ayuda de unas pinzas y dejar reposar por 1 hora, para posteriormente medir el peso final de la muestra con la balanza analítica y proceder a los cálculos los cuales son:

$$\%C = \left(\frac{Pi - Pf}{M} \right) * 100$$

Donde:

%C: porcentaje de cenizas

Pi: peso inicial de la sumatoria del crisol y la muestra

Pf: peso final

M: gramos de la muestra

3.7.3 Determinación de proteína y extracto libre no nitrogenado de las harinas y galletas.

Para la determinación de proteína y extracto libre no nitrogenado de las harinas como de las galletas se utilizó el destilador de Kjeldahl, además de la guía técnica NTE INEN - ISO 20483:2013 haciendo tres repeticiones por cada muestra.

En donde el extracto libre no nitrogenado se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% N = \frac{(V_1 - V_0) * N * 14.007 * 100}{m * 1000}$$

Donde:

V_1 : volumen del titulante para la muestra

V_0 : volumen del titulante para el blanco

N : normalidad del ácido o base estándar

14.007: peso atómico del nitrógeno

m : masa de la muestra

1000: factor de conversión de mg a g

100: porcentaje

Y el porcentaje de proteína bruta con esta otra:

$$\% Proteina = \% N * F$$

Donde:

F : factor de conversión proteica

3.7.4 Determinación de extracto etéreo de las harinas y galletas.

Para la determinación de extracto etéreo de las harinas como de las galletas se utilizó un extractor goldfish además de la guía técnica NTE INEN 5233:1980-12 haciendo tres repeticiones por cada muestra.

En donde el extracto etéreo se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% Grasa = \left(\frac{(m_1 - m_0)}{m} \right) * 100$$

Donde:

m_1 : masa del balón o cartucho vacío

m_2 : masa del balón con la grasa extraída después de su evaporación

m : masa de la muestra analizada

3.7.5 Determinación de ácidos grasos de las harinas y galletas.

Para la determinación de ácidos grasos de las harinas como de las galletas se utilizó equipo de vidrio de laboratorio, así mismo el método ISO 7305 (1986) haciendo tres repeticiones por cada muestra.

Para determinar la acidez de la materia grasa se utilizó la siguiente fórmula:

$$Acidez = \frac{V * N * 49.04 * 100}{m}$$

Donde:

V: volumen de KOH gastado en la titulación

N: normalidad del KOH

m: masa de la muestra

49.04: factor equivalente del ácido sulfúrico

3.7.6 Determinación de fibra de las harinas y galletas.

Para la determinación de fibra de las harinas como de las galletas se utilizó el extractor goldfish y la guía técnica ISO 5498:1981 haciendo tres repeticiones por cada muestra.

En donde el porcentaje de fibra se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Fibra} = \left(\frac{(m_1 - m_0)}{m} \right) * 100$$

Donde:

m₁: masa del balón o cartucho vacío

m₂: masa del balón con la grasa extraída después de su evaporación

m: masa de la muestra analizada

3.7.7 Determinación del pH del de las harinas y galletas.

Para la determinación de pH de las harinas como de las galletas se utilizó un pHmetro eléctrico y 10 g de cada muestra diluida en 25 mL de agua destilada en los vasos de precipitación para así medir el pH de cada muestra.

3.8 Análisis microbiológicos de las harinas y galletas elaboradas

3.8.1 Mohos y levaduras de las harinas y galletas.

Se pesaron 10 g de muestra en una funda de muestreo estéril y se combinaron con 90 mL de agua peptona, lo que dio como resultado una dilución inicial. Después, se agitó la mezcla de forma uniforme con el fin de conseguir una dispersión apropiada de la muestra, se deja sedimentar un momento para después utilizar una micropipeta para tomar P1000 de la dilución y se inoculó en placas Compact Dry para hongos y levaduras esparció la muestra de manera espiral desde el centro hacia afuera por toda la placa.

Después de la inoculación, se cerraron las placas y se colocó en la incubadora a 35 °C durante una semana. Después de que pasó el tiempo de incubación, se llevó a cabo una cuenta de las colonias formadas y se hicieron los cálculos necesarios para determinar la microbiología.

3.8.2 Coliformes totales y *E. coli* de las harinas y galletas.

En una funda de muestreo se pesó 10 g de la muestra con 90 mL de agua peptona, lo que produjo una dilución inicial. Luego, se removió la mezcla de manera homogénea para después dejar sedimentar por 10 minutos, posteriormente se utilizó una micropipeta para tomar P1000 de la dilución y colocarlas en placas Compact Dry para Coliformes totales distribuyendo la muestra en espiral desde el centro hacia los bordes de la placa.

Tras la inoculación, las placas se cerraron y se colocaron en una incubadora a 35 °C durante un día, luego que pasó el periodo de incubación, se realizó un conteo de las colonias formadas y se efectuaron los cálculos requeridos.

3.8.3 Salmonella de las harinas y galletas.

En una funda de muestreo, se colocó una muestra de 25 g y se combinó con 225 mL de agua peptona hasta generar una dilución. Luego, la funda se llevó a la incubadora a 35 °C por un periodo de 24 horas para su activación.

Después de que pasara el tiempo de incubación, en las placas Compact Dry se realizó la inoculación. Para ello, se ubicó 0.100 mL de la muestra ya incubada en una esquina y 0.900 mL de agua destilada en la otra esquina de la placa. Posteriormente son llevadas a la incubadora a 42 °C por un día después de haber terminado la inoculación. Por último, se llevó a cabo el recuento de las colonias desarrolladas para aplicar la fórmula estándar para determinar la microbiología de la muestra.

$$N = C * D$$

Donde:

N: número de unidades formadoras de colonias

C: número de colonias contadas en la placa

D: factor de dilución inverso

Se debe de tener en cuenta que, si las colonias son incontables porque cubren casi toda la superficie, se utiliza la sigla TNTC (Too Numerous To Count).

3.9 Análisis sensorial de las galletas

Una vez obtenidas las galletas sin gluten, se procedió a realizar el análisis sensorial con el fin de evaluar la aceptabilidad del producto por parte del consumidor. Para este análisis se consideraron las propiedades organolépticas definidas en la ficha sensorial evaluando los atributos de apariencia, color, aroma, textura, sabor e impresión global, los cuales permiten caracterizar sensorialmente las formulaciones desarrolladas.

Previo a la prueba, los evaluadores recibieron una breve inducción sobre el procedimiento, los criterios de evaluación y la correcta interpretación

de la escala hedónica, además de información general sobre el producto, con el Objetivo de garantizar respuestas más claras y consistentes.

La evaluación se llevó a cabo mediante una escala hedónica de cinco puntos, donde uno correspondió a me disgusta mucho y cinco a me gusta mucho permitiendo cuantificar el grado de aceptación de cada atributo sensorial; para esta etapa se seleccionaron las dos formulaciones óptimas de las galletas, las cuales fueron sometidas a evaluación por un panel sensorial conformado por cinco jueces previamente capacitados.

Durante la evaluación, cada panelista degustó las muestras de manera individual y registró su percepción sensorial en la ficha de aceptabilidad correspondiente. Posteriormente, los datos obtenidos fueron tabulados y analizados estadísticamente por medio del análisis de varianza, lo que permitió comparar las formulaciones evaluadas y determinar la galleta con mayor nivel de aceptación sensorial, sirviendo como base para la selección del producto final.

3.10 Análisis Económicos de las harinas y galletas elaboradas

3.10.1 Costos totales de las harinas y galletas.

Para calcular los costos totales de producción de la harina fortificada de amaranto y cáscaras de cacao CCN – 51 y Nacional, y de las galletas sin gluten, se sumaron todos los gastos realizados a lo largo del proceso productivo. Los costos directos fueron tomados en cuenta para este cálculo incluyendo los insumos y la materia prima usados, así como el trabajo manual realizado durante las fases de producción y la depreciación de los equipos y maquinarias empleados.

Además, se incluyeron los costos indirectos, que son aquellos desembolsos necesarios para el funcionamiento del proceso productivo pero que no se distribuyen directamente a una operación en particular, para dicho cálculo se utilizó la siguiente fórmula.

$$\text{Costos Totales} = \text{Costos Directos} + \text{Costos Indirectos}$$

3.10.2 Costos unitarios de producción del proyecto.

El costo unitario se obtuvo dividiendo el costo total de producción entre el número de unidades producidas permitiendo conocer el costo individual de cada galleta, así mismo de la harina fortificada de amaranto y cáscaras de cacao.

$$CU = \frac{CT}{Q}$$

3.10.3 Precio de venta del proyecto.

Para establecer el precio de venta del proyecto, se utilizó como referencia el coste total de producir la harina fortificada de amaranto y cáscaras de cacao y galletas sin gluten, el cual se añadió un margen de ganancia que ya estaba fijado. Con este margen, se logró obtener ganancias y cubrir los costos de operación.

$$\text{Precio Venta} = \text{Costos Totales} + \text{Margen de ganancia}$$

3.10.4 Ingresos brutos del proyecto.

Los ingresos brutos se calcularon multiplicando el precio de venta unitario por la cantidad total de galletas producidas y de la harina fortificada de amaranto y cáscaras de cacao, este análisis permitió estimar el ingreso total generado antes de descontar los costos.

$$IB = PV \times Q$$

3.10.5 Beneficio neto del proyecto.

El beneficio neto se obtuvo restando los costos totales de producción a los ingresos brutos generados. Este indicador permitió identificar la ganancia real del proyecto y evaluar su viabilidad económica.

$$BN = IB - CT$$

3.10.6 Relación costo/beneficio del proyecto.

La relación costo/beneficio se determinó comparando los ingresos obtenidos frente a los costos totales incurridos, permitiendo evaluar la

eficiencia económica del proyecto y establecer si los beneficios superan la inversión realizada.

$$RCB = \frac{\text{Ingresos Brutos}}{\text{Costos Totales}}$$

3.10.7 Tasa promedio de rentabilidad del proyecto.

La rentabilidad económica permitió evaluar la eficiencia del uso de los recursos invertidos en el proyecto.

$$RE(\%) = \left(\frac{\text{Beneficio Neto}}{\text{Inversion Total}} \right) \times 100$$

4 RESULTADOS

4.1 Balances de masas del proceso de las harinas de cáscaras de cacao

Se utilizó un peso inicial de 5 kg de cáscaras de cacao para calcular el balance de masa, para la eficacia del proceso, detectar las partes que se desechaban como residuos y definir la relación entre la materia prima inicial y el producto final.

En función a estos resultados se determina que el Objetivo 1 fue alcanzado satisfactoriamente, al determinar cada punto crítico del proceso.

4.1.1 Balance de materia en el proceso de limpieza y selección.

Para el proceso de limpieza y selección se empezó con 5 kg de cáscaras de cacao teniendo como resultado 4.2 kg de cáscaras de cacao, tal como indica la Figura 6.

Figura 6.

Balance de materia de limpieza y selección



Nota. Elaborado por la autora.

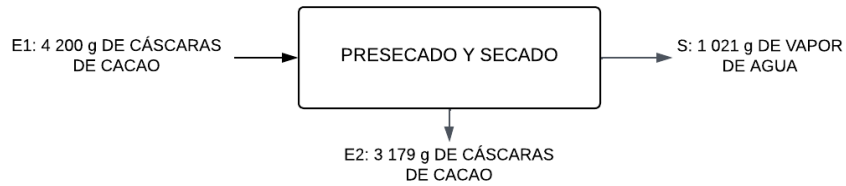
$$\%Rendimiento = \left(\frac{E2}{E1}\right) * 100 = \left(\frac{4\ 200\ g}{5\ 000\ g}\right) * 100 = 84\ \%$$

4.1.2 Balance de materia en el proceso de secado.

Para el proceso de presecado y secado se empezó con 4.2 kg de cáscaras de cacao teniendo como resultado 3.1 kg de cáscaras de cacao, tal como indica la Figura 7.

Figura 7.

Balance de materia del secado



Nota. Elaborado por la autora.

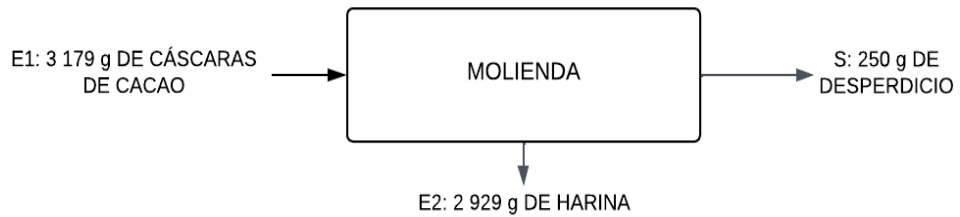
$$\%Rendimiento = \left(\frac{E2}{E1}\right) * 100 = \left(\frac{3\ 179\ g}{4\ 200\ g}\right) * 100 = 76\ %$$

4.1.3 Balance de materia en el proceso de molienda.

Para el proceso de molienda se empezó con 3.1 kg de cáscaras de cacao teniendo como resultado 2.9 kg de cáscaras de cacao, tal como indica la Figura 8.

Figura 8.

Balance de materia de la molienda



Nota. Elaborado por la autora.

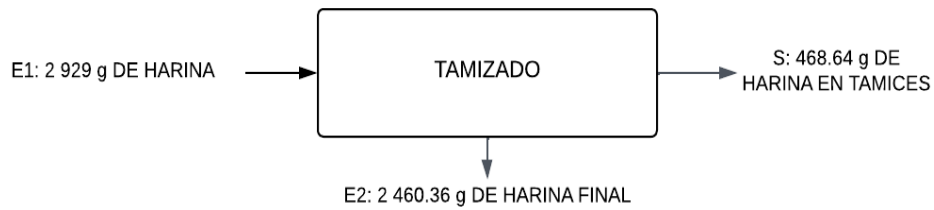
$$\%Rendimiento = \left(\frac{E2}{E1}\right) * 100 = \left(\frac{2\ 929\ g}{3\ 179\ g}\right) * 100 = 92\ %$$

4.1.4 Balance de materia en el proceso de tamizado.

Para el proceso de tamizado se empezó con 2.9 kg de cáscaras de cacao teniendo como resultado 2.4 kg de cáscaras de cacao, tal como indica la Figura 9.

Figura 9.

Balance de materia del tamizado



Nota. Elaborado por la autora.

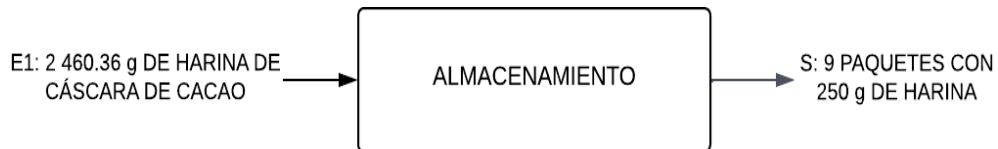
$$\%Rendimiento = \left(\frac{E2}{E1}\right) * 100 = \left(\frac{2\,460.36\,g}{2\,929\,g}\right) * 100 = 84\%$$

4.1.5 Balance de materia en el proceso de almacenamiento.

Para el proceso de almacenamiento, el cual se empezó con 2.4 kg de harina, se colocó en 9 paquetes de 250 g de harina para un mejor almacenamiento.

Figura 10.

Balance de materia del almacenamiento



Nota. Elaborado por la autora.

$$\%Rendimiento\ General = \left(\frac{E2}{E1}\right) * 100 = \left(\frac{2\,460.36\,g}{4\,200\,g}\right) * 100 = 59\%$$

4.2 Balances de masas del proceso de las harinas de amaranto

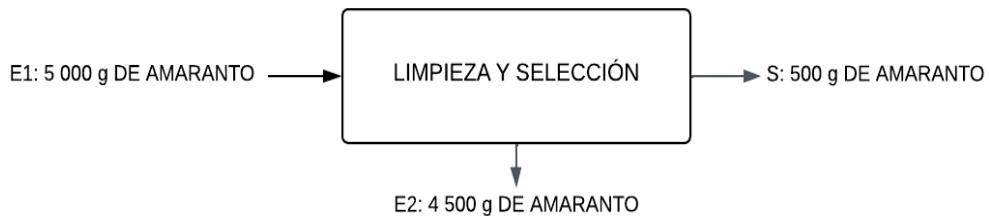
Para calcular el balance de masa, se empleó inicialmente 5 kg de granos de amaranto para determinar la eficiencia del proceso, identificar las partes que se desechaban como residuos y establecer la relación entre el producto final y la materia prima inicial; así, a partir de estos resultados.

4.2.1 Balance de materia en el proceso de limpieza y selección.

Para el proceso de limpieza y selección se empezó con 5 kg de amaranto teniendo como resultado 4.5 kg de amaranto, tal como indica la Figura 11.

Figura 11.

Balance de materia de la limpieza y selección del amaranto



Nota. Elaborado por la autora.

$$\%Rendimiento = \left(\frac{E2}{E1}\right) * 100 = \left(\frac{4\ 500\ g}{5\ 000\ g}\right) * 100 = 90\ \%$$

4.2.2 Balance de materia en el proceso de estallado.

Para el proceso de estallado se empezó con 4.5 kg de amaranto teniendo como resultado 3.8 kg de amaranto, tal como indica la Figura 12.

Figura 12.

Balance de materia del estallado del amaranto



Nota. Elaborado por la autora.

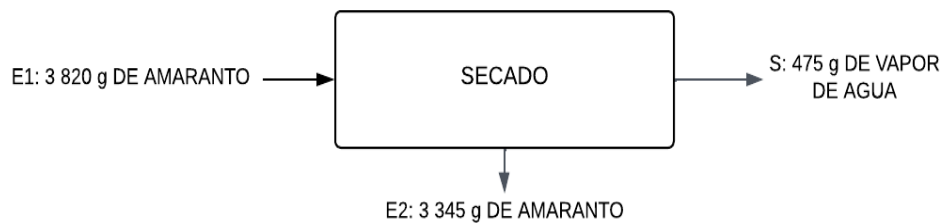
$$\%Rendimiento = \left(\frac{E2}{E1}\right) * 100 = \left(\frac{3\ 820\ g}{4\ 500\ g}\right) * 100 = 84\ \%$$

4.2.3 Balance de materia en el proceso de secado.

Para el proceso de secado se empezó con 3.8 kg de amaranto teniendo como resultado 3.3 kg de amaranto, tal como indica la Figura 13.

Figura 13.

Balance de materia del secado del amaranto



Nota. Elaborado por la autora.

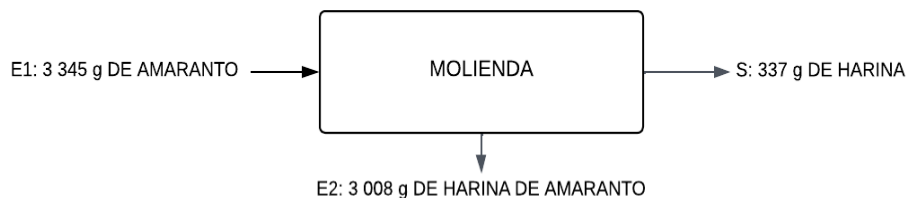
$$\%Rendimiento = \left(\frac{E2}{E1}\right) * 100 = \left(\frac{3\ 345\ g}{3\ 820\ g}\right) * 100 = 87 \%$$

4.2.4 Balance de materia en el proceso de molienda.

Para el proceso de molienda se empezó con 3.3 kg de amaranto teniendo como resultado 3.0 kg de amaranto, tal como indica la Figura 14.

Figura 14.

Balance de materia de la molienda del amaranto



Nota. Elaborado por la autora.

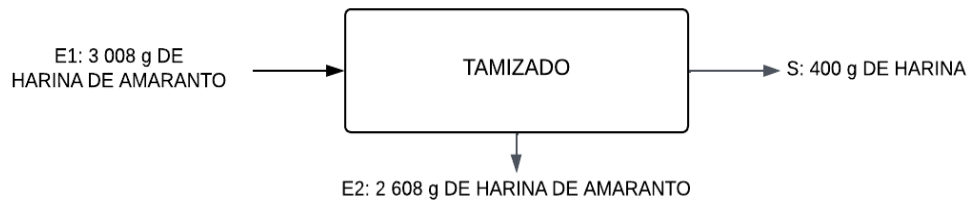
$$\%Rendimiento = \left(\frac{E2}{E1}\right) * 100 = \left(\frac{3\ 008\ g}{3\ 345\ g}\right) * 100 = 89 \%$$

4.2.5 Balance de materia en el proceso de tamizado

Para el proceso de tamizado se empezó con 3.0 kg de amaranto teniendo como resultado 2.6 kg de amaranto, tal como indica la Figura 15.

Figura 15.

Balance de materia del tamizado del amaranto



Nota. Elaborado por la autora.

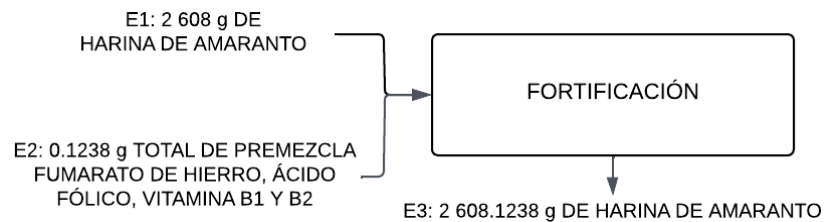
$$\%Rendimiento = \left(\frac{E2}{E1}\right) * 100 = \left(\frac{2\ 608\ g}{3\ 008\ g}\right) * 100 = 86\ %$$

4.2.6 Balance de materia en el proceso de fortificación.

Para el proceso de fortificación no hubo cambios significativos de pesos, tal como indica la Figura 16.

Figura 16.

Balance de materia de la fortificación del amaranto



Nota. Elaborado por la autora.

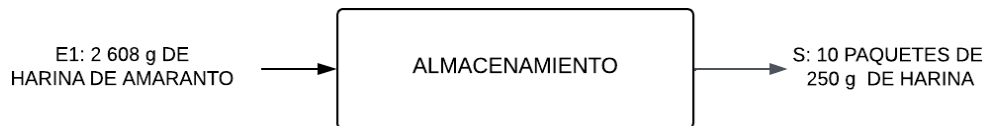
$$\%Rendimiento = \left(\frac{E3}{E1 + E2}\right) * 100 = \left(\frac{2\ 608\ g}{2\ 608.12\ g}\right) * 100 = 100\ %$$

4.2.7 Balance de materia en el proceso de almacenamiento

Para el proceso de almacenamiento se termino con 2.6 kg de harina fortificada de amaranto, dando como resultado 10 paquetes de 250 gramos.

Figura 17.

Balance de materia del almacenamiento del amaranto



Nota. Elaborado por la autora.

$$\%Rendimiento\ General = \left(\frac{E2}{E1}\right) * 100 = \left(\frac{2\ 608\ g}{4\ 500\ g}\right) * 100 = 58\ \%$$

4.3 Curva de secado de las cáscaras de cacao

Se realizó un seguimiento de la variación de la masa y el porcentaje de humedad residual para crear las curvas de secado de la cáscara de cacao así como indica en la Tabla 28, en el cual se realizó las mediciones a intervalos regulares de seis horas, desde el comienzo del tratamiento hasta que transcurrieron 48 horas de exposición.

Tabla 28.

Datos de la humedad durante el secado de las cáscaras de cacao

Tiempo (min)	Tiempo (h)	Humedad (%)	Peso total (g)
0	0	20.00	4 200
360	6	17.39	4 136
720	12	16.77	4 071
1 080	18	16.16	4 007
1 440	24	15.54	3 942
1 800	30	13.74	3 752
2 160	36	11.92	3 560
2 520	42	10.11	3 369
2 880	48	8.30	3 179

Nota. Elaborado por la autora.

En el proceso de secado del amaranto se evidenció una disminución progresiva del peso, atribuida a la eliminación de humedad. A las 24 h de

secado se alcanzó una pérdida parcial de agua, mientras que a las 48 h se registró la mayor reducción de masa, correspondiente a una pérdida total de 1 021 g de agua.

4.3.1 Diseño de la curva de secado.

Con base en las fórmulas establecidas para calcular los gramos de agua, la humedad en base seca y la humedad libre, se elaboró la Tabla 29 para la determinación de la curva de secado del cacao durante el proceso de secado. De manera que los gramos de agua perdido se la obtienen mediante la diferencia del peso total con el valor constante de la masa solida seca.

$$g \text{ de agua} = \text{Peso total} - \text{Masa solido seco}$$

Donde la humedad adimensional o humedad (X) se la obtuvo normalizando la humedad de cada tiempo respecto a la humedad inicia:

$$x = \frac{H_t}{H_0}$$

Así mismo la humedad promedio corresponde al promedio de la humedad (X) entre dos tiempos consecutivos:

$$x_{prom} = \frac{x_i + x_{i+1}}{2}$$

Tabla 29.

Determinación de la curva de secado de las cáscaras de cacao

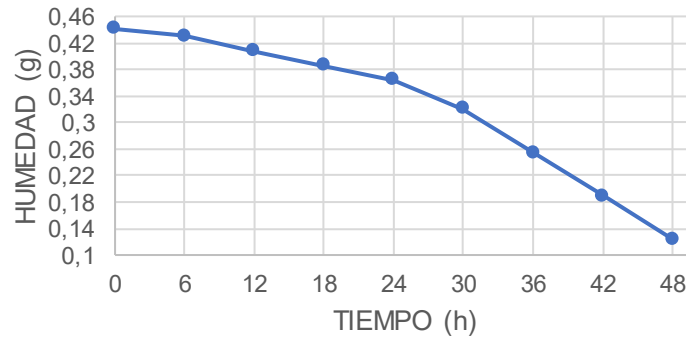
Tiempo (h)	Peso total (g)	g de agua	Humedad (X)	Humedad promedio (g)	Humedad libre (g)
6	4 136	1 221	0.419	0.430	0.430
12	4 071	1 156	0.397	0.408	0.408
18	4 007	1 092	0.375	0.386	0.386
24	3 942	1 027	0.352	0.364	0.364
30	3 752	0 837	0.287	0.320	0.320
36	3 560	0 645	0.221	0.254	0.254
42	3 369	0 454	0.156	0.189	0.189
48	3 179	0 264	0.091	0.124	0.124

Nota. Elaborado por la autora.

En la Figura 18 se evidencia la curva de secado de la cáscara de cacao, en todos sus intervalos de tiempo.

Figura 18.

Curva de secado de la de cáscaras de cacao



Nota. Elaborado por la autora.

4.3.2 Velocidad de secado.

Para la determinación de la velocidad de secado de las cáscaras de cacao, se utilizaron los valores de humedad promedio aplicando la ecuación de velocidad de secado en base seca.

Para el cual se consideró un área efectiva de secado de 1.701 m² y una masa de sólido seco constante de 0.05 kg, según se detalla en la Tabla 30 y en la Figura 19.

La velocidad de secado se calculó mediante la siguiente fórmula

$$W = -\frac{M_{ss}}{A} \left(\frac{dX}{dt} \right)$$

Teniendo en cuenta que M_{ss} = peso total – kg de agua del proceso de secado; a su vez el área efectiva de secado (A) es la superficie de contacto del producto.

$$A_{bandeja} = Largo * Ancho$$

$$A_{efectiva} = A_{bandeja} * N^{\circ} \text{ de bandejas}$$

Mientras $\left(\frac{dX}{dt}\right)$ se la obtiene mediante la variación de la humedad promedio entre dos tiempos consecutivos

$$\left(\frac{dX}{dt}\right) = \frac{x_i - x_{i+1}}{t_{i+1} - t_i}$$

Tabla 30.

Determinación de la velocidad de secado de las cáscaras de cacao

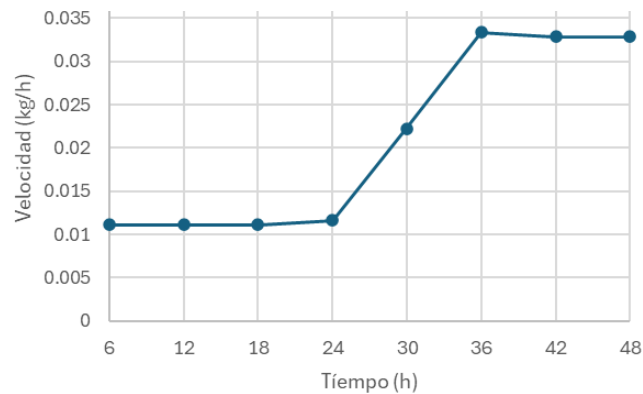
Tiempo (h)	Humedad promedio (g)	-dX/dt (h ⁻¹)	Velocidad de secado (kg/h)
6	0.430	0.00367	0.011142
12	0.408	0.00367	0.011142
18	0.386	0.00367	0.011142
24	0.364	0.00383	0.01162
30	0.320	0.00733	0.02225
36	0.254	0.01100	0.03339
42	0.189	0.01083	0.03287
48	0.124	0.01083	0.03287

Nota. Elaborado por la autora.

En la Figura 19 se presenta la velocidad de secado de las cáscaras de cacao en relación con el tiempo, evidenciando el comportamiento de la eliminación de humedad del material durante el proceso de secado.

Figura 19.

Velocidad de secado de las cáscaras de cacao



Nota. Elaborado por la autora.

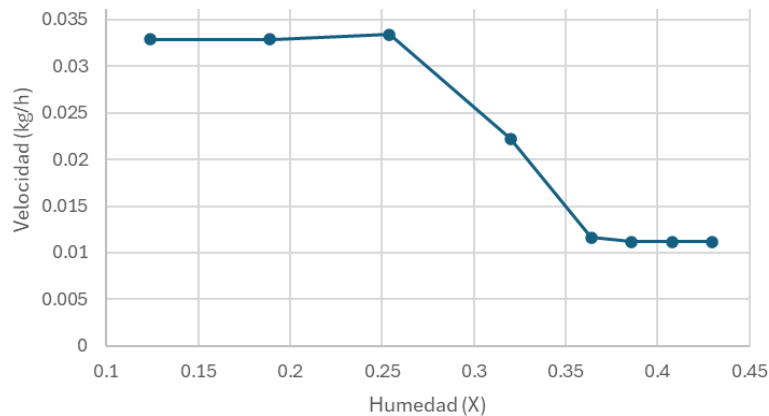
Se observa que la humedad del material tiene un impacto directo en la rapidez con que se seca las cáscaras de cacao. En las fases tempranas,

cuando la humedad promedio es alta, la velocidad del secado se mantiene relativamente constante (anticrítico).

Luego, la velocidad del secado disminuye de forma gradual a medida que la humedad se reduce (postcrítico), esto ocurre debido a que el agua remanente está fuertemente unida al sólido y requiere de más energía para transformarse en vapor, en la Figura 20, se observa la relación que hay entre la humedad y la velocidad de secado.

Figura 20.

Relación entre la humedad y velocidad de secado las cáscaras de cacao



Nota. Elaborado por la autora.

Se evalúa un primer segmento en el que la velocidad de secado se mantiene casi inalterable y corresponde al período en que el secado es a velocidad constante.

En esta fase, la mayor parte del agua se elimina desde la superficie del material; la humedad crítica que está alrededor de 0.16 kg de agua/kg de sólido seco, señala el comienzo del periodo de secado decreciente; a partir de ese punto, la velocidad de secado empieza a bajar.

Este proceso está regido por la difusión interna de la humedad. Este comportamiento es típico de los materiales lignocelulósicos y ratifica el impacto significativo que tiene la humedad en el secado.

4.4 Curva de secado del amaranto

Para generar las curvas de secado del amaranto, se llevó a cabo un seguimiento a cada seis horas de cómo cambiaban el porcentaje de humedad residual y la masa, tal como indica la Tabla 31.

Tabla 31.

Datos del proceso de secado del amaranto

Tiempo (min)	Tiempo (h)	Humedad (%)	Peso total (g)
0	0	12	3 820
360	6	11.84	3 725
720	12	11.68	3 640
1 080	18	11.51	3 565
1 440	24	11.35	3 505
1 800	30	10.82	3 460
2 160	36	10.29	3 414
2 520	42	9.76	3 375
2 880	48	9.23	3 345

Nota. Elaborado por la autora.

En el proceso de secado del amaranto se evidenció una disminución progresiva del peso, atribuida a la eliminación de humedad. A las 24 h de secado se alcanzó una pérdida parcial de agua, mientras que a las 48 h se registró la mayor reducción de masa, correspondiente a una pérdida total de 475 g de agua.

4.4.1 Determinación de la humedad

Con base en las fórmulas establecidas para calcular la humedad en base seca y la humedad libre, se elaboró la siguiente tabla para la determinación de la curva de secado del amaranto durante el proceso de secado.

Donde la humedad adimensional o humedad (X) se la obtiene normalizando la humedad de cada tiempo respecto a la humedad inicial

$$x = \frac{H_t}{H_0}$$

Asi mismo la humedad promedio corresponde al promedio de la humedad (X) entre dos tiempos consecutivos.

$$x_{prom} = \frac{x_i + x_{i+1}}{2}$$

Para finalizar la humedad libre representa la humedad disponible para ser eliminada durante el secado y normalmente se asume con la humedad promedio, en la Tabla 32 y la Figura 21, se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 32.

Determinación de la curva de secado del amaranto

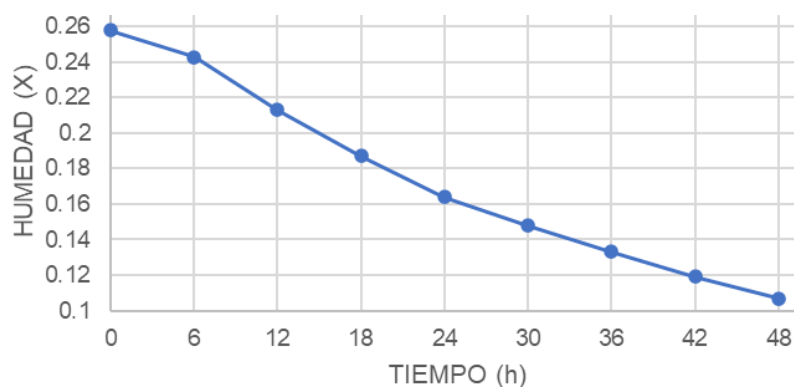
Tiempo (h)	Peso total (g)	g de agua	Humedad (g)	Humedad promedio (g)	Humedad libre (g)
0	3 820	0.784	0.258	—	0.258
6	3 725	0.689	0.227	0.243	0.243
12	3 640	0.604	0.199	0.213	0.213
18	3 565	0.529	0.174	0.187	0.187
24	3 505	0.469	0.155	0.164	0.164
30	3 460	0.424	0.140	0.148	0.148
36	3 415	0.379	0.125	0.133	0.133
42	3 375	0.339	0.112	0.119	0.119
48	3 345	0.309	0.102	0.107	0.107

Nota. Elaborado por la autora.

En la Figura 21 presenta la curva de secado del amaranto en función del tiempo, donde se observa la deshidratación a lo largo del periodo.

Figura 21.

Curva de secado del amaranto



Nota. Elaborado por la autora.

4.4.2 velocidad de secado

Para la determinación de la velocidad de secado del amaranto, se utilizaron los valores de humedad promedio obtenidos durante el proceso de secado, aplicando la ecuación de velocidad de secado en base seca, tal como indica en la Tabla 33 y la Figura 22.

Para el cual se consideró un área efectiva de secado de 1.701 m² y una masa de sólido seco constante de 0.05 kg, según se detalla en la Tabla 48. La velocidad de secado se calcula mediante la siguiente fórmula

$$W = -\frac{W_s}{A} \left(\frac{dX}{dt} \right)$$

Teniendo en cuenta que $W_s = \text{peso total} - \text{kg de agua}$ del proceso de secado; a su vez el área efectiva de secado (A) es la superficie de contacto del producto donde ocurre la transferencia de humedad, se debe tener en cuenta que en este caso el amaranto ocupó toda la bandeja de secado, en tal caso el cálculo del área efectiva sería por la proporción.

$$A_{\text{bandeja}} = \text{Largo} * \text{Ancho}$$

$$A_{\text{efectiva}} = A_{\text{bandeja}} * N^{\circ} \text{ de bandejas}$$

Mientras $\left(\frac{dX}{dt} \right)$ se la obtiene mediante la variación de la humedad promedio entre dos tiempos consecutivos

$$\left(\frac{dX}{dt} \right) = \frac{x_i - x_{i+1}}{t_{i+1} - t_i}$$

Tabla 33.

Determinación de la velocidad de secado del amaranto

Tiempo (h)	Humedad promedio (g)	-dX/dt (h ⁻¹)	Velocidad de secado (kg/h)
6	0.243	0.00517	0.0157
12	0.213	0.00467	0.0142
18	0.187	0.00417	0.0127

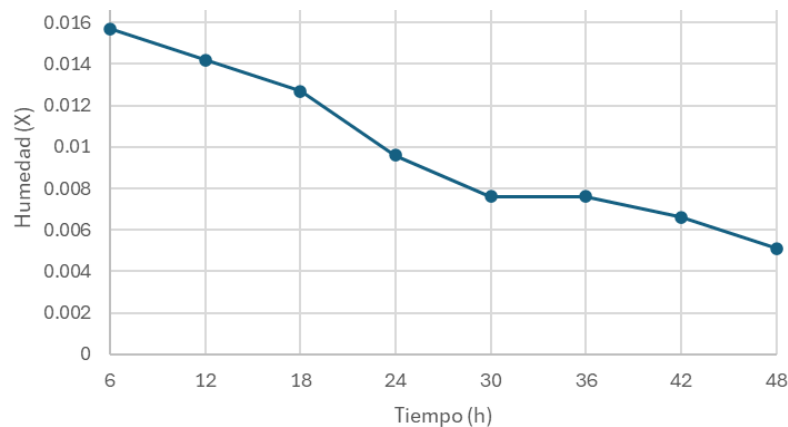
Tiempo (h)	Humedad promedio (g)	$-dX/dt$ (h^{-1})	Velocidad de secado (kg/h)
24	0.164	0.00317	0.0096
30	0.148	0.0025	0.0076
36	0.133	0.0025	0.0076
42	0.119	0.00217	0.0066
48	0.107	0.00167	0.0051

Nota. Elaborado por la autora.

En la Figura 22 se muestra la velocidad de secado del amaranto en función del tiempo, lo que permite observar la variación de la pérdida de humedad del material a lo largo del proceso de secado.”

Figura 22.

Velocidad de secado del amaranto

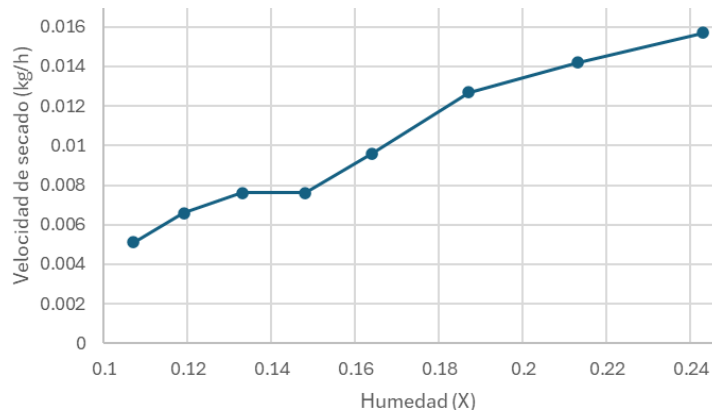


Nota. Elaborado por la autora.

Se distinguen dos etapas bien definidas: la primera, que va de 0 a 24 horas y se caracteriza por una velocidad de secado casi constante; y la segunda, después de las 24 horas, en la que dicha velocidad se incrementa y se estabiliza debido a que el grano tiene una estructura expandida tras el proceso de estallido. Tal como indica la Figura 23.

Figura 23.

Relación entre la humedad y velocidad de secado del amaranto



Nota. Elaborado por la autora.

Se observa la relación entre la humedad en base seca y la velocidad de secado, permitiendo identificar una humedad crítica cercana a 0.12 kg de agua/kg de sólido seco. Por debajo de este valor, la velocidad de secado permanece constante, mientras que por encima se observa una disminución progresiva, indicando un cambio en el mecanismo dominante de transferencia de masa.

4.5 Granulometría de la harina de cáscara de cacao

Para la evaluación de la eficacia del proceso de molienda y la determinación del tamaño de las partículas se realizó un estudio granulométrico a las harinas. Para esto, se utilizó cinco mallas de diferentes tamaños.

A través de este método se logra el porcentaje retenido en cada tamiz, el acumulado y el pasante; estos valores se calculan con las siguientes fórmulas y sus resultados se encuentran en la Tabla 34.

$$\% \text{ Retenido} = \left(\frac{\text{Peso Retenido}}{\text{Peso Inicial}} \right) * 100$$

$$\% \text{ Retenido Acumulado} = \% \text{ Retenido} + \sum \% \text{ Retenido}$$

$$\% \text{ Pasante} = 100 - \% \text{ Retenido Acumulado}$$

Tabla 34.*Granulometría de las harinas de cáscaras de cacao*

Malla	Apertura aprox. (µm)	Peso retenido (g)	(%) retenido	% retenido acumulado	(%) pasante
16	1 180	60.00	2.05	2.05	97.95
18	1 000	85.00	2.90	4.95	95.05
20	850	110.00	3.76	8.71	91.29
30	600	130.00	4.44	13.15	86.85
50	300	83.64	2.86	16.01	83.99
Total retenido		468.68 g	16.01 %	Total ingresado	2 929 g
Pasante		2 460.36 g	83.99 %	Total saliente	2 460.36 g

Nota. Elaborado por la autora.

Los resultados del análisis muestran que el 83.99 % del material correspondió a la fracción pasante indicando una alta proporción de partículas finas, mientras que el 16.01 % quedó retenido en las mallas 16, 18, 20, 30 y 50, con mayor retención en las mallas intermedias.

Este análisis indica que el proceso de molienda fue adecuado con una apertura de 300 micras, la cual indica que existe una baja presencia de partículas gruesas y sea favorable para su aplicación en productos alimenticios.

4.6 Granulometría de la harina de amaranto

Para la evaluación de la eficacia del proceso de molienda y la determinación del tamaño de las partículas se realizó un estudio granulométrico a las harinas. Para esto, se utilizó cinco mallas de diferentes tamaños. A través de este método se logra el porcentaje retenido en cada tamiz, el acumulado y el pasante; estos valores se calculan con las siguientes fórmulas y sus resultados se encuentran en la Tabla 35.

$$\% \text{ Retenido} = \left(\frac{\text{Peso Retenido}}{\text{Peso Inicial}} \right) * 100$$

$$\% \text{ Retenido Acumulado} = \% \text{ Retenido} + \sum \% \text{ Retenido}$$

$$\% \text{ Pasante} = 100 - \% \text{ Retenido Acumulado}$$

Tabla 35.*Granulometría de la harina de amaranto*

Malla	Apertura aprox. (µm)	Peso retenido (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasante
16	1 180	45.00	1.50	1.50	98.50
18	1 000	65.00	2.16	3.66	96.34
20	850	85.00	2.83	6.49	93.51
30	600	120.00	3.99	10.48	89.52
50	300	85.00	2.83	13.31	86.69
Total retenido		400 g	13.31 %	Total ingresado	3 345 g
Pasante		2 608 g	86.69 %	Total saliente	2 608 g

Nota. Elaborado por la autora.

Los resultados del análisis muestran que el 86.69 % del material correspondió a la fracción pasante, indicando una alta proporción de partículas finas, mientras que el 13.31 % quedó retenido en las mallas 16, 18, 20, 30 y 50, con mayor retención en las mallas intermedias.

Este análisis indica que el proceso de molienda fue adecuado con una apertura de 300 micras, la cual indica que existe una baja presencia de partículas gruesas y sea favorable para su aplicación en productos alimenticios.

4.7 Resultados de los análisis bromatológicos de las harinas

Los análisis bromatológicos de las harinas se realizaron considerando tres repeticiones por cada determinación, con el fin de evaluar la influencia del tiempo de secado, establecido en 24 y 48 horas, sobre las características bromatológicas del producto tal como se indica en la Tabla 36 y Figura 24.

Los resultados obtenidos permitieron determinar la composición proximal de las formulaciones desarrolladas evidenciando valores consistentes en humedad, proteína, grasa, cenizas y carbohidratos, tal como se indican en las Tablas 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55 y 56.

En consecuencia, se considera que el Objetivo específico 2 fue cumplido satisfactoriamente, al haberse alcanzado una caracterización integral del producto formulado

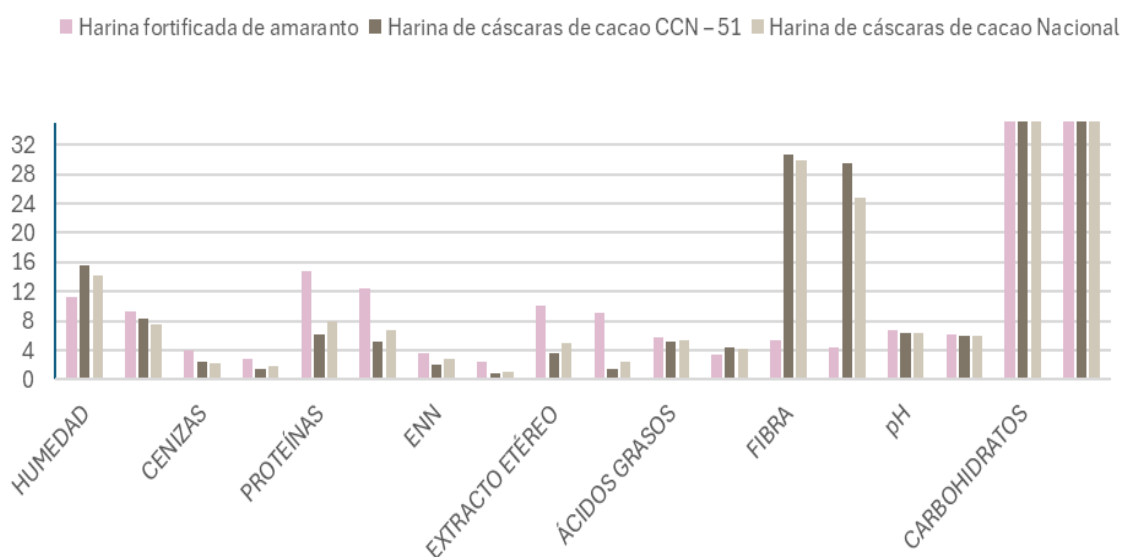
Tabla 36.*Resultados aproximados de los análisis bromatológicos*

TIEMPO DE SECADO 24 HORAS									
Harinas	Humedad	Cenizas	Proteínas	ENN	EE	ÁG	Fibra	pH	Carbohidratos
Amaranto	11.35	4.06	14.86	3.65	10.06	5.69	5.46	6.67	54.21
CCN – 51	15.54	2.40	6.24	2.10	3.58	5.21	30.59	6.35	41.65
Nacional	14.13	2.34	7.89	2.79	5.02	5.37	29.78	6.29	40.84
Prom.	13.67	2.93	9.66	2.85	6.22	5.42	21.94	6.44	45.57
Desvest.	2.13	0.98	4.58	0.78	3.40	0.24	14.28	0.20	7.50

TIEMPO DE SECADO 48 HORAS									
Harinas	Humedad	Cenizas	Proteínas	ENN	EE	ÁG	Fibra	pH	Carbohidratos
Amaranto	9.23	2.83	12.39	2.41	9.17	3.51	4.32	6.12	62.06
CCN – 51	8.30	1.39	5.17	0.92	1.55	4.44	29.40	6.02	54.19
Nacional	7.61	1.78	6.68	1.06	2.45	4.30	24.68	5.91	56.50
Prom.	8.38	2.00	8.08	1.46	4.39	4.08	19.47	6.02	57.58
Desvest.	0.81	0.74	3.81	0.82	4.16	0.50	13.33	0.11	4.05

Nota. Elaborado por la autora; los datos de ENN corresponden al Extracto no nitrogenado y EE al extracto etéreo y AG a los ácidos grasos.

En la Figura 24 indica la comparación de los resultados obtenidos en los análisis bromatológicos de las diferentes harinas analizadas.

Figura 24.*Resultados de los análisis bromatológicos*

Nota. Elaborado por la autora; los datos de ENN corresponden al Extracto no nitrogenado.

4.7.1 Determinación de humedad de las harinas.

En la Tabla 37 se muestran los resultados del análisis de humedad de las tres harinas evaluadas a las 24 h y 48 h, con el propósito de evidenciar su comportamiento.

Tabla 37.

Análisis de humedad de las harinas

Harinas	Secado a 24 h	Secado a 48 h
Harina fortificada de amaranto	11.35 ± 0.2	9.23 ± 0.03
Harina de cáscaras de cacao CCN – 51	15.54 ± 0.04	8.30 ± 0.1
Harina de cáscaras de cacao Nacional	14.13 ± 0.1	7.61 ± 0.08

Nota. Elaborado por la autora.

En el Anexo 1, indica el tipo de modelo y programa que fue utilizado. De acuerdo con los resultados el modelo fue estadísticamente significativo debido a que su p valor de 0.0009, según el análisis de varianza, el 86 % de la variación total en la humedad fue afectado por el factor tiempo el cual tuvo un contenido de humedad ($p = 0.0001$) mostrando que esta variable se redujo entre las 24 y las 48 horas de secado. Por otro lado, el tipo de harina no presentó discrepancias notables en el p-valor (0.3135). Esto señala que el tiempo de secado es lo que está principalmente relacionado con la variación en la humedad, más que la clase de harina analizada.

4.7.2 Determinación de cenizas de las harinas.

En la Tabla 38 se muestran los resultados del análisis de ceniza de las tres harinas evaluadas a las 24 h y 48 h, con el propósito de evidenciar su comportamiento.

Tabla 38.

Análisis de cenizas de las harinas

Harinas	Secado a 24 h	Secado a 48 h
Harina fortificada de amaranto	4.06 ± 0.2	2.83 ± 0.1
Harina de cáscaras de cacao CCN – 51	2.40 ± 0.04	1.39 ± 0.08
Harina de cáscaras de cacao Nacional	2.34 ± 0.1	1.78 ± 0.1

Nota. Elaborado por la autora.

En el Anexo 2, indica el tipo de modelo y programa que fue utilizado. El estudio de varianza del contenido de cenizas reveló que el modelo no fue estadísticamente significativo ($p = 0.5547$), con un coeficiente de determinación bajo de $R^2 = 0.22$ y un coeficiente de variación del 58.32 %.

Esta variable no se vio afectada ni por el tipo de harina ($p = 0.3732$) ni por el tiempo de secado $p = 0.9987$. Estos resultados muestran que, con respecto a los tratamientos analizados, el contenido de cenizas se mantiene constante.

4.7.3 Determinación de proteínas de las harinas.

En la Tabla 39 se muestran los resultados del análisis de proteínas de las tres harinas evaluadas a las 24 h y 48 h, con el propósito de evidenciar su comportamiento.

Tabla 39.
Análisis de proteínas de las harinas

Harinas	Secado a 24 h	Secado a 48 h
Harina fortificada de amaranto	14.86 ± 0.2	12.39 ± 0.03
Harina de cáscaras de cacao CCN – 51	6.24 ± 0.1	5.17 ± 0.05
Harina de cáscaras de cacao Nacional	7.89 ± 0.2	6.68 ± 0.1

Nota. Elaborado por la autora.

En el Anexo 3, indica el tipo de modelo y programa que fue utilizado. El modelo fue altamente significativo teniendo un p valor de 0.0009, con un coeficiente de determinación alto de $R^2 0.99$ y un coeficiente de variación bajo del 5.65 %, lo que demuestra una precisión experimental, según el análisis de varianza del contenido proteico.

El tiempo de secado tuvieron un impacto de $p < 0.0001$, lo que sugiere que esta variable afecta de forma determinante el contenido proteico.

4.7.4 Determinación de extracto no nitrogenado de las harinas.

En la Tabla 40 se muestran los resultados del análisis del extracto no nitrogenado de las tres harinas evaluadas a las 24 h y 48 h, con el propósito de evidenciar su comportamiento.

Tabla 40.*Análisis de extracto no nitrogenado de las harinas*

Harinas	Secado a 24 h	Secado a 48 h
Harina fortificada de amaranto	3.65 ± 0.1	2.41 ± 0.2
Harina de cáscaras de cacao CCN – 51	2.10 ± 0.04	0.92 ± 0.1
Harina de cáscaras de cacao Nacional	2.79 ± 0.1	1.06 ± 0.08

Nota. Elaborado por la autora.

En el Anexo 4, indica el tipo de modelo y programa que fue utilizado. El análisis de varianza del extracto no nitrogenado indicó que el modelo no fue estadísticamente significativo ya que tuvo un p valor de 0.4553, presentando un bajo coeficiente de determinación ($R^2 = 0.27$) y un coeficiente de variación elevado del 65.26 %. Ni el tipo de harina ($p = 0.2998$) ni el proceso de secado ($p = 0.7823$).

4.7.5 Determinación de extracto etéreo.

En la Tabla 41 se muestran los resultados del análisis del extracto etéreo de las tres harinas evaluadas a las 24 h y 48 h, con el propósito de evidenciar su comportamiento.

Tabla 41.*Análisis de extracto etéreo de las harinas*

Harinas	Secado a 24 h	Secado a 48 h
Harina fortificada de amaranto	10.06 ± 0.1	9.17 ± 0.03
Harina de cáscaras de cacao CCN – 51	3.58 ± 0.07	1.55 ± 0.2
Harina de cáscaras de cacao Nacional	5.02 ± 0.2	2.45 ± 0.1

Nota. Elaborado por la autora.

En el Anexo 5, indica el tipo de modelo y programa que fue utilizado. El análisis de varianza del extracto etéreo evidenció que el modelo fue altamente significativo ($p = 0.0001$), con un coeficiente de determinación ($R^2 = 0.99$) y un coeficiente de variación bajo (8.06 %), lo que demuestra un excelente ajuste del modelo.

Tanto el tipo de harina como el proceso de secado presentaron efectos altamente significativos ($p < 0.0001$), indicando que estas variables influyen

de manera determinante en el contenido de extracto etéreo de las muestras analizadas.

4.7.6 Determinación de ácidos grasos de las harinas.

En la Tabla 42 se muestran los resultados del análisis de ácidos grasos de las tres harinas evaluadas a las 24 h y 48 h, con el propósito de evidenciar su comportamiento.

Tabla 42.

Análisis de ácidos grasos de las harinas

Harinas	Secado a 24 h	Secado a 48 h
Harina fortificada de amaranto	5.69 ± 0.2	3.51 ± 0.03
Harina de cáscaras de cacao CCN – 51	5.21 ± 0.08	4.44 ± 0.1
Harina de cáscaras de cacao Nacional	5.37 ± 0.1	4.30 ± 0.08

Nota. Elaborado por la autora.

En el Anexo 6, indica el tipo de modelo y programa que fue utilizado. El análisis de varianza del contenido de ácidos grasos mostró que el modelo fue estadísticamente significativo ($p = 0.0026$), con un coeficiente de determinación de 0.82 y un coeficiente de variación bajo (8.37 %), lo que evidencia un adecuado ajuste del modelo.

El proceso de secado presentó un efecto altamente significativo sobre esta variable ($p = 0.0004$), mientras que el tipo de harina no mostró diferencias estadísticas significativas ($p = 0.6889$). Estos resultados indican que la variación en el contenido de ácidos grasos está principalmente asociada al secado.

4.7.7 Determinación de fibra de las harinas.

En la Tabla 43 se muestran los resultados del análisis de ceniza de las tres harinas evaluadas a las 24 h y 48 h, con el propósito de evidenciar su comportamiento.

Tabla 43.*Análisis de fibra de las harinas*

Harinas	Secado a 24 h	Secado a 48 h
Harina fortificada de amaranto	5.46 ± 0.1	4.32 ± 0.1
Harina de cáscaras de cacao CCN – 51	30.59 ± 0.04	29.40 ± 0.2
Harina de cáscaras de cacao Nacional	29.78 ± 0.05	24.68 ± 0.1

Nota. Elaborado por la autora.

En el Anexo 7, indica el tipo de modelo y programa que fue utilizado. El modelo fue estadísticamente significativo ($p = 0.0051$), con coeficientes de determinación elevados (R^2 ajustado = 0.99) y un coeficiente de variación bajo (5.42 %), lo que demuestra un excelente ajuste del modelo.

Tanto el tipo de harina como el proceso de secado presentaron efectos altamente significativos ($p < 0.0001$), indicando que estas variables influyen de manera determinante en el contenido de fibra de las muestras analizadas.

4.7.8 Determinación de pH de las harinas.

En la Tabla 44 se muestran los resultados del análisis de pH de las tres harinas evaluadas a las 24 h y 48 h, con el propósito de evidenciar su comportamiento.

Tabla 44.*Análisis de pH de las harinas*

Harinas	Secado a 24 h	Secado a 48 h
Harina fortificada de amaranto	6.67 ± 0.2	6.12 ± 0.08
Harina de cáscaras de cacao CCN – 51	6.35 ± 0.04	6.02 ± 0.03
Harina de cáscaras de cacao Nacional	6.29 ± 0.1	5.91 ± 0.1

Nota. Elaborado por la autora.

En el Anexo 8, indica el tipo de modelo y programa que fue utilizado. El pH mostró que el modelo fue altamente significativo ($p = 0.0001$), con un coeficiente de determinación de 0.91 y un coeficiente de variación de 1.57, lo que evidencia un adecuado ajuste y alta precisión experimental. Tanto el tipo de harina ($p = 0.0042$) como el proceso de secado ($p = 0.0001$) presentaron efectos significativos sobre el pH.

4.7.9 Determinación de carbohidratos de las harinas.

En la Tabla 45 se muestran los resultados del análisis de carbohidratos de las tres harinas evaluadas a las 24 h y 48 h, con el propósito de evidenciar su comportamiento.

Tabla 45.

Análisis de carbohidratos de las harinas

Harinas	Secado a 24 h	Secado a 48 h
Harina fortificada de amaranto	54.21 ± 0.2	62.06 ± 0.2
Harina de cáscaras de cacao CCN – 51	41.65 ± 0.2	54.19 ± 0.2
Harina de cáscaras de cacao Nacional	40.84 ± 0.2	56.50 ± 0.2

Nota. Elaborado por la autora.

En el Anexo 9, indica el tipo de modelo y programa que fue utilizado. El análisis de varianza del contenido de carbohidratos mostró que el modelo fue altamente significativo ($p < 0.0001$), con coeficientes de determinación elevados ($R^2 = 0.96$ y R^2 ajustado = 0.94) y un coeficiente de variación bajo (3.81 %), lo que evidencia un excelente ajuste del modelo.

Tanto el tipo de harina como el proceso de secado presentaron efectos altamente significativos ($p < 0.0001$), siendo este último el factor de mayor influencia sobre el contenido de carbohidratos.

4.8 Resultados de los análisis microbiológicos de las harinas

Los análisis microbiológicos de las harinas obtenidas se realizaron utilizando placas Compact Dry, para evaluar la calidad microbiológica del producto en función del tiempo de secado de 24 h y 48 h. Los ensayos se enfocaron en la determinación de mohos y levaduras, coliformes totales y la presencia de *Salmonella spp.*

4.8.1 Resultados de mohos y levaduras de las harinas.

En las muestras correspondientes a 24 horas de secado se evidenció la presencia de mohos y levaduras en baja cantidad, observándose un número reducido de colonias en las placas Compact Dry. En contraste, las muestras sometidas a 48 horas de secado no presentaron desarrollo visible de colonias,

lo que indica la ausencia detectable de mohos y levaduras bajo las condiciones del análisis.

4.8.2 Resultados de Coliformes totales.

El análisis de coliformes totales mostró un bajo desarrollo de colonias en las muestras secadas durante 24 horas, mientras que en las muestras con 48 horas de secado no se evidenció crecimiento microbiano en las placas Compact Dry.

Por otro lado, en el análisis de *Escherichia coli* no se observó crecimiento en ninguna de las muestras analizadas, independientemente del tiempo de secado, lo que indica ausencia de *E. coli* y sugiere adecuadas condiciones higiénico-sanitarias durante el procesamiento de las harinas.

4.8.3 Resultados de Salmonella.

En las muestras correspondientes a 24 horas de secado se evidenció la presencia de *Salmonella spp.* en una proporción media, observándose un crecimiento limitado en las placas Compact Dry. No obstante, en las muestras sometidas a 48 horas de secado no se detectó crecimiento de *Salmonella spp.*, lo que indica ausencia del patógeno bajo las condiciones del ensayo.

4.9 Resultados de la formulación de las galletas

Como resultado del Objetivo 3, se realizaron las formulaciones de las galletas con los porcentajes óptimos de cada harina que se describen en la metodología; se llevaron a cabo múltiples mezclas, lo que resultó en 14 tratamientos distintos como indicó el programa estadístico Design Expert 8.0, el cual fue el encargado de optimizar estos tratamientos, como indica en la Figura 25.

4.9.1 Tratamientos para la formulación de galletas

Las combinaciones de los tratamientos que se emplearon para la elaboración de las galletas sin gluten son las que aparecen en la Tabla 46. Es importante tener en cuenta que, al preparar las galletas, se busca que el

porcentaje de ingredientes en polvo (como cacao en polvo, harinas y maicena) esté entre 45 % y 48 % del total.

Tabla 46.

Combinaciones de Tratamientos

Tratamiento	Harina Cacao: CCN-51	Harina Cacao: Nacional	Harina Amaranto
T1	12.50	5.00	17.00
T2	11.44	9.62	13.44
T3	14.09	8.41	12.00
T4	15.00	6.25	13.25
T5	11.25	6.25	17.00
T6	10.00	7.88	16.62
T7	10.00	10.00	14.50
T8	11.88	7.81	14.81
T9	12.14	7.14	15.21
T10	15.00	5.00	14.50
T11	12.67	7.22	14.61
T12	12.50	10.00	12.00
T13	15.00	5.50	14.00
T14	12.00	7.00	15.00

Nota. Elaborado por la autora y validado por Software Design expert 8.0

4.9.2 Formulación de galletas sin gluten

Se realizaron 14 premezclas iniciales con el propósito de mejorar las propiedades finales del producto por medio de la optimización, el cual dio como resultado dos formulaciones más, además se hicieron ajustes sucesivos en los porcentajes de azúcares, harinas y mantequilla respecto a estas formulaciones. La Tabla 47 proporciona la composición final de la galleta.

Tabla 47.

Formulación de galletas sin gluten

Ingredientes	Porcentaje	Peso (g)
Mantequilla	19.0 %	19.0
Azúcar Morena	14.0 %	14.0
Azúcar Blanca	15.0 %	15.0
Huevos	8.0 %	8.0
Polvo De Hornear	0.50 %	0.5
Maicena	1.0 %	1.0
Vainilla	0.50 %	0.5
Harina Ccn-51	X %	X

Ingredientes	Porcentaje	Peso (g)
Harina Nacional	X %	X
Harina Amaranto	X %	X
Cacao En Polvo	8.0 %	8.0
Riboflavina- B2	0.03 %	0.0003
Tiamina - B1	0.03 %	0.0003
Ácido Fólico	0.015 %	0.00015
Hierro	0.40 %	0.004
Total	100.5 %	100.0

Nota. Elaborado por la autora; los valores de porcentaje corresponden a la formulación base de 100 g de galletas.

4.9.3 Resultados de la optimización de las galletas.

En esta etapa se definieron los criterios de optimización de la formulación mediante el método de conveniencia estadística; se priorizó la maximización del contenido de proteína, cenizas, fibra, pH y el incremento del porcentaje de harina de cáscaras de cacao.

De manera simultánea, se establecieron restricciones para la reducción del contenido de carbohidratos, grasas (extracto etéreo) y harina fortificada de amaranto, con el propósito de optimizar el perfil nutricional del producto y disminuir los costos de producción.

La aplicación de estos criterios como indica la Figura 25 permitió identificar una formulación óptima que cumple con los parámetros nutricionales y normativos vigentes; como resultado, se obtuvo una nueva formulación optimizada que difiere significativamente de los 14 tratamientos experimentales iniciales.

Figura 25.

Tabla de criterios y soluciones de optimización

Name	Goal	Lower	Upper	Lower	Upper	2 Solutions found				
		Limit	Limit	Weight	Weight	Importance				
CCN - 51	maximize	10	15	1	1	3	Number of Starting Points 10			
NACIONAL	minimize	5	10	1	1	3	CCN - 51	NACIONAL	AMARANTO	
AMARANTO	minimize	12	17	1	1	3	12.05	8.20	14.25	
CENIZAS	maximize	4.02	4.96	1	1	3	11.56	7.67	15.27	
PROTEINA	maximize	8.12	8.96	1	1	3	12.01	8.12	14.37	
E. NO NITROGEN	minimize	1.05	2	1	1	3	13.65	7.78	13.07	
EXTRACTO ETEI	is in range	19.08	20.76	1	1	3	14.11	8.25	12.14	
ACIDOS GRASC	minimize	1.05	1.95	1	1	3	11.30	7.17	16.02	
FIBRA	maximize	7.02	8.89	1	1	3	14.10	6.45	13.96	
pH	maximize	5.01	6	1	1	3	10.84	7.05	16.62	
CARBOHIDRATC	minimize	57.89	59.92	1	1	3	13.69	8.38	12.43	
							11.32	8.35	14.83	

Solutions												
Number	CCN - 51	NACIONAL	AMARANTO	CENIZAS	PROTEINA E. NO NITROGEN	EXTRACTO ETEI	ACIDOS GRASC	FIBRA	pH	CARBOHIDRATC	Desirability	
1	15.00	5.00	14.50	4.62403	8.62716	1.21498	19.8298	1.60684	8.14883	5.29932	58.0463	0.631
2	14.54	5.00	14.96	4.59458	8.59985	1.25408	19.7941	1.57146	8.13775	5.38407	58.1876	0.619

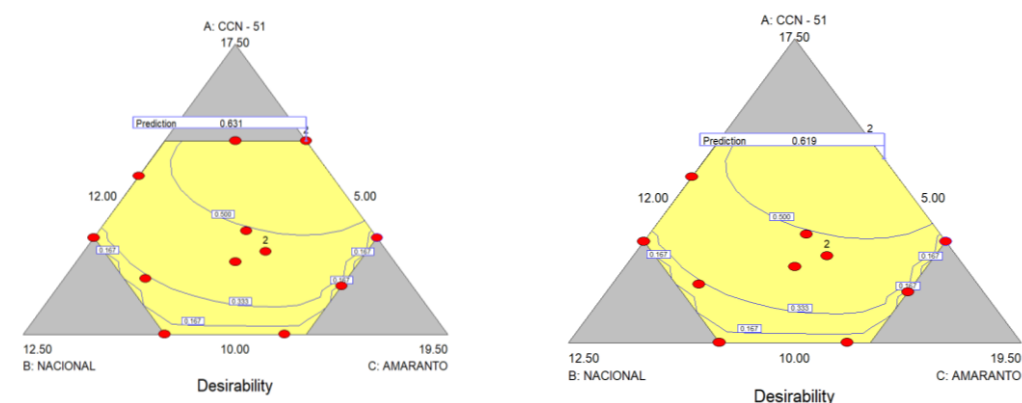
Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

La tabla resume las restricciones y soluciones generadas por el método de deseabilidad. Se obtuvieron dos soluciones factibles, seleccionándose la formulación con mayor deseabilidad (0.631).

El gráfico ternario muestra la región óptima de formulación para las galletas elaboradas con harina de cáscara de cacao CCN-51, cacao Nacional y harina de amaranto, así como indica la Figura 26 la zona amarilla indica las combinaciones que cumplen simultáneamente los criterios de optimización establecidos.

Figura 26.

Gráfico ternario de deseabilidad



Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

Se obtuvo una deseabilidad máxima de 0.631 y 0.619, considerada aceptable, concentrada en una región central del diagrama. Los puntos experimentales validan la capacidad predictiva del modelo y confirman la estabilidad de la región óptima identificada, de las cuales como resultado, el tratamiento T10 tiene una mejor conveniencia estadística.

4.10 Resultados de los análisis bromatológicos de las galletas

Como resultados del Objetivo 4 se realizó los análisis bromatológicos a las diversas formulaciones las cuales presentan composiciones nutricionales similares sin diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, como indica la Tabla 48 y la Figura 27.

Sin embargo, para evaluar la influencia del tipo de harina y porcentaje de adicción de estas en sus características finales, se empleó un enfoque estadístico más avanzado como el análisis de varianza (ANOVA), complementado con la aplicación de un modelo secuencial de suma de cuadrados, la evaluación del diagnóstico de residuos y el análisis de la figura de contornos.

No obstante, el análisis descriptivo evidencia tendencias nutricionales relevantes, destacándose el tratamiento T1 por su mayor contenido de fibra y el tratamiento T10 por su mayor contenido de proteína. Por otro lado, el tratamiento T14 presenta valores relativamente menores en varios componentes nutricionales, lo que podría representar una formulación viable para estrategias de comercialización orientadas a productos de menor costo.

En conjunto, los resultados indican que las formulaciones evaluadas mantienen características nutricionales comparables, permitiendo seleccionar diferentes tratamientos en función de objetivos nutricionales, tecnológicos o comerciales.

Tabla 48.*Resultados de los análisis bromatológicos de las galletas*

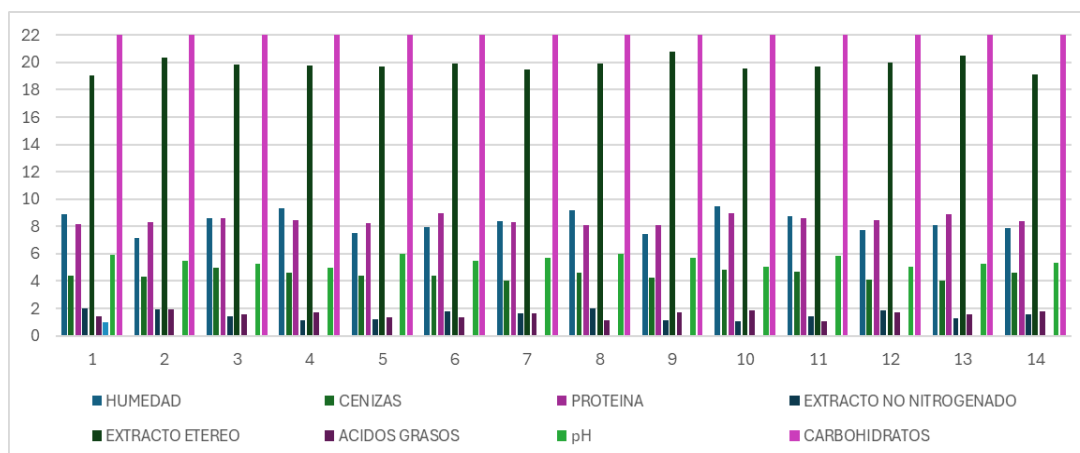
Harinas	Humedad	Cenizas	Proteínas	ENN	EE	ÁG	Fibra	pH	Carbohidratos
T1	8.92	4.42	8.16	2.00	19.08	1.44	8.89	5.89	59.27
T2	7.16	4.33	8.34	1.91	20.33	1.95	8.21	5.50	59.22
T3	8.59	4.96	8.57	1.39	19.86	1.59	8.41	5.27	58.27
T4	9.31	4.63	8.44	1.15	19.78	1.74	7.18	5.01	57.89
T5	7.54	4.40	8.24	1.23	19.73	1.38	7.79	5.98	59.56
T6	7.97	4.39	8.96	1.80	19.92	1.35	7.02	5.45	58.83
T7	8.38	4.02	8.29	1.64	19.47	1.62	8.12	5.73	59.77
T8	9.17	4.61	8.13	1.98	19.93	1.16	8.79	6.00	58.66
T9	7.42	4.23	8.12	1.13	20.76	1.72	7.76	5.73	58.84
T10	9.45	4.83	8.96	1.05	19.53	1.87	8.05	5.05	58.02
T11	8.74	4.68	8.57	1.42	19.71	1.05	8.11	5.85	58.47
T12	7.75	4.10	8.47	1.87	19.96	1.73	7.69	5.05	59.20
T13	8.13	4.04	8.87	1.28	20.53	1.55	8.39	5.30	57.96
T14	7.86	4.60	8.41	1.58	19.09	1.75	7.90	5.33	59.77
Prom.	7.91	4.25	8.58	1.58	19.86	1.68	7.99	5.23	58.98
Desvest.	0.20	0.31	0.25	0.30	0.73	0.11	0.36	0.15	0.93

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0; los datos de ENN corresponden al Extracto no nitrogenado y EE al extracto etéreo y AG a los ácidos grasos.

En la Figura 27 se muestra, a través de una gráfica de barras, la comparación de los resultados obtenidos en los análisis bromatológicos de las diferentes formulaciones de galletas que se obtuvieron.

Figura 27.

Resultados de los análisis bromatológicos de las galletas



Nota. Elaborado por la autora.

4.10.1 Puntos predictivos de las galletas.

La predicción puntual permitió estimar los valores esperados de las variables bromatológicas y proximales del producto para una formulación compuesta por el promedio de las composiciones de las harinas en la que el resultado fue el siguiente: 12.50 % de CCN-51, 7.50 % de cacao Nacional y 14.50 % de amaranto, tal como indica la Figura 28.

Figura 28.

Puntos predictivos estadísticos de las galletas

Component	Name	Level	Low Level	High Level	Std. Dev.
A	CCN - 51	12.50	10.00	15.00	0.000
B	NACIONAL	7.50	5.00	10.00	0.000
C	AMARANTO	14.50	12.00	17.00	0.000
Total =		34.50			

	Prediction	SE Mean	95% CI low	95% CI high	SE Pred	95% PI low	95% PI high
HUMEDAD	8.29	0.18	7.89	8.69	0.70	6.75	9.84
CENIZAS	4.44	0.077	4.27	4.61	0.30	3.79	5.09
PROTEINA	8.46	0.079	8.29	8.64	0.30	7.79	9.13
E. NO NITROG	1.54	0.080	1.37	1.72	0.31	0.87	2.22
EXTRACTO E	19.84	0.14	19.55	20.14	0.52	18.70	20.99
ACIDOS GRA	1.57	0.069	1.42	1.72	0.27	0.99	2.16
FIBRA	8.02	0.15	7.68	8.35	0.59	6.72	9.31
pH	5.50	0.072	5.34	5.66	0.28	4.89	6.11
CARBOHIDRA	58.91	0.13	58.63	59.19	0.49	57.82	59.99

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

4.10.2 Determinación de humedad de las galletas.

El análisis estadístico demuestra que la humedad de las galletas sin gluten no se ve alterada de forma importante por los cambios en el contenido de harina fortificada de amaranto y cáscara de cacao, tanto en las variedades Nacional como CCN-51.

Lo cual lo explican en la Tabla 49 y las Figuras 29, 30, 31, 32 y 33. La estabilidad de esta variable indica que es posible añadir las materias primas analizadas en proporciones variables sin afectar las propiedades bromatológicas.

Tabla 49.

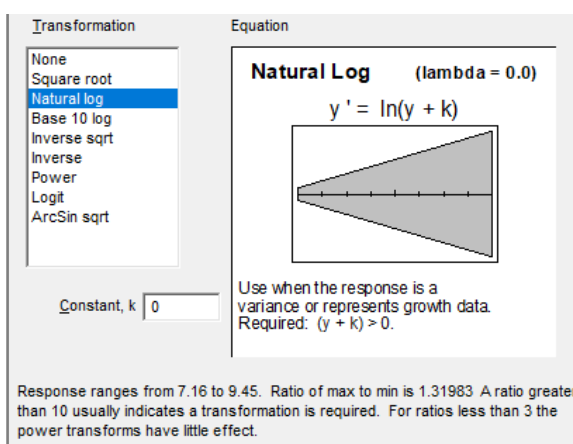
Resultados de la humedad de las galletas

Muestras	mínimo	máximo	promedio
14 Galletas	7.16 %	9.45 %	8.31 %

Nota. Elaborado por la autora.

Figura 29.

Transformación de la respuesta de la humedad



Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

La variable humedad presentó valores comprendidos entre 7.16 % y 9.45 % con una relación máximo/mínimo de 1.32, lo que evidencia una dispersión moderada de los datos.

Figura 30.

Modelo secuencial de suma de cuadrados de la humedad

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
<u>Mean</u>	<u>62.58</u>	<u>1</u>	<u>62.58</u>			<u>Suggested</u>
<u>Linear</u>	<u>0.028</u>	<u>2</u>	<u>0.014</u>	<u>2.11</u>	<u>0.1678</u>	<u>Suggested</u>
Quadratic	4.969E-003	3	1.656E-003	0.19	0.8990	
Special Cubic	3.805E-003	1	3.805E-003	0.41	0.5432	
Cubic	0.016	3	5.377E-003	0.44	0.7382	
Residual	0.049	4	0.012			
Total	62.68	14	4.48			

"Sequential Model Sum of Squares": Select the highest order polynomial where the additional terms are significant.

Lack of Fit Tests

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
<u>Linear</u>	<u>0.061</u>	<u>9</u>	<u>6.781E-003</u>	<u>1.05</u>	<u>0.5800</u>	<u>Suggested</u>
Quadratic	0.056	6	9.344E-003	1.44	0.4646	
Special Cubic	0.052	5	0.010	1.61	0.4257	
Cubic	0.036	2	0.018	2.78	0.2643	
Pure Error	0.013	2	6.489E-003			

"Lack of Fit Tests": Want the selected model to have insignificant lack-of-fit.

Model Summary Statistics

Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS	
<u>Linear</u>	<u>0.082</u>	<u>0.2772</u>	<u>0.1457</u>	<u>-0.1270</u>	<u>0.12</u>	<u>Suggested</u>
Quadratic	0.093	0.3257	-0.0957	-1.1543	0.22	
Special Cubic	0.097	0.3629	-0.1833	-1.7608	0.28	
Cubic	0.11	0.5204	-0.5587	-9.5843	1.08	

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

Se evaluaron distintos órdenes del modelo estadístico, incluyendo los modelos lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico, con el fin de determinar el grado de ajuste de los factores sobre la variable respuesta. Los valores de Prob > F obtenidos fueron 0.1678 para el modelo lineal, 0.8990 para el cuadrático, 0.5432 para el cúbico especial y 0.7382 para el modelo cúbico.

Los resultados evidencian que ninguno de los términos del modelo resultó estadísticamente significativo ($p > 0.05$), lo que indica que las proporciones de harina de amaranto y cáscara de cacao de las variedades CCN-51 y Nacional no ejercen una influencia significativa sobre la humedad final de la galleta dentro del rango de formulación evaluado.

En consecuencia, la humedad del producto presenta un comportamiento relativamente estable frente a las variaciones en la composición de las harinas.

Figura 31.

Evaluación del modelo ANOVA de la humedad

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F
Model	0.028	2	0.014	2.11	0.1678 not significant
Linear Mixture	0.028	2	0.014	2.11	0.1678
Residual	0.074	11	6.728E-003		
Lack of Fit	0.061	9	6.781E-003	1.05	0.5800 not significant
Pure Error	0.013	2	6.489E-003		
Cor Total	0.10	13			
Std. Dev.	0.082	R-Squared	0.2772		
Mean	2.11	Adj R-Squared	0.1457		
C.V.	3.88	Pred R-Squared	-0.1270		
PRESS	0.12	Adeq Precision	4.004		

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

- **Análisis de varianza (ANOVA)**

El modelo de mezcla mostró un valor F de 2.11 y un valor de Prob > F de 0.1678 en el análisis de varianza, lo que señala que no es significativo a nivel estadístico cuando se enfrenta al ruido experimental. Este resultado indica que hay un 16.78 % de probabilidad de que las fluctuaciones en la humedad sean aleatorias.

Por lo tanto, se deduce que la humedad final de la galleta está más afectada por otros elementos no considerados en el modelo, como el tiempo del proceso, las condiciones de horneado o la formulación base del producto, que por las proporciones de cáscara de cacao y harina de amaranto analizadas.

- **Prueba de falta de ajuste (Lack of Fit)**

El análisis de la falta de ajuste mostró un valor F igual a 1.05 y una probabilidad mayor que F de 0.5800. Esto indica que la falta de ajuste no es significativa, lo cual es beneficioso desde el punto de vista estadístico.

Esta conducta sugiere que el modelo se ajusta apropiadamente a los datos obtenidos en experimentos y que la variabilidad notada es, sobre todo, resultado del error puro y no de fallas en la formulación del modelo.

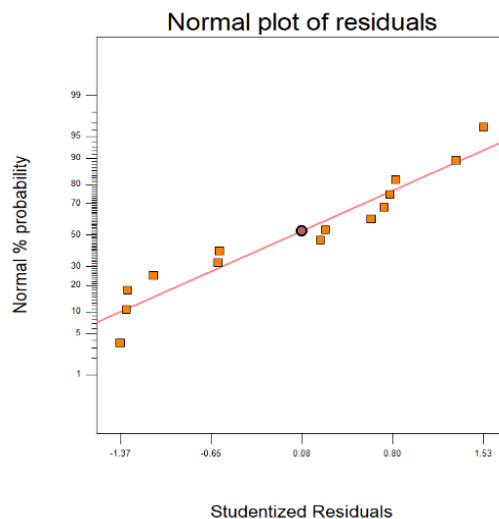
- **Estadísticos del modelo**

Los datos muestran un R^2 de 0.2772, un R^2 ajustado de 0.1457 y un R^2 predicho de -0.1270 . Esto indica que el modelo solo explica una parte restringida de la variabilidad en la humedad.

Que el R^2 predicho sea negativo indica que el promedio general es un predictor más eficaz de la respuesta que el modelo sugerido. Sin embargo, Adeq Precision (4.004) presenta una relación señal-ruido que es suficiente y aceptable para realizar un primer análisis del comportamiento de la variable dentro del rango examinado.

Figura 32.

Evaluación del diagnóstico de residuos de la humedad



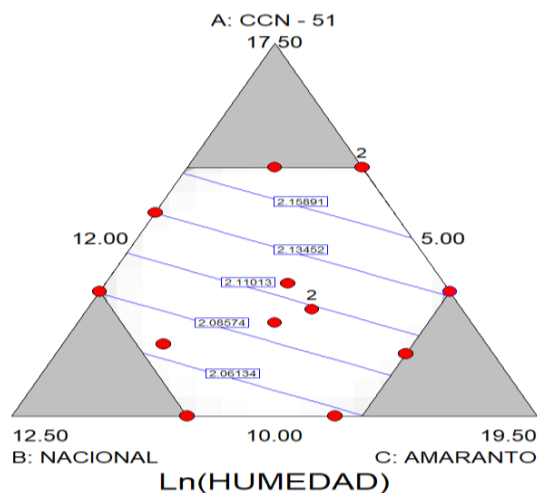
Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

En la figura de probabilidad normal de los residuos muestra un patrón esencialmente lineal, sin valores extremos atípicos, lo cual señala que el supuesto de normalidad se cumple de manera apropiada. Esta conducta valida que los residuos se reparten de forma aleatoria y coherente con las

exigencias del análisis estadístico. Por lo tanto, se confirma que el modelo con la respuesta transformada es válido para la interpretación y examen de los resultados adquiridos.

Figura 33.

Análisis de la figura de contornos de la humedad



Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

El diagrama triangular de Ln(HUMEDAD) muestra que en el dominio experimental no hay zonas críticas relacionadas con niveles altos o bajos de humedad. La respuesta se mantiene relativamente constante en toda la zona de formulación que se evaluó, lo cual la variable tiene un comportamiento estable.

De igual manera, al mezclar harina de amaranto, cáscara de cacao Nacional y cáscara de cacao de la variedad CCN-51 no se observan cambios significativos en el contenido final de humedad.

4.10.3 Determinación de cenizas del proyecto.

Los resultados hallados muestran que el contenido de cenizas en las galletas sin gluten no tiene diferencias significativas en términos estadísticos con respecto a los cambios en los niveles de cáscara de cacao y harina fortificada con amaranto, tanto para las variedades Nacional como para la CCN-51, lo cual lo explican la Tabla 50 y en las Figuras 34, 35, 36, 37 y 38.

Tabla 50.

Resultados de las cenizas de las galletas

Muestras	mínimo	máximo	promedio
14 Galletas	4.02 %	4.96 %	4.45 %

Nota. Elaborado por la autora.

Figura 34.

Transformación de la respuesta de la ceniza

The screenshot shows the 'Transformation' and 'Equation' panels of the Design Expert software. The 'Transformation' panel lists various options, with 'Natural log' selected. The 'Equation' panel displays the equation $y' = \ln(y + k)$ and a graph of a cone. Below the panels, there is a text box explaining the transformation based on the response range and ratio.

Transformation

- None
- Square root
- Natural log
- Base 10 log
- Inverse sqrt
- Inverse
- Power
- Logit
- ArcSin sqrt

Equation

Natural Log (lambda = 0.0)

$y' = \ln(y + k)$

Use when the response is a variance or represents growth data. Required: $(y + k) > 0$.

Response ranges from 4.02 to 4.96. Ratio of max to min is 1.23383. A ratio greater than 10 usually indicates a transformation is required. For ratios less than 3 the power transforms have little effect.

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

La variable ceniza presentó valores entre 4.02 % y 4.96 %, con una relación máximo/mínimo de 1.23, lo que evidencia una variabilidad moderada de los datos.

Figura 35.

Modelo secuencial de suma de cuadrados de la ceniza

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
<u>Mean</u>	<u>31.08</u>	<u>1</u>	<u>31.08</u>			<u>Suggested</u>
Linear	8.683E-003	2	4.341E-003	1.03	0.3878	
<u>Quadratic</u>	<u>0.018</u>	<u>3</u>	<u>6.144E-003</u>	<u>1.77</u>	<u>0.2304</u>	<u>Suggested</u>
Special Cubic	1.108E-003	1	1.108E-003	0.29	0.6063	
Cubic	6.065E-003	3	2.022E-003	0.39	0.7657	
Residual	0.021	4	5.149E-003			
Total	31.14	14	2.22			

Sequential Model Sum of Squares: Select the highest order polynomial where the additional terms are significant.

Lack of Fit Tests

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Linear	0.027	9	2.971E-003	0.31	0.9147	
<u>Quadratic</u>	<u>8.303E-003</u>	<u>6</u>	<u>1.384E-003</u>	<u>0.14</u>	<u>0.9733</u>	<u>Suggested</u>
Special Cubic	7.194E-003	5	1.439E-003	0.15	0.9622	
Cubic	1.129E-003	2	5.646E-004	0.058	0.9452	
Pure Error	0.019	2	9.733E-003			

Lack of Fit Tests: Want the selected model to have insignificant lack-of-fit.

Model Summary Statistics

Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS	
Linear	0.065	0.1582	0.0051	-0.5104	0.083	
<u>Quadratic</u>	<u>0.059</u>	<u>0.4941</u>	<u>0.1778</u>	<u>-0.5786</u>	<u>0.087</u>	<u>Suggested</u>
Special Cubic	0.062	0.5142	0.0979	-0.6640	0.091	
Cubic	0.072	0.6248	-0.2195	-1.7536	0.15	

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

Se examinaron diferentes órdenes del modelo de mezcla, que incluyen el cuadrático, cúbico especial, cúbico y lineal, para estudiar cómo los factores analizados afectan la variable dependiente. Los valores de Prob > F adquiridos fueron 0.3878 para el modelo lineal, 0.2304 para el cuadrático, 0.6063 para el cúbico especial y 0.7657 para el cúbico.

Los resultados indican que ninguno de los modelos analizados tiene una significancia estadística ($p > 0.05$), lo que sugiere que las proporciones relativas de cáscara de cacao Nacional, harina de amaranto y cáscara de cacao CCN-51 no tienen un impacto significativo en la cantidad de cenizas.

Figura 36.

Evaluación del modelo ANOVA de la ceniza

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F
Model	8.683E-003	2	4.341E-003	1.03	0.3878 not significant
Linear Mixture	8.683E-003	2	4.341E-003	1.03	0.3878
Residual	0.046	11	4.200E-003		
Lack of Fit	0.027	9	2.971E-003	0.31	0.9147 not significant
Pure Error	0.019	2	9.733E-003		
Cor Total	0.055	13			
Std. Dev.	0.065	R-Squared	0.1582		
Mean	1.49	Adj R-Squared	0.0051		
C.V.	4.35	Pred R-Squared	-0.5104		
PRESS	0.083	Adeq Precision	2.711		

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

- **Análisis de varianza (ANOVA)**

El modelo de mezcla lineal mostró un valor F de 1.03 y una probabilidad superior a F de 0.3878 en el análisis de varianza, lo que sugiere que el modelo no es estadísticamente significativo en comparación con el ruido experimental. Este hallazgo muestra que existe un 38.78 % de probabilidad de que las fluctuaciones notadas en el contenido cenizas sean aleatorias.

- **Prueba de falta de ajuste (Lack of Fit)**

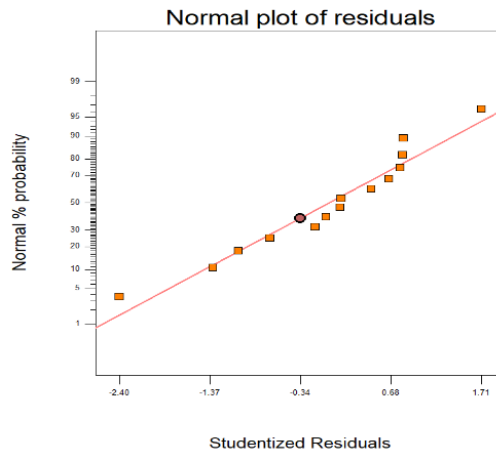
Un valor F de 0,31 y un Prob > F de 0,9147 se obtuvieron en la prueba de falta de ajuste, lo que demuestra que la falta de ajuste no es significativa ($p > 0,05$). Este comportamiento es estadísticamente favorable y evidencia que el modelo representa apropiadamente los datos de la experimentación.

- **Estadísticos del modelo**

Los estadísticos del modelo indican un R^2 de 0.1582, un R^2 ajustado de 0.0051 y un R^2 predicho de -0.5104 ; estos datos sugieren que el modelo solo explica una pequeña parte de la variabilidad total del contenido de cenizas, según lo demuestra el valor negativo del R^2 predicho. Además, Adeq Precision (2.711), que es menor a 4, señala que el modelo no es apto para propósitos de optimización.

Figura 37.

Evaluación del diagnóstico de residuos de la ceniza

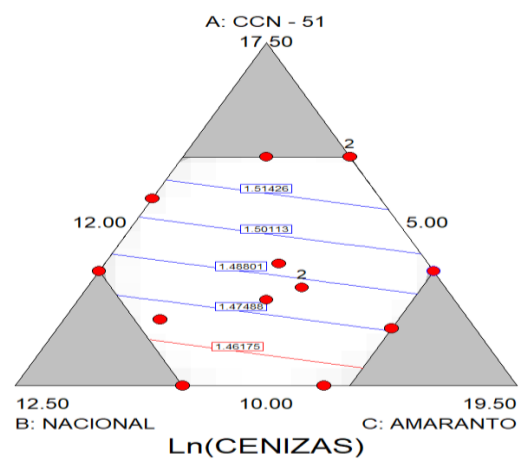


Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

En la figura de probabilidad normal de los residuos muestra una distribución casi lineal y sin valores extremos atípicos, lo cual señala el cumplimiento correcto del supuesto de normalidad. Este comportamiento valida que la transformación logarítmica natural fue adecuada, lo que ratifica la solidez y fiabilidad del análisis estadístico efectuado sobre la variable investigada.

Figura 38.

Análisis de la figura de contornos de la ceniza



Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

La falta de áreas con aumentos bruscos en la cantidad de cenizas dentro del dominio experimental analizado queda en el diagrama triangular de Ln(CENIZAS).

4.10.4 Determinación de proteína de las galletas.

Los análisis estadísticos demostraron que la inclusión de amaranto y cáscara de cacao en las variedades CCN-51 y Nacional no producen alteraciones que tengan significancia estadística en el contenido proteico, lo cual lo explica la Tabla 51.

Tabla 51.

Resultados de las proteínas de las galletas

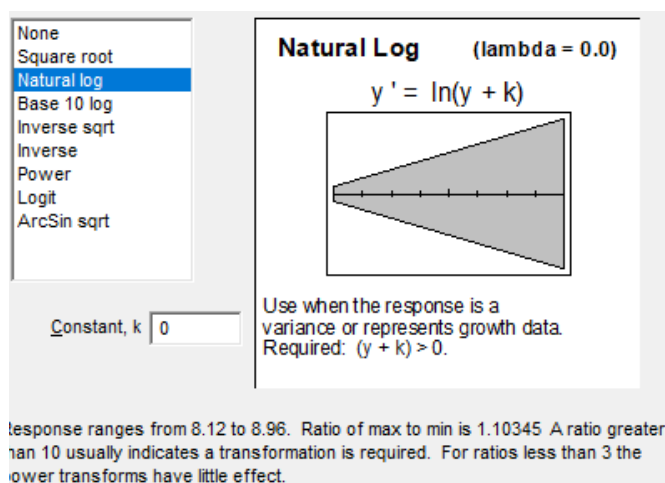
Muestras	mínimo	máximo	promedio
14 Galletas	8.12 %	8.96 %	8.47 %

Nota. Elaborado por la autora.

En las Figuras 39, 40, 41, 42 y 43 se detallan los análisis estadísticos para la variable de proteína de las galletas.

Figura 39.

Transformación de la respuesta de la proteína



Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

La variable proteína presentó valores comprendidos entre 8.12 % y 8.96 %, con una relación máximo/mínimo de 1.10, lo que evidencia una baja variabilidad de los datos.

Figura 40.

Modelo secuencial de suma de cuadrados de la proteína

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Mean	63.85	1	63.85			<u>Suggested</u>
Linear	2.053E-003	2	1.027E-003	0.87	0.4473	
Quadratic	5.160E-003	3	1.720E-003	1.75	0.2347	
Special Cubic	1.766E-003	1	1.766E-003	2.02	0.1979	
Cubic	4.892E-003	3	1.631E-003	5.36	0.0693	<u>Suggested</u>
Residual	1.218E-003	4	3.044E-004			
Total	63.86	14	4.56			

Sequential Model Sum of Squares: Select the highest order polynomial where the additional terms are significant.

Lack of Fit Tests

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Linear	0.012	9	1.374E-003	4.12	0.2104	
Quadratic	7.209E-003	6	1.201E-003	3.60	0.2331	
Special Cubic	5.443E-003	5	1.089E-003	3.27	0.2509	
Cubic	5.510E-004	2	2.755E-004	0.83	0.5475	<u>Suggested</u>
Pure Error	6.667E-004	2	3.333E-004			

Lack of Fit Tests: Want the selected model to have insignificant lack-of-fit.

Model Summary Statistics

Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS	
Linear	0.034	0.1361	-0.0210	-0.5024	0.023	
Quadratic	0.031	0.4781	0.1518	-1.4002	0.036	
Special Cubic	0.030	0.5951	0.2480	-1.8011	0.042	
Cubic	0.017	0.9193	0.7377	-0.8858	0.028	<u>Suggested</u>

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

El análisis secuencial de suma de cuadrados indicó que el modelo cúbico proporciona el mejor ajuste para la variable de proteína, explicando el 91.93 % de su variabilidad. Asimismo, la prueba de falta de ajuste no resultó significativa ($p > 0.05$), lo que confirma la adecuación del modelo.

Los estadísticos de resumen evidenciaron un mayor R^2 ajustado y una menor desviación estándar en comparación con los modelos de menor orden, por lo que el modelo cúbico fue seleccionado para la interpretación y análisis de la respuesta.

Figura 41.

Evaluación del modelo ANOVA de la proteína

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	2.053E-003	2	1.027E-003	0.87	0.4473	not significant
Linear Mixture	2.053E-003	2	1.027E-003	0.87	0.4473	
Residual	0.013	11	1.185E-003			
Lack of Fit	0.012	9	1.374E-003	4.12	0.2104	not significant
Pure Error	6.667E-004	2	3.333E-004			
Cor Total	0.015	13				

Std. Dev.	0.034	R-Squared	0.1361
Mean	2.14	Adj R-Squared	-0.0210
C.V.	1.61	Pred R-Squared	-0.5024
PRESS	0.023	Adeq Precision	2.404

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

- **Análisis de varianza (ANOVA)**

El modelo de mezcla lineal mostró un valor F de 0.87 y una probabilidad superior a F (Prob > F) de 0.4473 en el análisis de varianza, lo que sugiere que el modelo no tiene significancia estadística. Este resultado demuestra que existe un 44.73 % de probabilidad de que las fluctuaciones detectadas en la cantidad de proteína sean aleatorias. Por lo tanto, se deduce que el contenido proteico del producto final es estable y no varía significativamente según las proporciones.

- **Prueba de falta de ajuste (Lack of Fit)**

La falta de ajuste no es estadísticamente significativa ($p > 0.05$), según lo evidenció la prueba de falta de ajuste, que presentó un valor F de 4.12 y un Prob > F de 0.2104. Esta conducta muestra que el modelo representa apropiadamente la conducta experimental de la variable y que, en gran medida, la variabilidad observada se debe a errores puros y no a fallos en la formulación del modelo matemático.

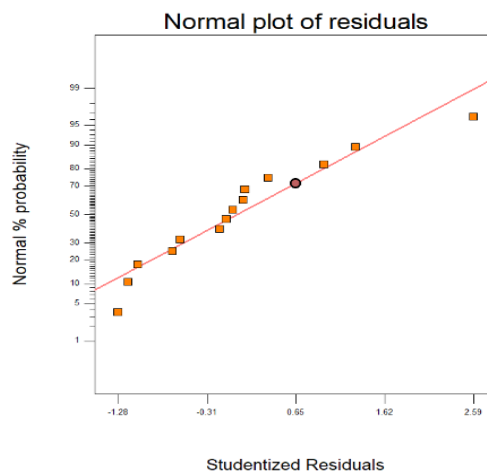
- **Estadísticos del modelo**

Los estadísticos del modelo demuestran un R^2 de 0.1361, un R^2 modificado de -0.0210 y un R^2 pronosticado de -0.5024 . Esto revela que el modelo solo explica una porción reducida de la variabilidad en el contenido

proteico. Los valores negativos de R^2 ajustado y predicho corroboran que el promedio general es un predictor de respuesta más efectivo que el modelo ajustado. Además, el hecho de que el valor de Adeq Precision (2.404) sea menor a 4 señala que el modelo no es apropiado para propósitos de optimización.

Figura 42.

Evaluación del diagnóstico de residuos de la proteína

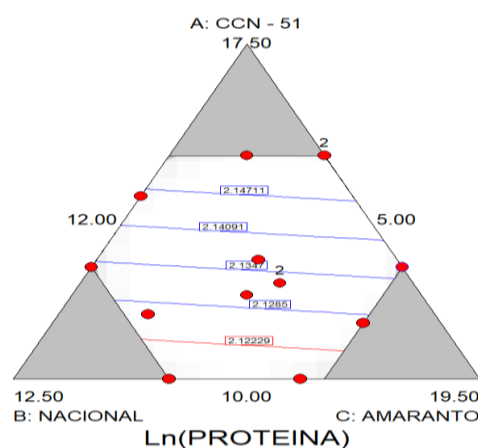


Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

La figura de probabilidad normal de los residuos presenta una distribución casi lineal y no tiene valores atípicos extremos, lo que evidencia el cumplimiento de la hipótesis de normalidad.

Figura 43.

Análisis de la figura de contornos de la proteína



Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

El contenido proteico se presenta de manera relativamente uniforme en toda la región experimental estudiada, como se puede observar en el diagrama triangular de Ln(PROTEÍNA). No se detectan áreas vinculadas a aumentos o reducciones bruscas de proteína, lo que señala que la respuesta es estable.

4.10.5 Determinación de extracto no nitrogenado de las galletas.

Según el análisis estadístico, las fluctuaciones en los niveles de harina fortificada de amaranto y cáscara de cacao, pertenecientes a las variedades Nacional y CCN-51, no producen alteraciones significativas desde el punto de vista estadístico en la cantidad de extracto no nitrogenado que contienen las galletas sin gluten, lo cual lo explica en la Tabla 52.

Tabla 52.

Resultados del extracto no nitrogenado de las galletas

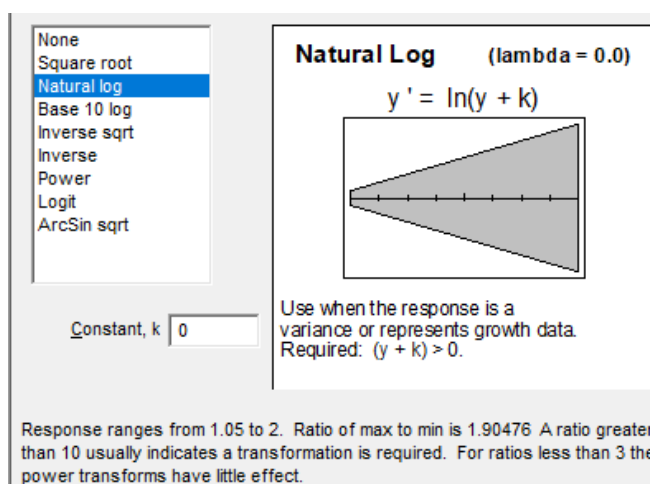
Muestras	mínimo	máximo	promedio
14 Galletas	1.05 %	2.00 %	1.53 %

Nota. Elaborado por la autora.

En las Figuras 44, 45, 46, 47 y 48 se detallan los análisis estadísticos para la variable de extracto no nitrogenado de las galletas.

Figura 44.

Transformación de la respuesta del extracto no nitrogenado



Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

Los valores de la variable extracto no nitrogenado (E.N.) fueron desde 1.05 % hasta 2.00 %, con una proporción mínima/máxima de 1.90, lo cual muestra que los datos tenían una variabilidad moderada.

Figura 45.

Modelo secuencial de suma de cuadrados del extracto no nitrogenado

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Mean	2.27	1	2.27			<u>Suggested</u>
Linear	0.25	2	0.13	3.38	0.0719	<u>Suggested</u>
Quadratic	0.099	3	0.033	0.85	0.5056	
Special Cubic	0.027	1	0.027	0.67	0.4412	
Cubic	0.085	3	0.028	0.57	0.6663	
Residual	0.20	4	0.050			
Total	2.93	14	0.21			

Lack of Fit Tests						
Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Linear	0.33	9	0.037	0.98	0.6012	<u>Suggested</u>
Quadratic	0.24	6	0.039	1.04	0.5671	
Special Cubic	0.21	5	0.042	1.10	0.5395	
Cubic	0.12	2	0.062	1.63	0.3798	
Pure Error	0.076	2	0.038			

Model Summary Statistics						
Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS	
Linear	0.19	0.3803	0.2677	-0.0203	0.68	<u>Suggested</u>
Quadratic	0.20	0.5298	0.2359	-0.6293	1.08	
Special Cubic	0.20	0.5707	0.2027	-1.1199	1.40	
Cubic	0.22	0.6985	0.0202	-9.7308	7.10	

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

Para examinar el impacto que tienen las proporciones de los componentes sobre la variable respuesta, se evaluaron diferentes órdenes del modelo de mezcla, entre ellos el lineal, el cuadrático, el cúbico y el cúbico especial.

Para el modelo lineal, los valores de Prob>F 0.0719; para el cuadrático de 0.5056; para el cúbico especial de 0.4412; y para el cúbico de 0.6663, esto muestra que ninguno de los modelos logra significancia estadística cuando el nivel es $p < 0.05$. Sin embargo, el modelo lineal muestra un valor próximo al límite de significación ($p = 0.0719$), lo que indica una tendencia débil pero no definitiva en la manera en que las proporciones de los componentes de la mezcla afectan el contenido de extracto no nitrogenado.

Figura 46.

Evaluación del modelo ANOVA del extracto no nitrogenado

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	0.25	2	0.13	3.38	0.0719	not significant
Linear Mixture	0.25	2	0.13	3.38	0.0719	
Residual	0.41	11	0.037			
Lack of Fit	0.33	9	0.037	0.98	0.6012	not significant
Pure Error	0.076	2	0.038			
Cor Total	0.66	13				

Std. Dev.	0.19	R-Squared	0.3803
Mean	0.40	Adj R-Squared	0.2677
C.V.	47.99	Pred R-Squared	-0.0203
PRESS	0.68	Adeq Precision	5.091

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

- **Análisis de varianza (ANOVA)**

El modelo de mezcla lineal, según el análisis de varianza, mostró un valor F de 3.38 y un Prob > F de 0.0719, lo cual sugiere que el modelo no tiene significación estadística frente al ruido experimental cuando se establece un nivel de confianza del 95 %.

Este valor, sin embargo, que está cerca del límite de significación, muestra un 7.19 % de probabilidad de que las fluctuaciones en el extracto no nitrogenado (E.N.N.) sean producto del azar.

- **Prueba de falta de ajuste (Lack of Fit)**

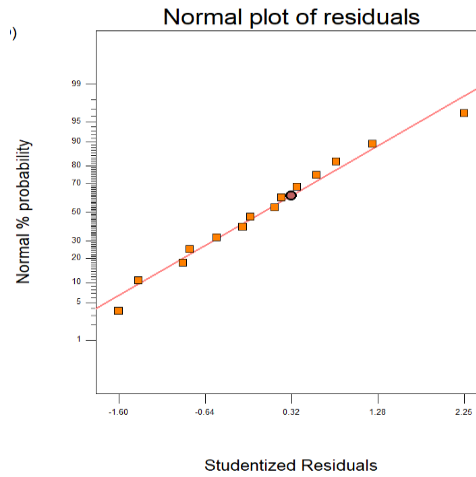
Los resultados de la prueba de falta de ajuste mostraron un valores F de 0.98 y un Prob > F de 0.6012, lo que indica que la falta de ajuste no es significativa ($p > 0.05$). Este resultado sugiere que el modelo se acopla correctamente a los datos obtenidos en experimentos.

- **Estadísticos del modelo**

Los estadísticos del modelo señalan un R^2 de 0.3803, lo que significa que el modelo explica alrededor del 38 % de la variabilidad en el contenido de E.N.N. El R^2 ajustado (0.2677) positivo sugiere una moderada adecuación del modelo; por otro lado, el R^2 predicho (-0.0203), levemente negativo, señala que el promedio general sigue siendo un predictor similar al modelo ajustado.

Figura 47.

Evaluación del diagnóstico de residuos del extracto no nitrogenado

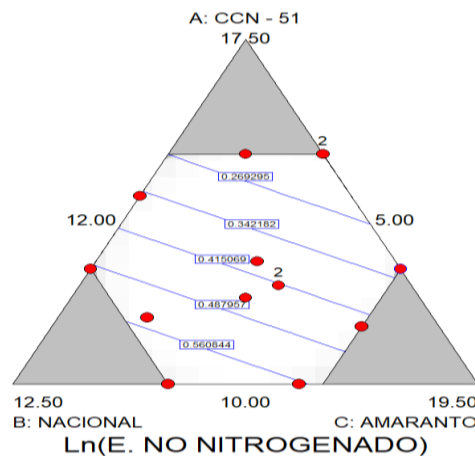


Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

La probabilidad normal de los residuos, representada en un Figura, muestra una distribución casi lineal y no presenta valores extremos atípicos; con esto se verifica que el supuesto de normalidad se cumple. Esta conducta confirma que el análisis estadístico aplicado a la respuesta transformada Ln(E.N.N.) es fiable y consistente en los resultados conseguidos.

Figura 48.

Análisis de la figura de contornos del extracto no nitrogenado



Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

El contenido de extracto no nitrogenado (E.N.N.) se muestra relativamente uniforme en toda la zona experimental analizada, no se detectan áreas críticas que estén vinculadas a aumentos o reducciones bruscas de esta variable.

4.10.6 Determinación de extracto etéreo de las galletas.

De acuerdo con los resultados del análisis estadístico, los cambios en las concentraciones de harina fortificada de amaranto y cáscara de cacao CCN-51 y Nacional no producen alteraciones significativas, lo cual lo explica en la Tabla 53.

Tabla 53.

Resultados del extracto etéreo de las galletas

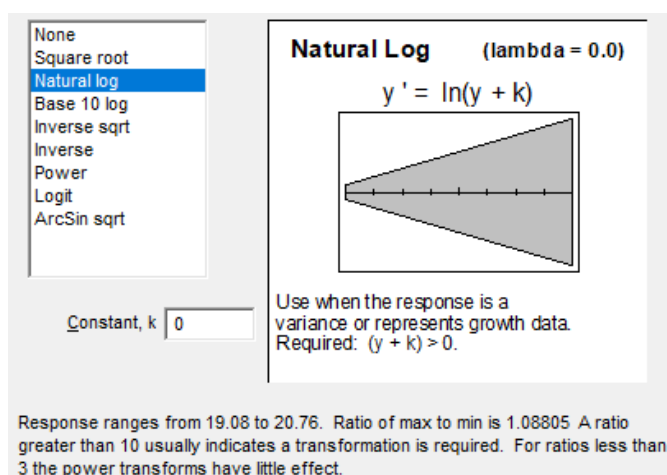
Muestras	mínimo	máximo	promedio
14 Galletas	19.08 %	20.76 %	19.83 %

Nota. Elaborado por la autora.

En las Figuras 49, 50, 51, 52 y 53 se detallan los análisis estadísticos para la variable de extracto etéreo de las galletas.

Figura 49.

Transformación de la respuesta del extracto etéreo



Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

La variable extracto etéreo presentó valores entre 19.08 % y 20.76 %, con una relación máximo/mínimo de 1.08, lo que evidencia una baja variabilidad de los datos.

Figura 50.

Modelo secuencial de suma de cuadrados del extracto etéreo

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	Suggested
Mean	124.92	1	124.92			
Linear	5.638E-004	2	2.819E-004	0.44	0.6539	
Quadratic	4.009E-004	3	1.336E-004	0.16	0.9193	
Special Cubic	3.509E-005	1	3.509E-005	0.037	0.8523	
Cubic	1.653E-003	3	5.510E-004	0.45	0.7329	
Residual	4.932E-003	4	1.233E-003			
Total	124.93	14	8.92			

Sequential Model Sum of Squares: Select the highest order polynomial where the additional terms are significant.

Lack of Fit Tests

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F
Linear	2.258E-003	9	2.508E-004	0.11	0.9939
Quadratic	1.857E-003	6	3.094E-004	0.13	0.9779
Special Cubic	1.822E-003	5	3.643E-004	0.15	0.9598
Cubic	1.685E-004	2	8.426E-005	0.035	0.9658
Pure Error	4.763E-003	2	2.382E-003		

Lack of Fit Tests: Want the selected model to have insignificant lack-of-fit.

Model Summary Statistics

Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS
Linear	0.025	0.0743	-0.0940	-0.3957	0.011
Quadratic	0.029	0.1272	-0.4183	-1.5360	0.019
Special Cubic	0.031	0.1318	-0.6123	-2.1140	0.024
Cubic	0.035	0.3498	-1.1133	-1.4458	0.019

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

La valoración del modelo estadístico a través del análisis secuencial de sumas de cuadrados demostró que no hubo significancia estadística en ninguno de los modelos de mezcla analizados (cúbico, cúbico especial, cuadrático y lineal), ya que en cada uno de los casos los valores de Prob > F fueron mayores que 0.05.

Estos hallazgos muestran que, en el marco del rango experimental analizado, las proporciones relativas de cáscara de cacao y harina de amaranto de las variedades Nacional y CCN-51 no afectan significativamente la cantidad de grasa presente en el producto final. Por lo tanto, la variable

grasa exhibe una conducta estable y una sensibilidad baja ante los cambios en la formulación de las galletas sin gluten.

Figura 51.

Evaluación del modelo ANOVA del extracto etéreo

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F
Model	5.638E-004	2	2.819E-004	0.44	0.6539 not significant
Linear Mixture	5.638E-004	2	2.819E-004	0.44	0.6539
Residual	7.021E-003	11	6.383E-004		
Lack of Fit	2.258E-003	9	2.508E-004	0.11	0.9939 not significant
Pure Error	4.763E-003	2	2.382E-003		
Cor Total	7.585E-003	13			

Std. Dev.	0.025	R-Squared	0.0743
Mean	2.99	Adj R-Squared	-0.0940
C.V.	0.85	Pred R-Squared	-0.3957
PRESS	0.011	Adeq Precision	1.825

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

- **Análisis de varianza (ANOVA)**

El valor de F del ANOVA del modelo de mezcla lineal para el contenido de extracto etéreo fue 0.44 y la probabilidad de (Prob > F) fue 0.6539. Esto indica que el modelo no tiene significancia estadística en comparación con el ruido experimental. Esto significa que hay un 65.39 % de posibilidades de que las fluctuaciones encontradas en el contenido graso sean aleatorias.

- **Prueba de falta de ajuste (Lack of Fit)**

La prueba de falta de ajuste reveló un valor de F = 0.11 con una probabilidad superior a F (Prob > F) igual a 0.9939, lo que sugiere que la falta de ajuste no es importante. Este hallazgo señala que el modelo representa de manera apropiada los datos experimentales.

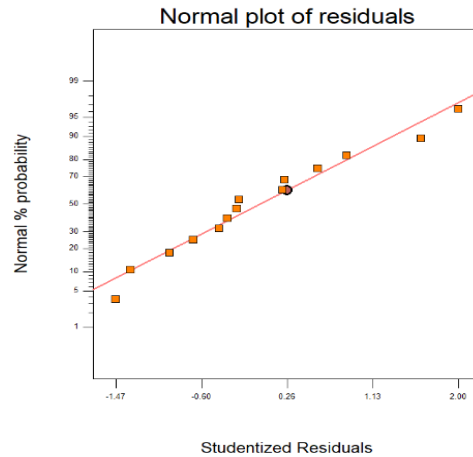
- **Estadísticos del modelo**

Se observó un coeficiente de determinación $R^2 = 0.0743$ en los estadísticos del modelo, con valores de R^2 ajustado = -0.0940 y R^2 predicho a -0.3957 . El modelo no es apropiado para optimización, a pesar de que es apto para un análisis descriptivo del comportamiento de la variable en el rango

experimental evaluado, ya que Adeq Precision = 1.825, que está por debajo del umbral sugerido de 4.

Figura 52.

Evaluación del diagnóstico de residuos del extracto etéreo

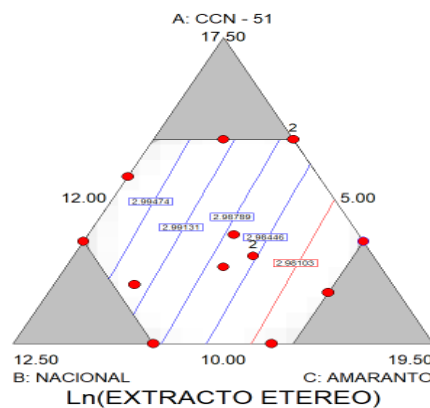


Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

La gráfica de probabilidad normal de los residuos para la variable Ln(EXTRACTO ETÉREO) presenta una distribución casi lineal y no tiene valores extremos atípicos, lo cual sugiere que se cumple adecuadamente el supuesto de normalidad. Esta conducta avala que los residuos se reparten de forma simétrica y aleatoria, lo cual valida estadísticamente el uso del análisis sobre la respuesta transformada y la conveniencia del modelo para caracterizar el comportamiento del contenido graso en las galletas sin gluten.

Figura 53.

Análisis de la figura de contornos del extracto etéreo



Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

El diagrama triangular que representa la respuesta Ln(EXTRACTO ETÉREO) muestra que la cantidad de grasa permanece casi constante en toda el área experimental. No se observan áreas críticas con aumentos o descensos notables del extracto etéreo, lo que sugiere que esta variable es poco sensible a las proporciones relativas de los elementos de la mezcla.

4.10.7 Determinación de ácidos grasos de las galletas.

La evaluación estadística demostró que las fluctuaciones en los niveles de cáscara de cacao y harina enriquecida de amaranto de las variedades Nacional y CCN-51 no producen alteraciones en el contenido de ácidos grasos de las galletas sin gluten que sean significativas, lo cual lo explica la Tabla 54.

Tabla 54.

Resultados de los ácidos grasos de las galletas

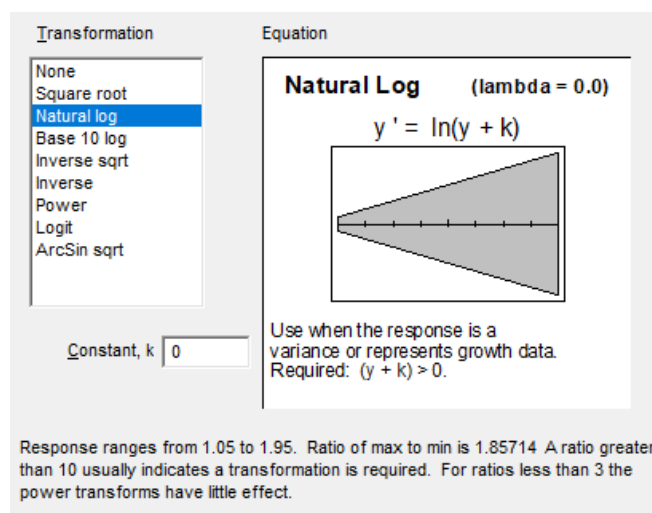
Muestras	mínimo	máximo	promedio
14 Galletas	1.05 %	1.95 %	1.56 %

Nota. Elaborado por la autora.

En las Figuras 54, 55, 56, 57 y 58 se detallan los análisis estadísticos para la variable de ácidos grasos de las galletas.

Figura 54.

Transformación de la respuesta del ácido grasos



Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

La variable ácidos grasos presentó valores entre 1.05 % y 1.96 %, con una razón máximo/mínimo = 1.86, lo que indica una variabilidad moderada.

Figura 55.

Modelo secuencial de suma de cuadrados del ácido grasos

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Mean	2.63	1	2.63			<u>Suggested</u>
Linear	0.067	2	0.034	1.06	0.3783	<u>Suggested</u>
Quadratic	0.062	3	0.021	0.58	0.6468	
Special Cubic	0.017	1	0.017	0.44	0.5292	
Cubic	0.064	3	0.021	0.41	0.7538	
Residual	0.21	4	0.051			
Total	3.04	14	0.22			

"Sequential Model Sum of Squares": Select the highest order polynomial where the additional terms are significant.

Lack of Fit Tests

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Linear	0.33	9	0.037	4.13	0.2102	<u>Suggested</u>
Quadratic	0.27	6	0.045	5.03	0.1750	
Special Cubic	0.25	5	0.050	5.66	0.1569	
Cubic	0.19	2	0.094	10.57	0.0864	
Pure Error	0.018	2	8.881E-003			

"Lack of Fit Tests": Want the selected model to have insignificant lack-of-fit.

Model Summary Statistics

Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS	
Linear	0.18	0.1620	0.0096	-0.0954	0.45	<u>Suggested</u>
Quadratic	0.19	0.3108	-0.1199	-0.3693	0.57	
Special Cubic	0.20	0.3514	-0.2045	-0.3738	0.57	
Cubic	0.23	0.5046	-0.6101	-17.9594	7.87	

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

Para examinar el impacto que tienen las proporciones de los componentes sobre la variable respuesta, se evaluaron diferentes órdenes del modelo de mezcla, entre ellos el lineal, el cuadrático, el cúbico y el cúbico especial. Los resultados de los modelos lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico, fueron los siguientes Prob > F: 0.3783; 0.6468; 0,5292 y 0.7538. Los datos muestran que no se encontró significancia estadística ($p > 0,05$) en ninguno de los modelos analizados.

Esto significa que las proporciones relativas de harina fortificada de amaranto y cáscara de cacao CCN-51 y Nacional no tienen un impacto.

Figura 56.

Evaluación del modelo ANOVA del ácido grasos

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	0.067	2	0.034	1.06	0.3783	not significant
<i>Linear Mixture</i>	0.067	2	0.034	1.06	0.3783	
Residual	0.35	11	0.032			
<i>Lack of Fit</i>	0.33	9	0.037	4.13	0.2102	not significant
<i>Pure Error</i>	0.018	2	8.881E-003			
Cor Total	0.41	13				

Std. Dev.	0.18	R-Squared	0.1620
Mean	0.43	Adj R-Squared	0.0096
C.V.	41.03	Pred R-Squared	-0.0954
PRESS	0.45	Adeq Precision	2.742

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

- **Análisis de varianza (ANOVA)**

El modelo de mezcla lineal tuvo un valor F de 1.06 y una probabilidad mayor a F de 0.3783, lo que señala que el modelo no es estadísticamente significativo en comparación con el ruido experimental.

Esta conclusión demuestra que hay un 37.83 % de probabilidades de que las fluctuaciones observadas en el contenido de ácidos grasos (extracto etéreo) sean producto del azar.

- **Prueba de falta de ajuste (Lack of Fit)**

Un valor F de 4.13 y un Prob > F de 0.2102 fueron los resultados de la prueba de falta de ajuste, lo que indica que la falta de ajuste no es estadísticamente significativa ($p > 0.05$).

Este comportamiento señala que el modelo representa de forma apropiada los datos obtenidos experimentalmente y que la variabilidad observada se debe sobre todo a un error puro, no a fallos en la formulación matemática del modelo.

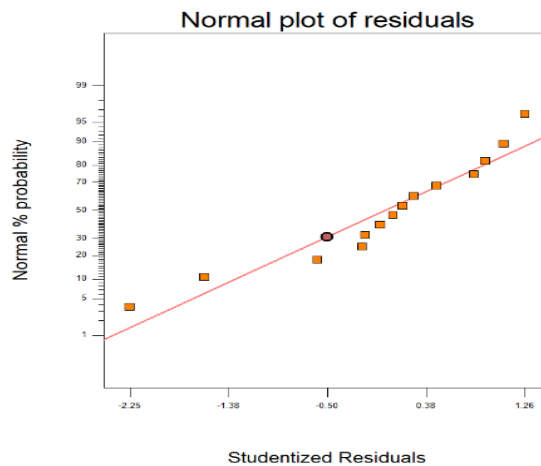
- **Estadísticos del modelo**

Se observa que el modelo explica solamente un pequeño porcentaje de la variabilidad del contenido de ácidos grasos, ya que los datos estadísticos

muestran un R^2 de 0.1620, un R^2 ajustado de 0.0096 y un R^2 predicho de -0.0954 . El hecho de que el R^2 ajustado esté próximo a cero y el R^2 predicho sea negativo. Además, el valor de Adeq Precision (2.742), que es menor a 4, señala que el modelo no sirve para propósitos de optimización.

Figura 57.

Evaluación del diagnóstico de residuos del ácido grasos

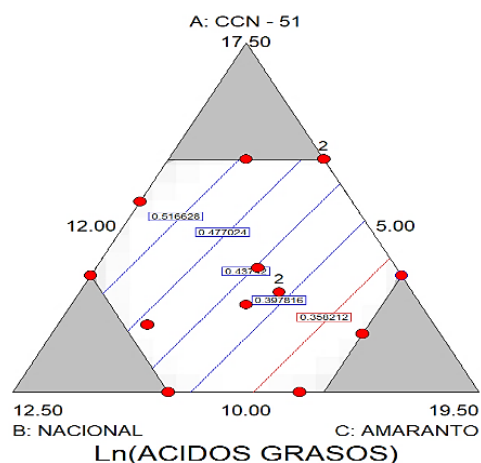


Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

La probabilidad normal de los residuos, representada en un Figura, muestra una distribución casi lineal y no presenta valores extremos atípicos; con esto se verifica que el supuesto de normalidad se cumple.

Figura 58.

Análisis de la figura de contornos del ácido grasos



Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

El contenido de ácidos grasos se mantiene uniforme en toda la región experimental analizada, según lo muestra el diagrama triangular de Ln(ácidos grasos). No se detectan áreas críticas que estén vinculadas a aumentos o reducciones bruscas de esta variable. Además, no se observan distinciones significativas en la cantidad de ácidos grasos de la galleta sin gluten al emplear diferentes mezclas de harina.

4.10.8 Determinación de fibra de las galletas.

El análisis de la estadística mostró que las fluctuaciones en los niveles de harina fortificada de amaranto y cáscara de cacao CCN-51 y Nacional no producen alteraciones estadísticamente significativas en el contenido de fibra de las galletas sin gluten. Lo cual sugiere son aptas para ser integradas en diversas proporciones sin poner en riesgo la contribución de la fibra dietética, lo cual lo explica en la Tabla 55.

Tabla 55.

Resultados de la fibra de las galletas

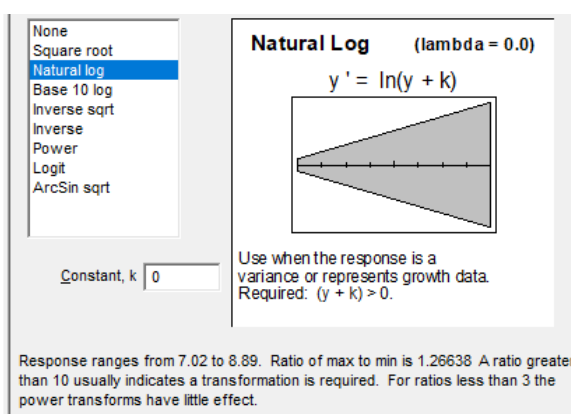
Muestras	mínimo	máximo	promedio
14 Galletas	7.02 %	8.89 %	8.02 %

Nota. Elaborado por la autora.

En las Figuras 59, 60, 61, 62 y 63 se detallan los análisis estadísticos para la variable de fibra de las galletas.

Figura 59.

Transformación de la respuesta de la fibra



Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

La variable fibra presentó valores comprendidos entre 7.02 % y 8.89 %, con una relación máximo/mínimo de 1.27, lo que evidencia una variabilidad moderada de los datos.

Figura 60.

Modelo secuencial de suma de cuadrados de la fibra

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
<u>Mean</u>	<u>60.58</u>	<u>1</u>	<u>60.58</u>			<u>Suggested</u>
Linear	1.300E-003	2	6.502E-004	0.13	0.8827	
Quadratic	0.023	3	7.764E-003	1.86	0.2148	
Special Cubic	7.154E-003	1	7.154E-003	1.91	0.2097	
<u>Cubic</u>	<u>0.017</u>	<u>3</u>	<u>5.564E-003</u>	<u>2.33</u>	<u>0.2160</u>	<u>Suggested</u>
Residual	9.557E-003	4	2.389E-003			
Total	60.64	14	4.33			

'Sequential Model Sum of Squares': Select the highest order polynomial where the additional terms are significant.

Lack of Fit Tests

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Linear	0.056	9	6.187E-003	12.18	0.0781	
Quadratic	0.032	6	5.398E-003	10.63	0.0885	
Special Cubic	0.025	5	5.047E-003	9.94	0.0939	
<u>Cubic</u>	<u>8.542E-003</u>	<u>2</u>	<u>4.271E-003</u>	<u>8.41</u>	<u>0.1063</u>	<u>Suggested</u>
Pure Error	1.016E-003	2	5.078E-004			

'Lack of Fit Tests': Want the selected model to have insignificant lack-of-fit.

Model Summary Statistics

Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS	
Linear	0.072	0.0224	-0.1553	-0.6935	0.098	
Quadratic	0.065	0.4240	0.0641	-1.5975	0.15	
Special Cubic	0.061	0.5474	0.1594	-1.9801	0.17	
<u>Cubic</u>	<u>0.049</u>	<u>0.8352</u>	<u>0.4644</u>	<u>-8.0130</u>	<u>0.52</u>	<u>Suggested</u>

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

Se examinaron diferentes órdenes del modelo, el cual se obtuvo un valor de Prob > F de 0.8827; para el cuadrático fue 0.2148; para el cúbico especial, 0.2097 y para el cúbico, 0.2160. Los resultados muestran que ninguno de los modelos analizados llega a ser estadísticamente significativo ($p > 0.05$). A pesar de que el modelo cúbico tuvo la cifra de F (2.33), no fue suficiente para llegar a ser estadísticamente significativo.

Figura 61.

Evaluación del modelo ANOVA de la fibra

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	1.300E-003	2	6.502E-004	0.13	0.8827	not significant
Linear Mixture	1.300E-003	2	6.502E-004	0.13	0.8827	
Residual	0.057	11	5.154E-003			
Lack of Fit	0.056	9	6.187E-003	12.18	0.0781	not significant
Pure Error	1.016E-003	2	5.078E-004			
Cor Total	0.058	13				
Std. Dev.	0.072		R-Squared	0.0224		
Mean	2.08		Adj R-Squared	-0.1553		
C.V.	3.45		Pred R-Squared	-0.6935		
PRESS	0.098		Adeq Precision	0.988		

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

- **Análisis de varianza (ANOVA)**

El análisis de varianza del modelo de mezcla lineal mostró un valor F igual a 0.13 y una probabilidad superior a F de 0.8827. Esto señala que el modelo no tiene significación estadística en comparación con el ruido experimental. Este resultado muestra que existe un 88.27 % de probabilidad de que las fluctuaciones detectadas en el contenido de fibra sean aleatorias.

- **Prueba de falta de ajuste (Lack of Fit)**

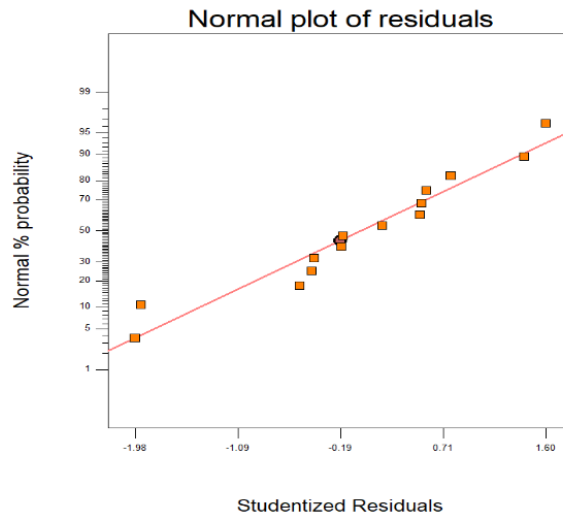
El análisis de la falta de ajuste mostró un valor F de 12.18 y un Prob > F de 0.0781, lo que sugiere que no es significativa al nivel $p < 0.05$, pero está cerca del límite de significancia.

- **Estadísticos del modelo**

Los estadísticos del modelo revelan un R^2 de 0.0224, un R^2 ajustado de -0.1553 y un R^2 predicho de -0.6935. Esto señala que el modelo solo explica una parte muy pequeña de la variabilidad en el contenido de fibra. Además, el valor de Adeq Precision (0.988), que es menor a 4, señala que el modelo no es apto para propósitos de optimización.

Figura 62.

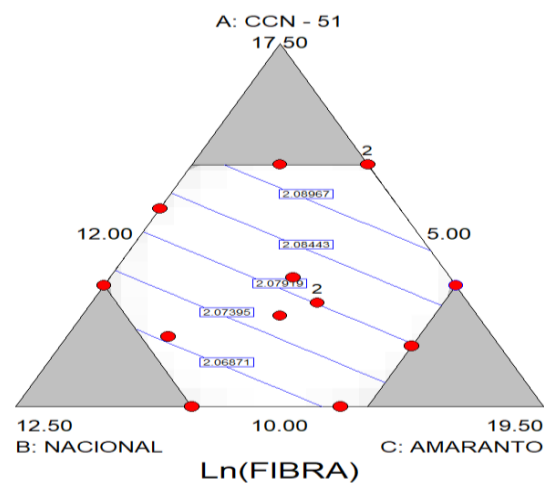
Evaluación del diagnóstico de residuos de la fibra



Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

El diagrama de probabilidad normal de los residuos muestra una distribución más o menos lineal, sin la existencia de valores extremos atípicos, lo cual señala que el supuesto de normalidad se cumple razonablemente. Esta conducta comprueba que la variable fibra fue adecuada con la transformación logarítmica natural (Ln), lo cual valida el análisis estadístico llevado a cabo sobre la respuesta Ln(FIBRA).

Figura 63. Análisis de la figura de contornos de la fibra



Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

En la figura triangular de la respuesta Ln(FIBRA) indica que el contenido de fibra permanece más o menos uniforme en toda la zona experimental analizada. No se detectan áreas críticas con aumentos o reducciones repentinas, lo cual sugiere una reacción estable ante las variaciones en la formulación.

4.10.9 Determinación de pH de las galletas.

El análisis estadístico reveló que el pH de las galletas sin gluten se ve afectado de forma significativa desde el punto de vista estadístico por los cambios en los niveles de harina enriquecida con amaranto y cáscara de cacao CCN-51 y Nacional, lo cual lo explica la Tabla 56.

Tabla 56.

Resultados del pH de las galletas

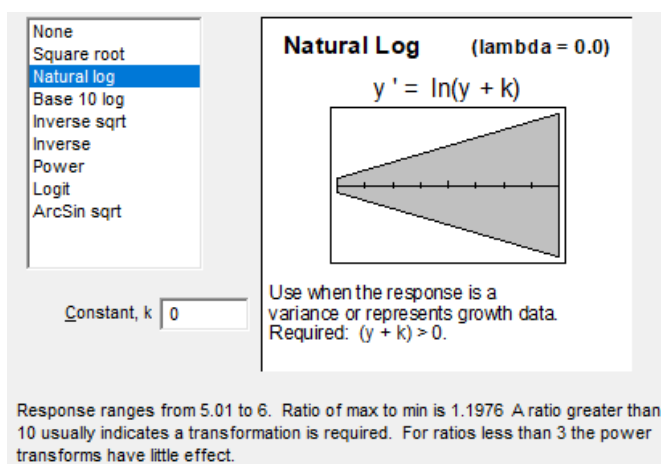
Muestras	mínimo	máximo	promedio
14 Galletas	5.01 %	6.00 %	5.51 %

Nota. Elaborado por la autora.

En las Figuras 64, 65, 66, 67 y 68 se detallan los análisis estadísticos para la variable de pH de las galletas.

Figura 64.

Transformación de la respuesta del pH



Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

La variable pH presentó valores comprendidos entre 5.01 y 6.00, con una razón máximo/mínimo de 1.20, lo que evidencia una variabilidad baja a moderada.

Figura 65.

Modelo secuencial de suma de cuadrados del pH

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Mean	40.68	1	40.68			
<u>Linear</u>	<u>0.028</u>	2	<u>0.014</u>	<u>5.98</u>	<u>0.0175</u>	<u>Suggested</u>
Quadratic	8.147E-003	3	2.716E-003	1.23	0.3616	
Special Cubic	1.292E-005	1	1.292E-005	5.108E-003	0.9450	
Cubic	5.438E-003	3	1.813E-003	0.59	0.6527	
Residual	0.012	4	3.065E-003			
Total	40.74	14	2.91			

"Sequential Model Sum of Squares": Select the highest order polynomial where the additional terms are significant.

Lack of Fit Tests

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
<u>Linear</u>	<u>0.022</u>	9	<u>2.452E-003</u>	<u>1.30</u>	<u>0.5095</u>	<u>Suggested</u>
Quadratic	0.014	6	2.321E-003	1.23	0.5139	
Special Cubic	0.014	5	2.782E-003	1.47	0.4521	
Cubic	8.474E-003	2	4.237E-003	2.24	0.3088	
Pure Error	3.786E-003	2	1.893E-003			

"Lack of Fit Tests": Want the selected model to have insignificant lack-of-fit.

Model Summary Statistics

Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS	
<u>Linear</u>	<u>0.048</u>	<u>0.5209</u>	<u>0.4338</u>	<u>0.2482</u>	<u>0.041</u>	<u>Suggested</u>
Quadratic	0.047	0.6719	0.4668	-0.2732	0.069	
Special Cubic	0.050	0.6721	0.3910	-0.7760	0.096	
Cubic	0.055	0.7729	0.2618	-9.1094	0.55	

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

La evaluación secuencial de los modelos de mezcla mostró que el modelo lineal fue el único en mostrar una significancia estadística $p < 0.05$, lo que sugiere que las proporciones relativas de harina fortificada con amaranto y cáscara de cacao, provenientes de las variedades CCN-51 y Nacional, tienen un impacto significativo en el pH de las galletas sin gluten.

Los modelos de orden superior, como el cuadrático y el cúbico, no demostraron avances importantes en la adaptación del modelo; por ello, no brindan información adicional significativa para explicar cómo se comporta la variable. Por lo tanto, el modelo lineal toma en cuenta el pH dentro del

intervalo experimental analizado, lo que posibilita determinar las variaciones en la proporción relativa de los elementos constitutivos de la mezcla.

Figura 66.

Evaluación del modelo ANOVA del pH

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	0.028	2	0.014	5.98	0.0175	significant
<i>Linear Mixture</i>	0.028	2	0.014	5.98	0.0175	
Residual	0.026	11	2.351E-003			
<i>Lack of Fit</i>	0.022	9	2.452E-003	1.30	0.5095	not significant
<i>Pure Error</i>	3.786E-003	2	1.893E-003			
Cor Total	0.054	13				
Std. Dev.	0.048		R-Squared	0.5209		
Mean	1.70		Adj R-Squared	0.4338		
C.V.	2.84		Pred R-Squared	0.2482		
PRESS	0.041		Adeq Precision	6.540		

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

- **Análisis de varianza (ANOVA)**

El modelo de mezcla lineal fue sometido a un análisis de varianza en la variable pH, el cual el modelo tiene significación estadística de $p < 0.05$. Esto señala que las fluctuaciones del pH en las galletas sin gluten no son aleatorias.

La baja probabilidad vinculada al estadístico F corrobora que las proporciones relativas de harina fortificada con amaranto y cáscara de cacao de las variedades CCN-51 y Nacional tienen un impacto real y cuantificable en el pH del producto final, lo cual demuestra la sensibilidad de esta variable ante variaciones en la formulación.

- **Prueba de falta de ajuste (Lack of Fit)**

La prueba de falta de ajuste no fue estadísticamente significativa ($p > 0.05$), lo que indica que el modelo lineal se adapta correctamente a los datos obtenidos en el experimento.

Este resultado muestra que la variabilidad en el pH se debe sobre todo al error puro, no a fallas en la estructura matemática del modelo, lo cual valida su empleo para describir cómo se comporta experimentalmente la respuesta.

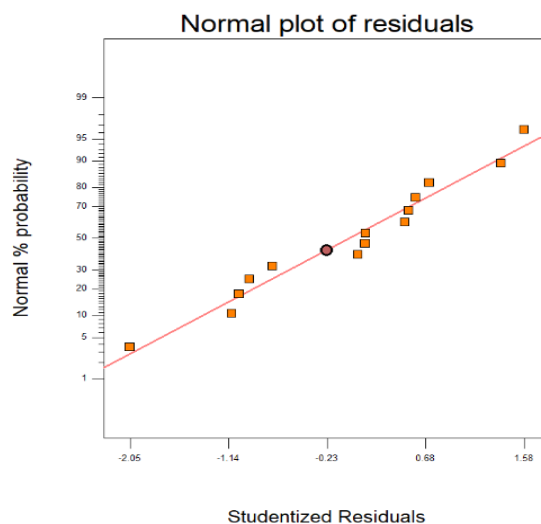
- **Estadísticos del modelo**

El modelo explica una parte significativa de la variabilidad del pH, como lo indica el coeficiente de determinación (R^2). Al mismo tiempo, los valores positivos de R^2 predicho y R^2 ajustado demuestran que existe coherencia entre la capacidad explicativa y predictiva del modelo.

Además, el hecho de que Adeq Precision tenga un valor más alto que el umbral recomendado señala una relación señal/ruido apropiado, lo cual corrobora que el modelo es fiable y tiene la capacidad de emplearse para analizar y perfeccionar la formulación de galletas sin gluten según el pH.

Figura 67.

Evaluación del diagnóstico de residuos del pH



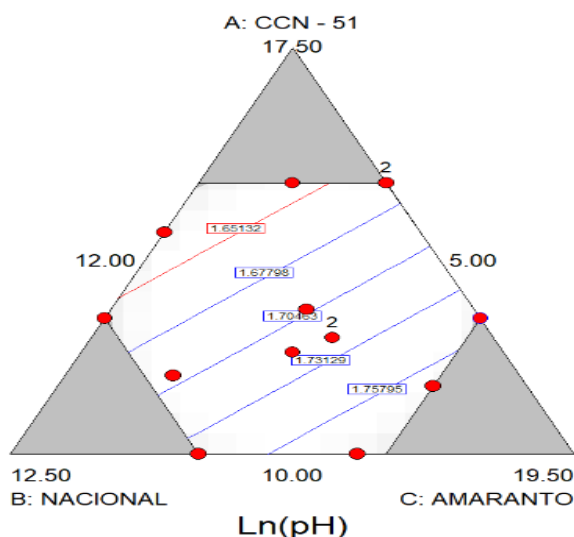
Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

En la figura de probabilidad normal de los residuos exhibe una distribución casi lineal, sin la presencia de valores atípicos extremos, lo que señala que el supuesto de normalidad se cumple apropiadamente.

Este comportamiento verifica que los desechos se reparten de forma simétrica y aleatoria alrededor de la media, lo que valida estadísticamente la conveniencia del modelo escogido para describir el comportamiento del pH en relación con la formulación de las galletas sin gluten.

Figura 68.

Análisis de la figura de contornos del pH



Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

El diagrama triangular que representa la respuesta $\text{Ln}(\text{pH})$ muestra que el pH del producto cambia de manera progresiva dependiendo de las proporciones relativas de los elementos constitutivos de la mezcla.

Se detectan áreas en las que un contenido más alto de harina fortificada de amaranto está relacionado con pH más altos, mientras que un aumento en la cáscara de cacao ya sea de la variedad Nacional o CCN-51, tiende a provocar una disminución leve en este valor debido a su composición natural.

4.10.10 Determinación de carbohidratos de las galletas.

El análisis estadístico reveló que las fluctuaciones en los niveles de harina fortificada de amaranto y cáscara de cacao CCN-51 y Nacional afectan considerablemente la cantidad de carbohidratos presente en las galletas sin gluten, lo cual lo explica Tabla 57.

El modelo lineal que se obtuvo tuvo un buen ajuste y capacidad predictiva. Esto posibilita identificar combinaciones de ingredientes que ayudan a disminuir el contenido de carbohidratos en el producto final, lo cual

resulta favorable para la creación de galletas funcionales con una menor carga glucídica.

Tabla 57.

Resultados de carbohidratos de las galletas

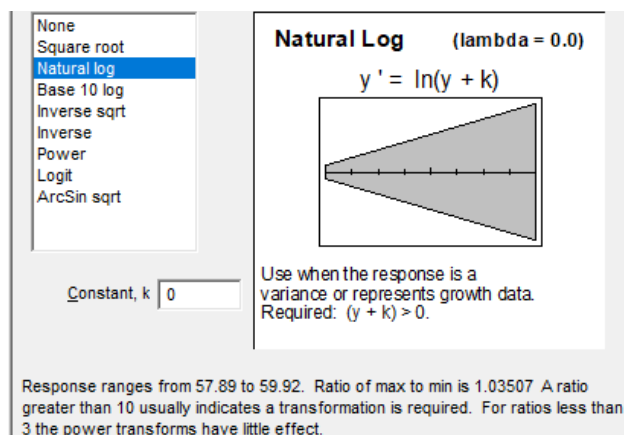
Muestras	mínimo	máximo	promedio
14 Galletas	57.89 %	59.92 %	58.89 %

Nota. Elaborado por la autora.

En las Figuras 69, 70, 71, 72 y 73 se detallan los análisis estadísticos para la variable de pH de las galletas.

Figura 69.

Transformación de la respuesta de los carbohidratos



Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

La variable carbohidratos mostró valores entre el 57.89 % y el 59.92 %, con una razón máxima/mínima de 1.04, lo que indica una variabilidad muy baja.

Figura 70.

Modelo secuencial de suma de cuadrados de los carbohidratos

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Mean	232.54	1	232.54			
<u>Linear</u>	<u>1.171E-003</u>	<u>2</u>	<u>5.853E-004</u>	<u>9.00</u>	<u>0.0048</u>	<u>Suggested</u>
Quadratic	3.188E-004	3	1.063E-004	2.14	0.1728	
Special Cubic	7.233E-005	1	7.233E-005	1.56	0.2516	
Cubic	6.312E-005	3	2.104E-005	0.32	0.8103	
Residual	2.610E-004	4	6.526E-005			
Total	232.55	14	16.61			

"Sequential Model Sum of Squares": Select the highest order polynomial where the additional terms are significant.

Lack of Fit Tests

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
<u>Linear</u>	<u>5.918E-004</u>	<u>9</u>	<u>6.576E-005</u>	<u>1.06</u>	<u>0.5738</u>	<u>Suggested</u>
Quadratic	2.730E-004	6	4.550E-005	0.74	0.6736	
Special Cubic	2.007E-004	5	4.014E-005	0.65	0.6985	
Cubic	1.376E-004	2	6.878E-005	1.11	0.4731	
Pure Error	1.235E-004	2	6.175E-005			

"Lack of Fit Tests": Want the selected model to have insignificant lack-of-fit.

Model Summary Statistics

Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS	
<u>Linear</u>	<u>8.064E-003</u>	<u>0.6207</u>	<u>0.5517</u>	<u>0.3986</u>	<u>1.134E-003</u>	<u>Suggested</u>
Quadratic	7.040E-003	0.7898	0.6584	0.4703	9.990E-004	
Special Cubic	6.805E-003	0.8281	0.6808	0.4636	1.012E-003	
Cubic	8.079E-003	0.8616	0.5501	-1.2113	4.170E-003	

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

Al evaluar los modelos de mezcla secuencialmente, se encontró que el modelo lineal es estadísticamente significativo ($p < 0.05$). Sin embargo, los modelos de orden superior, entre ellos el cuadrático, cúbico especial y cúbico, no mostraron un mejor ajuste.

Esto sugiere que las proporciones relativas de harina enriquecida con amaranto y cáscara de cacao CCN-51 y Nacional tienen un impacto importante en la cantidad de carbohidratos presentes en las galletas sin gluten. Por lo tanto, se considera que el modelo lineal es el más apropiado para caracterizar la conducta de esta variable dentro del intervalo experimental analizado.

Figura 71.

Evaluación del modelo ANOVA de los carbohidratos

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	1.171E-003	2	5.853E-004	9.00	0.0048	significant
<i>Linear Mixture</i>	1.171E-003	2	5.853E-004	9.00	0.0048	
Residual	7.153E-004	11	6.503E-005			
<i>Lack of Fit</i>	5.918E-004	9	6.576E-005	1.06	0.5738	not significant
<i>Pure Error</i>	1.235E-004	2	6.175E-005			
Cor Total	1.886E-003	13				

Std. Dev.	8.064E-003	R-Squared	0.6207
Mean	4.08	Adj R-Squared	0.5517
C.V.	0.20	Pred R-Squared	0.3986
PRESS	1.134E-003	Adeq Precision	7.849

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

- **Análisis de varianza (ANOVA)**

El ANOVA del modelo de mezcla lineal reveló que el modelo tiene significancia estadística respecto al ruido experimental, con un valor estadístico de $F = 9.00$ y una probabilidad vinculada de 0.0048 . Esto quiere decir que solo hay un $0,48\%$ de probabilidad de que las fluctuaciones detectadas en el contenido de carbohidratos sean aleatorias.

- **Prueba de falta de ajuste (Lack of Fit)**

Con un valor de $F = 1.06$ y $\text{Prob} > F = 0.5738$, la prueba de falta de ajuste mostró que esta no es significativa. Este resultado demuestra que el modelo representa correctamente los datos obtenidos en la experimentación y que el error puro es la causa principal de la variabilidad observada, lo cual valida estadísticamente el uso del modelo elegido.

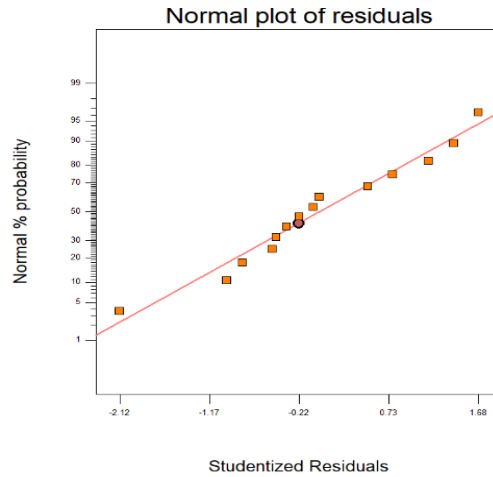
- **Estadísticos del modelo**

El modelo estadístico mostró un coeficiente de determinación $R^2 = 0.6207$; el R^2 ajustado fue de 0.5517 y el R^2 predicho fue de 0.3986 . Esto sugiere que alrededor del 62% de la variabilidad en el contenido de carbohidratos es explicada por este modelo y que presenta una aptitud predictiva apropiada. Asimismo, el modelo puede emplearse para investigar y

mejorar la formulación de las galletas sin gluten desde una perspectiva nutricional gracias a que el valor de Adeg Precision (7.849).

Figura 72.

Evaluación del diagnóstico de residuos de los carbohidratos

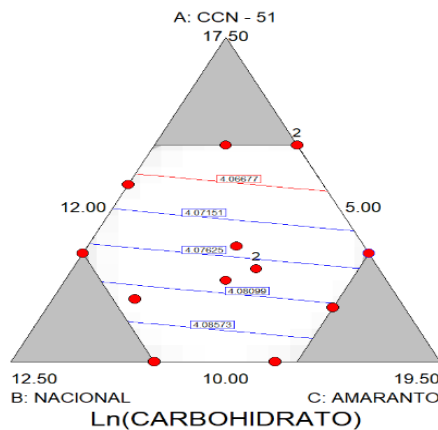


Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

En la figura de probabilidad normal de los residuos para la variable Ln(carbohidratos) revela una distribución casi lineal sin la presencia de valores extremos o atípicos, lo que demuestra que el supuesto de normalidad se cumple apropiadamente. Este comportamiento respalda la idoneidad del modelo elegido para analizar y describir el contenido de carbohidratos en las galletas sin gluten, además de avalar su validez estadística.

Figura 73.

Análisis de la figura de contornos de los carbohidratos



Nota. Elaborado por la autora y extraído de Design Expert 8.0.

En la figura triangular asociado a la respuesta Ln(carbohidratos) demuestra que, cuando se eleva la proporción de harina de amaranto y cáscara de cacao en la formulación, el contenido de carbohidratos va disminuyendo paulatinamente.

4.11 Resultados de los análisis microbiológicos de las galletas

Los análisis microbiológicos realizados a las galletas elaboradas, utilizando harinas obtenidas a partir de 24 h y 48 h de secado, se llevaron a cabo mediante placas Compact Dry, para evaluar la inocuidad microbiológica del producto final. Se analizaron mohos y levaduras, coliformes totales y la presencia de *Salmonella spp.* Además con la hipótesis general se evidenció que el proceso de secado no afecta al producto final en la parte microbiológica.

4.11.1 Resultados de mohos y levaduras de las harinas

En las galletas elaboradas con harinas secadas durante el periodo de 24 horas y 48 horas no se evidenció crecimiento de mohos ni levaduras en las placas Compact Dry. La ausencia de desarrollo microbiano indica que el proceso de elaboración, especialmente la etapa de horneado fue efectivo para la eliminación de estos microorganismos, garantizando la estabilidad microbiológica del producto.

4.11.2 Resultados de coliformes totales de las galletas.

Los resultados del análisis de coliformes totales mostraron ausencia de crecimiento microbiano en todas las muestras de galletas evaluadas, independientemente del tiempo de secado de la harina utilizada. Esto evidencia condiciones higiénico-sanitarias adecuadas durante la formulación, manipulación y procesamiento del producto.

4.11.3 Resultados de la *salmonella* de las galletas.

En el análisis de *Salmonella spp.*, no se detectó presencia del patógeno en ninguna de las muestras de galletas elaboradas con harinas a 24 horas y 48 horas de secado, lo que indica que el producto final cumple con los criterios microbiológicos de seguridad alimentaria establecidos para este tipo de alimentos.

4.12 Resultados de los análisis sensoriales de las galletas

Para la evaluación sensorial de las galletas se realizó previamente una capacitación breve dirigida a los catadores, con el fin de estandarizar los criterios de evaluación y asegurar una apreciación adecuada de los atributos sensoriales, para darle más validez al Objetivo 4. La evaluación se llevó a cabo mediante una ficha sensorial descriptiva utilizando una escala hedónica de cinco puntos, donde el valor 1 correspondió a “me disgusta mucho” y el valor 5 a “me gusta mucho” permitiendo cuantificar el grado de aceptación de cada formulación por parte de los evaluadores.

4.12.1 Resultados de las evaluaciones visuales de las galletas.

El análisis visual evidenció que ambas galletas presentaron calificaciones altas en color, forma, tamaño y superficie, lo que refleja una apariencia uniforme y atractiva, como se indica en la Tabla 58.

Tabla 58.

Resultados de la evaluación visual de las galletas

Análisis Visual de la Galleta F-17					
Catadores	Color	Forma	Tamaño	Superficie	Defectos
1	5	5	5	4	3
2	4	2	5	4	2
3	4	4	4	4	3
4	5	4	5	5	0
5	4	4	4	4	4

Análisis Visual de la Galleta F-18					
Catadores	Color	Forma	Tamaño	Superficie	Defectos
1	5	5	5	4	3
2	4	3	5	4	2
3	4	4	4	4	3
4	5	5	5	5	5
5	5	4	4	4	4

Nota. Elaborado por la autora.

En la Figuras 74 se detalla la estadística de la evaluación visual de las dos formulaciones de galletas evaluadas.

Figura 74.

Estadística de la evaluación visual de las galletas

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
FORMA	17	5	3.80	1.10	4.00	5.00	1	0.85	0.27	0.6429	
FORMA	18	5	4.20	0.84	4.00	6.00					

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
TAMAÑO	17	5	4.60	0.55	5.00	5.50	1	0.73	0.00	>0.9999	
TAMAÑO	18	5	4.60	0.55	5.00	5.50					

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
SUPERFICIE	17	5	4.20	0.45	4.00	5.50	1	0.48	0.00	>0.9999	
SUPERFICIE	18	5	4.20	0.45	4.00	5.50					

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
DEFECTOS	17	5	2.40	1.52	3.00	4.60	1	0.93	0.88	0.4444	
DEFECTOS	18	5	3.40	1.14	3.00	6.40					

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
COLOR	17	5	4.40	0.55	4.00	5.00	1	0.76	0.27	>0.9999	
COLOR	18	5	4.60	0.55	5.00	6.00					

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Infostat.

La aplicación de la prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis no evidenció diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) en los atributos visuales evaluados entre las galletas F-17 y F-18. Los resultados indican que las variaciones en la formulación no influyeron de manera significativa en la percepción visual del producto por parte de los catadores.

4.12.2 Resultados de las evaluaciones olfativa de las galletas.

La evaluación olfativa indicó que ambas formulaciones presentaron una adecuada intensidad de aroma a cacao y notas tostadas perceptibles.

La presencia de aromas extraños fue mínima en la mayoría de los catadores, lo que sugiere un perfil aromático limpio y acorde con las características esperadas del producto, como se indica en la Tabla 59.

Tabla 59.*Resultados de la evaluación olfativa de las galletas*

Análisis Olfativo de la Galleta F-17			
Catadores	Intensidad del aroma a cacao	Notas tostadas	Presencia de aromas extraños
1	4	4	5
2	5	3	0
3	2	5	0
4	5	5	0
5	5	5	0

Análisis Olfativo de la Galleta F-18			
Catadores	Intensidad del aroma a cacao	Notas tostadas	Presencia de aromas extraños
1	5	5	4
2	4	3	0
3	4	2	0
4	4	4	0
5	5	5	0

Nota. Elaborado por la autora.

En la Figuras 75 se detalla la estadística de la evaluación olfativa de las dos formulaciones de galletas evaluadas.

Figura 75.*Estadística de la evaluación olfativa de las galletas*

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
Intensidad del aroma 17		5	4.20	1.30	5.00	5.70	1	0.82	0.04	>0.9999	
Intensidad del aroma 18		5	4.40	0.55	4.00	5.30					

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
Notas tostadas 17		5	4.40	0.89	5.00	6.20	1	0.87	0.53	0.6032	
Notas tostadas 18		5	3.80	1.30	4.00	4.80					

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
Presencia de aromas extrañ.. 17		5	1.00	2.24	0.00	5.60	1	0.49	0.01	>0.9999	
Presencia de aromas extrañ.. 18		5	0.80	1.79	0.00	5.40					

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Infostat.

Para los atributos aromáticos no evidenció diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre las galletas F-17 y F-18.

Ambas formulaciones presentaron una adecuada intensidad de aroma a cacao, notas tostadas aceptables y ausencia de aromas extraños, indicando que las variaciones en la formulación no influyeron de manera significativa en la percepción olfativa del producto.

4.12.3 Resultados de las evaluaciones gustativas de las galletas.

La evaluación gustativa mostró que ambas galletas presentaron una percepción marcada del sabor dulce y del amargor característico del cacao. El balance de sabores fue calificado como adecuado en las dos formulaciones, con variaciones moderadas entre catadores.

La intensidad del amargor y la sensación residual evidenciaron diferencias en la percepción individual, especialmente en la galleta F-18, sin comprometer la aceptabilidad sensorial general del producto, como se indica en la Tabla 60.

Tabla 60.

Resultados de la evaluación gustativa de las galletas

Análisis Gustativo de la Galleta F-17							
Catadores	Dulce	Amargo	Ácido	Salado	Balance de sabores	Intensidad del amargor	Sensación residual
1	5	5	0	0	5	5	1
2	5	0	0	0	5	4	2
3	5	5	3	1	2	5	5
4	4	4	2	3	5	4	4
5	3	4	0	0	4	4	0
Análisis Gustativo de la Galleta F-18							
Catadores	Dulce	Amargo	Ácido	Salado	Balance de sabores	Intensidad del amargor	Sensación residual
1	5	5	0	0	5	5	1
2	4	0	0	0	4	3	2
3	2	5	1	1	2	5	5
4	3	5	2	3	4	5	3
5	5	3	0	0	5	1	5

Nota. Elaborado por la autora.

En la Figuras 76 se detalla la estadística de la evaluación gustativa de las dos formulaciones de galletas evaluadas.

Figura 76.

Estadística de la evaluación gustativas de las galletas

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
Dulce	17	5	4.40	0.89	5.00	6.20	1	0.87	0.53	0.6032	
Dulce	18	5	3.80	1.30	4.00	4.80					

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
Amargo	17	5	3.60	2.07	4.00	5.30	1	0.87	0.04	0.9206	
Amargo	18	5	3.60	2.19	5.00	5.70					

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
Acido	17	5	1.00	1.41	0.00	5.80	1	0.78	0.10	0.8413	
Acido	18	5	0.60	0.89	0.00	5.20					

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
Salado	17	5	0.80	1.30	0.00	5.50	1	0.78	0.00	>0.9999	
Salado	18	5	0.80	1.30	0.00	5.50					

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
Balanceo de sabores	17	5	4.20	1.30	5.00	5.90	1	0.85	0.17	0.9206	
Balanceo de sabores	18	5	4.00	1.22	4.00	5.10					

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
Intensidad del sabor	17	5	4.40	0.55	4.00	5.60	1	0.85	0.01	>0.9999	
Intensidad del sabor	18	5	3.80	1.79	5.00	5.40					

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
Sensacion residual	17	5	2.40	2.07	2.00	4.80	1	0.96	0.53	0.5317	
Sensacion residual	18	5	3.20	1.79	3.00	6.20					

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Infostat.

Para los atributos gustativos no evidenció diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre las galletas F-17 y F-18.

Ambos productos presentaron perfiles sensoriales similares en términos de dulzor, amargor, acidez, salinidad, balance de sabores e intensidad del sabor, lo que indica que las variaciones en la formulación no influyeron de manera significativa en la percepción gustativa del producto.

4.12.4 Resultados de las evaluaciones de textura de las galletas.

La evaluación de textura de las galletas F-17 y F-18 evidenció percepciones similares en crocancia y firmeza, con variaciones moderadas entre catadores, como se indica en la Tabla 61.

La granulosis y la sensación en boca presentaron una mayor dispersión en las calificaciones, especialmente en la galleta F-18, lo que sugiere ligeras diferencias en la percepción textural, sin afectar de manera significativa la aceptación general del producto.

Tabla 61.

Resultados de la evaluación de textura de las galletas

Análisis de Textura de la Galleta F-17				
Catadores	Crocancia	Firmeza	Granulosidad	Sensación en boca
1	3	4	2	2
2	0	4	3	4
3	1	4	3	1
4	2	3	3	4
5	0	4	3	0

Análisis de Textura de la Galleta F-18				
Catadores	Crocancia	Firmeza	Granulosidad	Sensación en boca
1	3	4	2	2
2	0	2	2	3
3	1	4	3	1
4	2	3	3	4
5	0	4	5	0

Nota. Elaborado por la autora.

En la Figuras 77 se detalla la estadística de la evaluación de textura de las dos formulaciones de galletas evaluadas.

Figura 77.

Estadística de la evaluación de textura de las galletas

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
CROCANCIA	17	5	1.20	1.30	1.00		5.50	1	0.92	0.00	>0.9999
CROCANCIA	18	5	1.20	1.30	1.00		5.50				

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
FIRMEZA	17	5	3.80	0.45	4.00		6.10	1	0.65	0.39	0.7222
FIRMEZA	18	5	3.40	0.89	4.00		4.90				

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
GRANULOSIDAD	17	5	2.80	0.45	3.00		5.60	1	0.76	0.01	>0.9999
GRANULOSIDAD	18	5	3.00	1.22	3.00		5.40				

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
SENSACION EN BOCA	17	5	2.20	1.79	2.00		5.70	1	0.96	0.04	0.9762
SENSACION EN BOCA	18	5	2.00	1.58	2.00		5.30				

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Infostat.

Los atributos de textura y sensación en boca no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre las galletas 17 y 18.

Los resultados indican que ambas formulaciones presentan características texturales similares, lo que sugiere que las variaciones en la formulación no influyeron de manera significativa en la percepción sensorial relacionada con la textura del producto.

4.12.5 Resultados de las evaluaciones auditiva de las galletas.

La evaluación auditiva de las galletas F-17 y F-18 mostró respuestas similares en el sonido al partir y en la intensidad del crujido. En ambas formulaciones, la mayoría de los catadores asignó valores bajos a estos atributos, como se indica en la Tabla 62.

Tabla 62.*Resultados de la evaluación auditiva de las galletas*

Análisis Auditivos de la Galleta F-17		
Catadores	Sonido al partir la galleta	Intensidad del crujido
1	0	0
2	2	2
3	1	1
4	0	0
5	3	3

Análisis Auditivos de la Galleta F-18		
Catadores	Sonido al partir la galleta	Intensidad del crujido
1	0	0
2	2	2
3	1	1
4	0	0
5	3	3

Nota. Elaborado por la autora.

En la Figuras 78 se detalla la estadística de la evaluación auditiva de las dos formulaciones de galletas evaluadas.

Figura 78.*Estadística de la evaluación auditiva de las galletas*

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
SONIDO AL PARTIR 17	5	1.20	1.30	1.00	5.50	1	0.92	0.00	>0.9999		
SONIDO AL PARTIR 18	5	1.20	1.30	1.00	5.50						

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
INTENSIDAD DE CRUJIDO 17	5	1.20	1.30	1.00	5.50	1	0.92	0.00	>0.9999		
INTENSIDAD DE CRUJIDO 18	5	1.20	1.30	1.00	5.50						

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Infostat.

Los atributos acústicos evaluados mediante la prueba de Kruskal–Wallis no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las galletas 17 y 18 ($p > 0.05$). Estos resultados sugieren que las variaciones en la formulación no influyeron en la percepción del sonido ni en la intensidad del crujido durante la evaluación sensorial.

4.12.6 Resultados de las evaluaciones de aceptabilidad de las galletas.

Los catadores encontraron que la galleta F-17 tenía un aspecto uniforme y bien aceptado, ya que su evaluación de aceptabilidad visual reveló calificaciones elevadas y consistentes con relación a color, forma, tamaño y superficie, como se indica en la Tabla 63.

La galleta F-18 mostró una variabilidad más alta en las calificaciones, especialmente en la superficie y el color. Esto sugiere que la percepción visual no es tan consistente, aunque sigue dentro de los rangos aceptables.

Tabla 63.

Resultados de la evaluación de aceptabilidad de las galletas

Análisis de Aceptabilidad de la Galleta F-17				
Catadores	Color	Forma	Tamaño	Superficie
1	5	5	5	4
Catadores	Color	Forma	Tamaño	Superficie
2	4	2	5	4
3	4	4	4	4
4	5	4	5	5
5	4	4	4	4
Análisis de Aceptabilidad de la Galleta F-18				
Catadores	Color	Forma	Tamaño	Superficie
1	3	5	5	2
2	3	3	3	3
3	2	3	2	3
4	3	4	3	3
5	5	5	4	4

Nota. Elaborado por la autora.

En la Figuras 79 se detalla la estadística de la aceptabilidad de las dos formulaciones de galletas evaluadas.

Figura 79.

Estadística de la evaluación de aceptabilidad de las galletas

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
COLOR	17	5	4.40	0.55	4.00		7.20	1	0.93	3.15	0.1190
COLOR	18	5	3.20	1.10	3.00		3.80				

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
FORMA	17	5	3.80	1.10	4.00		5.30	1	0.91	0.04	0.8095
FORMA	18	5	4.00	1.00	4.00		5.70				

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
TAMAÑO	17	5	4.60	0.55	5.00		7.10	1	0.91	2.79	0.1349
TAMAÑO	18	5	3.40	1.14	3.00		3.90				

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
SUPERFICIE	17	5	4.20	0.45	4.00		7.60	1	0.85	4.81	0.0397
SUPERFICIE	18	5	3.00	0.71	3.00		3.40				

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Infostat.

La prueba de Kruskal–Wallis aplicada a los atributos visuales indicó que solo el atributo superficie presentó diferencias estadísticamente significativas entre las galletas 17 y 18 ($p < 0.05$).

En contraste, los atributos color, forma y tamaño no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$), evidenciando una percepción visual global similar entre ambas formulaciones, con excepción de la textura superficial.

4.12.7 Resultados de los defectos de las galletas.

La evaluación organoléptica de las imperfecciones en las galletas F-17 y F-18 demostró que hay escasa presencia de rasgos sensoriales no deseados.

Los evaluadores percibieron en niveles mínimos el aroma no característico, el color muy oscuro y el amargor excesivo en ambas formulaciones. La crocancia baja y la textura arenosa mostraron valores de bajos a moderados, como se indica en la Tabla 64.

Tabla 64.*Resultados de la evaluación de los defectos de las galletas*

Análisis de los defectos de la Galleta F-17					
Catadores	Excesivo amargor	Textura arenosa	Baja crocancia	Color muy oscuro	Aroma no característico
1	0	1	1	0	0
2	1	5	1	1	1
3	0	1	1	0	0
4	0	1	4	0	0
5	0	1	1	0	0

Análisis de los defectos de la Galleta F-18					
Catadores	Excesivo amargor	Textura arenosa	Baja crocancia	Color muy oscuro	Aroma no característico
1	0	1	1	0	0
2	1	5	1	2	1
3	0	1	1	0	0
4	0	3	1	0	0
5	0	1	1	0	0

Nota. Elaborado por la autora.

En este apartado se evaluó la posible presencia de características anómalas o desviaciones respecto a los atributos establecidos para el producto.

Previamente, durante la fase de capacitación del panel evaluador, se definieron y estandarizaron las características sensoriales esperadas de las galletas, incluyendo aspectos de apariencia, color, aroma, sabor, textura y aceptabilidad general.

En la Figuras 80 se detalla la estadística de los defectos de las dos formulaciones de galletas evaluadas.

Figura 80.

Estadística de la evaluación de los defectos de las galletas

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
AMARGOS EXCESIVO 17		5	0.20	0.45	0.00	5.50	1	0.48	0.00	>0.9999	
AMARGOS EXCESIVO 18		5	0.20	0.45	0.00	5.50					

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
TEXTURA ARENOSA 17		5	1.80	1.79	1.00	5.10	1	0.65	0.17	>0.9999	
TEXTURA ARENOSA 18		5	2.20	1.79	1.00	5.90					

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
BAJA CROCANCIA 17		5	1.60	1.34	1.00	6.00	1	0.27	0.27	>0.9999	
BAJA CROCANCIA 18		5	1.00	0.00	1.00	5.00					

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
COLOR MUY OSCURO 17		5	0.20	0.45	0.00	5.40	1	0.49	0.01	>0.9999	
COLOR MUY OSCURO 18		5	0.40	0.89	0.00	5.60					

Variable	GALLETAS	N	Medias	D.E.	Medianas	Promedio	rangos	gl	C	H	p
AROMA NO CARACTERISTICO 17		5	0.20	0.45	0.00	5.50	1	0.48	0.00	>0.9999	
AROMA NO CARACTERISTICO 18		5	0.20	0.45	0.00	5.50					

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Infostat.

Los resultados de la prueba de Kruskal–Wallis aplicada a los atributos negativos no evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre las galletas 17 y 18 ($p > 0.05$). En general, los defectos evaluados fueron percibidos en niveles bajos, lo que sugiere una adecuada calidad sensorial y ausencia de características indeseables en ambas formulaciones.

4.13 Análisis económico de la harina de cáscara de cacao

El análisis económico de la harina de cáscara de cacao, elaborada a partir de un residuo agroindustrial permite evaluar la viabilidad financiera del producto, tal como se expone en el Objetivo 5, además que la valorización de residuos agroindustriales representa una estrategia de economía circular que reduce costos de materia prima y mejora los márgenes de rentabilidad.

A partir del procesamiento de 4.20 kg de cáscara fresca se obtuvieron 2.46 kg de harina, con un rendimiento del 58.58 %, lo cual se considera técnicamente aceptable para procesos de secado y molienda de subproductos lignocelulósicos.

4.13.1 Resultado de los costos totales.

Teniendo en cuenta los costos directos e indirectos, tal como indica la Tabla 65, el costo total por lote de producción para la fabricación de harina de cáscara de cacao fue de USD 1.02 por lote mientras que los costos unitarios fueron de 0.41 USD/kg y 0.00041 USD/g.

Como parte de los costos directos, se incluyó el costo de oportunidad de la materia prima, que fue la cáscara de cacao. Esta se adquirió sin coste alguno al ser un residuo agroindustrial; no obstante, se le atribuyó un valor referencial vinculado a su recolección, transporte y manejo.

Los gastos indirectos se componían sobre todo de lo que se gastaba en materiales de seguridad, consumo energético y análisis de laboratorio, los cuales implican una parte importante del costo total por los controles de calidad obligatorios.

$$\text{Costos totales} = CD + CI$$

$$\text{Costos totales} = 0.58 + 0.44 = 1.02 \text{ USD}$$

Tabla 65.

Costos totales para la harina de cáscaras de cacao

Concepto	Costo	Valor (USD)
Materia prima	Costos Directos	0.30
Materiales directos	Costos Directos	0.09
Mano de obra directa	Costos Directos	0.15
Materiales de envase	Costos Directos	0.04
Total Costos Directos		0.58
Materiales de seguridad	Costos Indirectos	0.01
Suministro de fabricación	Costos Indirectos	0.08
Depreciación de maquinaria	Costos Indirectos	0.35
Total Costos Indirectos		0.44
Total de costos		1.02

Nota. Elaborado por la autora.

$$\text{Costo por kg} = \frac{\text{Costo total del proceso}}{\text{Cantidad de harina obtenida}}$$

$$\text{Costo por kg} = \frac{1.02}{2.46} = 0.41 \text{ USD/kg}$$

$$\text{Costo por g} = \frac{\text{Costo total por kg}}{1000}$$

$$\text{Costo por g} = \frac{0.41}{1000} = 0.00041 \text{ USD/g}$$

Es decir:

Producir 1 kg de harina tiene un valor de USD 0.41

Producir 500 g de harina tiene un valor de USD 0.20

4.13.2 Resultado del precio de venta.

Se determinó que el precio de venta de la harina de cáscara de cacao sea de 0.57 USD/kg, tomando en cuenta un margen del 40 % sobre el costo productivo. Este margen posibilita que se cubran potenciales fluctuaciones en los costos de operación y que la competitividad del producto frente a otras harinas disponibles en el mercado se conserve.

Donde

$$\text{Rendimiento} = \left(\frac{\text{Cantidad final}}{\text{Cantidad procesada}} \right) * 100$$

$$\text{Rendimiento} = \left(\frac{2.46 \text{ kg}}{4.20 \text{ kg}} \right) * 100 = 58.58 \%$$

$$\text{Precio de Venta} = \text{Costo por kg} * (1 + \text{Margen de utilidad})$$

$$PV = 0.41 * (1 + 0.40) = 0.57 \text{ USD/kg}$$

Entonces:

100 g se venderían en USD 0.057

4.13.3 Resultado de los ingresos brutos.

Los ingresos brutos obtenidos por la venta fueron de USD 1.40 por lote, considerando un rendimiento de 58.58 % de harina por proceso de elaboración.

$$\text{Ingresos Brutos} = PV * \text{Cantidad producida}$$

$$IB = 0.57 \text{ USD/kg} * 2.46 \text{ kg} = \text{USD } 1.40$$

4.13.4 Resultado del beneficio neto.

El beneficio neto alcanzado fue de USD 0.38 por lote, resultado de la diferencia entre los ingresos brutos y los costos totales de producción, es decir, por cada kilogramo vendido se gana USD 0.16.

$$\text{Beneficio Neto} = \text{Ingresos Brutos} - \text{Costos Totales}$$

$$BN = 1.40 - 1.02 = 0.38 \text{ USD}$$

$$\text{Ganancias por kg: } BN = 0.57 - 0.41 = 0.16 \text{ USD/kg}$$

$$\text{Ganancias por g: } 0.00016 \text{ USD/g}$$

4.13.5 Resultado de la relación costo/beneficio.

La relación costo/beneficio obtenido fue de 1.37, lo que indica que por cada dólar invertido en la producción de la harina se obtiene un retorno de USD 1.37.

Este resultado confirma que el proceso es económicamente viable y eficiente desde el punto de vista financiero.

$$\text{Relación } C/B = \frac{\text{Ingresos Brutos}}{\text{Costos Totales}}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{B} = \frac{1.40}{1.02} = \text{USD } 1.37$$

4.13.6 Resultado de la tasa promedio de rentabilidad.

La tasa promedio de rentabilidad fue de 37.25 % lo cual demuestra que el aprovechamiento de la cáscara de cacao como materia prima permite obtener un producto con un nivel de rentabilidad adecuado.

$$\text{Rentabilidad} = \left(\frac{\text{Beneficio Neto}}{\text{Costos Totales}} \right) 100$$

$$\text{Rentabilidad} = \left(\frac{0.38}{1.02} \right) 100 = 37.25 \%$$

$$\text{Rentabilidad por kg: } R = \left(\frac{0.16}{0.41} \right) * 100 = 39.02 \%$$

4.14 Resultados análisis económico de la harina de amaranto

A diferencia de la harina de cáscara de cacao, el amaranto constituye una materia prima con valor comercial, lo que incrementa significativamente los costos directos de producción; sin embargo, su alto valor nutricional y su posicionamiento como ingrediente funcional compensan este mayor costo mediante un precio de mercado superior.

La incorporación de ingredientes para la fortificación eleva el costo unitario, pero también agrega valor diferencial al producto, permitiendo establecer márgenes de rentabilidad competitivos dentro del segmento de harinas funcionales.

A partir del procesamiento de 4.50 kg de amaranto, se obtuvieron 2.60 kg de harina, alcanzando un rendimiento del 57.78 %

4.14.1 Resultado de los costos totales de la harina de amaranto.

Teniendo en cuenta los costos directos e indirectos, tal como indica la Tabla 66, los costos de producción total para la fabricación de la harina fortificada de amaranto fueron de USD 6.13.

Como parte de los costos directos, el mayor costo es de la materia prima la cual tuvo un precio de USD 5.50, siendo este el rubro más alto debido a los ingredientes que se utiliza para la fortificación de esta harina.

Los gastos indirectos se componían sobre todo de lo que se gastaba en materiales de seguridad, consumo energético y análisis de laboratorio, los cuales implican una parte importante del costo total por los controles de calidad obligatorios.

$$\text{Costos totales} = CD + CI$$

$$\text{Costos totales} = 5.69 + 0.44 = \text{USD } 6.13$$

Tabla 66.*Costos totales para la harina de amaranto*

Concepto	Costo	Valor (USD)
Materia prima	Costos Directos	5.50
Mano de obra directa	Costos Directos	0.15
Materiales para el envase	Costos Directos	0.04
Total Costos Directos		5.69
Materiales de seguridad	Costos Indirectos	0.01
Suministro de fabricación	Costos Indirectos	0.08
Depreciación de maquinaria	Costos Indirectos	0.35
Total Costos Indirectos		0.44
Total de costos		6.13

Nota. Elaborado por la autora.

$$\text{Costo por kg} = \frac{\text{Costo total del proceso}}{\text{Cantidad de harina obtenida}}$$

$$\text{Costo por kg} = \frac{6.13}{2.60} = 2.35 \text{ USD/kg}$$

$$\text{Costo por g} = \frac{\text{Costo total por kg}}{1000}$$

$$\text{Costo por kg} = \frac{0.235}{1000} = 0.00023 \text{ USD/g}$$

Es decir:

Producir 1 kg de harina tiene un valor de USD 2.35

Producir 500 g de harina tiene un valor de USD 0.11

4.14.2 Resultado del precio de venta.

Se determinó que el precio de venta de la harina de amaranto sea de 3.29 USD/kg, tomando en cuenta un margen del 40 % sobre el costo productivo.

Donde

$$\text{Rendimiento} = \left(\frac{\text{Cantidad final}}{\text{Cantidad procesada}} \right) * 100$$

$$\text{Rendimiento} = \left(\frac{2.60 \text{ kg}}{4.50 \text{ kg}} \right) * 100 = 57.96 \%$$

$$\text{Precio de Venta} = \text{Costo por kg} * (1 + \text{Margen de utilidad})$$

$$PV = 2.35 * (1 + 0.40) = 3.29 \text{ USD/kg}$$

Entonces:

100 g se venderían en USD 0.32

4.14.3 Resultado de los ingresos brutos.

Los ingresos brutos obtenidos fueron de USD 8.55 por lote considerando un rendimiento de 57.96 % de harina por proceso de elaboración. Este valor representa el ingreso total generado antes de descontar los costos de producción.

$$\text{Ingresos Brutos} = PV * \text{Cantidad producida}$$

$$IB = 3.29 \text{ USD/kg} * 2.6 \text{ kg} = \text{USD } 8.55$$

4.14.4 Resultado del beneficio neto.

El beneficio neto alcanzado fue de USD 2.42, resultado de la diferencia entre los ingresos brutos y los costos totales de producción.

$$\text{Beneficio Neto} = \text{Ingresos Brutos} - \text{Costos Totales}$$

$$BN = 8.55 - 6.13 = \text{USD } 2.42$$

Ganancias por kg: $BN = 8.55 - 2.35 = 6.20 \text{ USD/kg}$

Ganancias por g: 0.00620 USD/g

4.14.5 Resultado de la relación costo/beneficio.

La relación costo/beneficio obtenido fue de 1.40, lo que indica que por cada dólar invertido en la producción de la harina se obtiene un retorno de USD 1.40.

$$\text{Relación } C/B = \frac{\text{Ingresos Brutos}}{\text{Costos Totales}}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{B} = \frac{8.55}{6.13} = \text{USD } 1.40$$

4.14.6 Resultado de la tasa promedio de rentabilidad.

La tasa promedio de rentabilidad fue de 39.47 % lo cual demuestra que el amaranto puede ser competitivo como materia prima permite obtener un producto con un nivel de rentabilidad adecuado.

$$Rentabilidad = \left(\frac{Beneficio\ Neto}{Costos\ Totales} \right) * 100$$

$$Rentabilidad = \left(\frac{2.42}{6.13} \right) * 100 = 39.47 \%$$

4.15 Resultados de los análisis económicos de las galletas

El costo de la materia prima se determinó a partir del precio comercial y el peso de cada ingrediente, calculando el costo unitario por gramo y multiplicándolo por la cantidad utilizada en una formulación de 100 g, dando como resultado 8 galletas en total, tal como indica la Tabla 67. Pero los cálculos se los realizó como venta unitaria y ventas por paquetes de 4 unidades.

4.15.1 Costos de los ingredientes para las galletas.

En la Tabla 67 se presentan los costos correspondientes a las materias primas utilizadas en la elaboración de las galletas, considerando el valor individual de cada ingrediente empleado en la formulación del producto.

Tabla 67.

Costos materia prima

Ingredientes	Costo (USD)	Peso (g)	Cantidad usada (g)	Costo total (USD)
Mantequilla	2.68	250	19	0.204
Azúcar Morena	0.79	1 000	14	0.011
Azúcar Blanca	0.79	1 000	15	0.012
Huevos	0.15	52	8	0.023
Polvo De Hornear	0.31	20	0.5	0.008
Maicena	0.61	200	1	0.003
Vainilla	0.44	100	0.5	0.002
Harina CCN-51	1.02	1 000	12	0.012
Harina Nacional	1.02	1 000	7	0.007

Ingredientes	Costo (USD)	Peso (g)	Cantidad usada (g)	Costo total (USD)
Harina fortificada de amaranto	6.13	1 000	15	0.091
Cacao En Polvo	4.93	200	8	0.197
Total	18.87	5 822	100	0.57

Nota. Elaborado por la autora.

4.15.2 Resultado de los costos totales de las galletas

Teniendo en cuenta los costos directos e indirectos, el gasto total por lote de producción para la fabricación de las galletas fue de USD 1.10 USD por lote y el costo unitario fue de USD 0.14, como lo indica la Tabla 68.

$$\text{Costos totales} = CD + CI$$

$$\text{Costos totales} = 0.61 + 0.49 = \text{USD } 1.10$$

$$\text{Costos unitario} = \frac{1.10}{8} = \text{USD } 0.14$$

$$\text{Costos por paquete} = \frac{1.10}{4} = \text{USD } 0.27$$

Tabla 68.

Costos totales de producción

Concepto	Costo	Valor (USD)
Materia prima	Costos Directos	0.57
Mano de obra directa	Costos Directos	0.20
Materiales de envase	Costos Directos	0.10
Total Costos Directos		0.61
Materiales de seguridad	Costos Indirectos	0.09
Suministro de fabricación	Costos Indirectos	0.10
Depreciación de maquinaria	Costos Indirectos	0.30
Total Costos Indirectos		0.49
Total de costos por lote		1.10

Nota. Elaborado por la autora.

4.15.3 Resultado del precio de venta.

Se determinó que el precio de venta de la harina de amaranto será de USD 0.20 tomando en cuenta un margen del 40 % sobre el costo productivo.

$$\text{Precio de Venta unitario} = \text{Costo unitario} * (1 + \text{Margen de utilidad})$$

$$PV = 0.14 * (1 + 0.40) = 0.20 \text{ USD/g}$$

Entonces:

El precio de venta de un paquete de cuatro galletas será de USD 0.80

4.15.4 Resultado de los ingresos brutos.

Los ingresos brutos obtenidos por la venta del producto fueron de USD 1.60 ya que la producción se basa en la fabricación de la cantidad producida ya que en 100 g de maza de galletas dan como resultado 8 galletas de 12.5 g cada una

$$\text{Ingresos Brutos} = PV * \text{Cantidad producida}$$

$$IB = 0.20 \text{ USD/g} * 8 \text{ g} = \text{USD } 1.60$$

4.15.5 Resultado del beneficio neto.

El beneficio neto alcanzado fue de USD 0.40 por galleta y de USD 0.53 por paquete, resultado de la diferencia entre los ingresos brutos y los costos totales de producción.

$$\text{Beneficio Neto} = \text{Ingresos Brutos} - \text{Costos Totales}$$

$$BN = 1.60 - 1.10 = \text{USD } 0.40$$

Ganancias por paquete: $BN = 0.8 - 0.27 = 0.53 \text{ USD/kg}$

4.15.6 Resultado de la relación costo/beneficio.

La relación costo/beneficio indica que por cada dólar invertido en la producción de las galletas se obtiene un retorno de USD 1.45.

$$\text{Relación C/B} = \frac{\text{Ingresos Brutos}}{\text{Costos Totales}}$$

$$\text{Relación } C/B \text{ unitario} = \frac{1.60}{1.10} = \text{USD } 1.45$$

$$\text{Relación } C/B \text{ x paquete} = \frac{0.53}{0.27} = \text{USD } 1.96$$

4.15.7 Resultado de la tasa promedio de rentabilidad.

La tasa promedio de rentabilidad fue de 39.13 % lo cual demuestra que las galletas pueden ser competitivo como un producto agroindustrial con un valor agregado.

$$\text{Rentabilidad} = \left(\frac{\text{Beneficio Neto}}{\text{Costos Totales}} \right) 100$$

$$\text{Rentabilidad} = \left(\frac{0.40}{1.10} \right) 100 = 36.36 \%$$

$$\text{Rentabilidad x paquete} = \left(\frac{0.53}{1.10} \right) 100 = 48.18 \%$$

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La elaboración de una harina fortificada a partir de amaranto y cáscara de cacao de las variedades CCN-51 y Nacional demostró ser técnicamente viable permitiendo obtener un ingrediente funcional apto para su uso en productos de galletería sin gluten.
- Las harinas obtenidas presentaron características bromatológicas adecuadas para su aplicación industrial evidenciando que tanto el amaranto y las cáscaras de cacao tienen un contenido alto de fibra, proteína y cenizas, en comparación con otras harinas convencionales.
- El tipo de cáscara de cacao empleada (CCN-51 o Nacional) influyen en las propiedades de la harina fortificada, reflejándose en variaciones de color, composición proximal y comportamiento durante la formulación de las galletas.
- Las operaciones unitarias aplicadas, especialmente el secado y la molienda, fueron determinantes para garantizar la estabilidad microbiológica y la uniformidad granulométrica de las harinas.
- La formulación de galletas sin gluten con diferentes niveles de incorporación de harina fortificada permitió obtener productos con parámetros bromatológicos y microbiológicos dentro de los límites establecidos por la normativa vigente.
- La inclusión de harina fortificada modificó las propiedades físicas de las galletas, particularmente en textura, expansión y color, sin comprometer su aceptabilidad sensorial.
- Los análisis sensoriales evidenciaron que es posible desarrollar galletas sin gluten con ingredientes no tradicionales manteniendo atributos aceptables de sabor, aroma y apariencia.
- El análisis económico preliminar indica que el proceso de elaboración de galletas con harina fortificada puede ser rentable considerando el bajo costo de la cáscara de cacao y la disponibilidad local de las materias primas.
- De manera integral, se concluye que los Objetivos específicos planteados fueron alcanzados satisfactoriamente demostrando la factibilidad técnica, sensorial y nutricional del producto desarrollado.

RECOMENDACIONES

- Evaluar diferentes porcentajes de sustitución de la harina fortificada de amaranto y cáscara de cacao en otros productos de panificación sin gluten, con el fin de ampliar su aplicación industrial.
- Optimizar las condiciones de secado de la cáscara de cacao mediante el uso de tecnologías alternativas (secado convectivo controlado, secado por aire caliente o secado híbrido) para mejorar la conservación de compuestos bioactivos.
- Realizar estudios de vida útil de las harinas fortificadas y de las galletas formuladas, considerando variables como actividad de agua, almacenamiento y estabilidad microbiológica.
- Incorporar análisis nutricionales más específicos, como perfil de aminoácidos, contenido de polifenoles y capacidad antioxidante, para respaldar el carácter funcional del producto.
- Evaluar la aceptabilidad del producto en paneles de consumidores no entrenados, incluyendo segmentos específicos como personas con enfermedad celíaca o consumidores de alimentos saludables.
- Analizar la viabilidad de sustituir parcialmente otros ingredientes convencionales por la harina fortificada con el Objetivo de reducir costos y mejorar el perfil nutricional del producto.
- Desarrollar estudios comparativos entre la cáscara de cacao CCN-51 y Nacional para determinar cuál presenta mayores ventajas funcionales y tecnológicas en formulaciones alimentarias.
- Implementar escalamiento piloto del proceso de elaboración de la harina fortificada para evaluar su comportamiento a nivel semiindustrial o industrial.
- Considerar el uso de aditivos naturales o hidrocoloides permitidos para productos sin gluten que permitan mejorar la estructura, textura y estabilidad de las galletas.

6 DISCUSIÓN

El proceso de secado fue determinante en la calidad final de las harinas. A las 24 horas se registró humedad promedio de 13.67 % mientras que a 48 horas disminuyó a 8.38 % eliminándose además la presencia de mohos, levaduras y Salmonella.

La literatura ha demostrado que el control del contenido de humedad es un factor crítico para la estabilidad microbiológica en matrices vegetales deshidratadas (Vera Zambrano et al., 2019). Asimismo, Nainggolan et al. (2024) señalan que tiempos insuficientes de secado favorecen el crecimiento microbiano en subproductos ricos en fibra.

En el caso específico del cacao, Anoraga et al. (2024) y Nascimento et al. (2025) destacan que la cáscara presenta alta higroscopicidad, por lo que requiere procesos de deshidratación adecuados para evitar deterioro. Los resultados confirman estas observaciones, evidenciando que 24 horas no fueron suficientes para garantizar inocuidad, mientras que 48 horas establecieron condiciones seguras.

La harina de amaranto presentó mayor contenido proteico (12.39 % a 48 h), coherente con lo reportado por Baraniak & Kania (2022), quienes describen al amaranto como pseudocereal con alto valor biológico proteico. Además, Yadav & Yadav (2024) lo catalogan como cultivo resiliente con gran potencial nutricional.

Por su parte, la cáscara de cacao mostró un alto contenido de fibra (29.40 % en CCN-51 y 24.68 % en Nacional), valores consistentes con los reportados por Murillo et al. (2020) y Llerena et al. (2023), quienes identifican la cáscara como fuente relevante de fibra y compuestos bioactivos.

Desde el punto de vista microbiológico, únicamente las harinas secadas 24 h presentaron contaminación, lo cual respalda lo señalado por, Anoraga et al. (2024), quienes indican que la adecuada estabilización térmica es indispensable en subproductos del cacao.

La optimización permitió seleccionar el tratamiento 10 al maximizar proteína, fibra y cenizas y reducir carbohidratos y extracto etéreo. Estudios recientes sobre harinas compuestas indican que la incorporación de pseudocereales mejora significativamente el perfil nutricional de productos de panificación (Akinwotu et al., 2025).

Ike (2024) señala que las mezclas sin gluten requieren equilibrio entre proteína y fibra para mantener funcionalidad reológica. Asimismo, Zhang et al. (2025) explican que la interacción proteína - almidón influye en textura y estructura en productos horneados, lo que coincide con la necesidad de optimización estadística aplicada en tu estudio.

La mejora proteica observada (8,58 % promedio en galletas) supera valores tradicionales en productos sin gluten, que suelen presentar deficiencias nutricionales (Wang & Jian, 2022). Además, la incorporación de subproductos agroindustriales como fuente de fibra es consistente con estrategias de innovación sostenible reportadas por (Zarzycki et al., 2024).

Las galletas presentaron humedad promedio de 7,91 %, dentro de rangos aceptables para productos horneados según NTE INEN 2085 (INEN, 2005). La estabilidad microbiológica obtenida confirma que el control del proceso de secado inicial fue determinante.

En términos funcionales, la incorporación de fibra proveniente de cáscara de cacao coincide con los hallazgos de Stampini et al. (2026), quienes demostraron que este subproducto puede mejorar el contenido funcional en productos de panadería sin comprometer calidad. De igual manera, Mukherjee & Uppaluri (2025) evidenciaron que el uso de granos autóctonos en galletas mejora el perfil nutricional y mantiene aceptabilidad sensorial.

La rentabilidad obtenida (48.18 % en galletas) demuestra factibilidad comercial. La valorización de subproductos del cacao se alinea con estrategias de sostenibilidad propuestas por Santos et al. (2024), quienes destacan el potencial económico de la transformación de residuos del cacao.

Soares et al. (2025) demostraron que la harina de cáscara de cacao puede utilizarse en galletas bajo un enfoque de economía circular. Poma Ube (2023) considera que el aprovechamiento de la cáscara contribuye a fortalecer cadenas productivas bajo un enfoque agroindustrial sostenible.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, E., Solís, K., Ibarra, A., Cifuentes, R., y Sánchez, I. (2021). Amaranto: distribución y diversidad morfológica del recurso genético en partes de la región Maya (sureste de México, Guatemala y Honduras). *Acta Botánica Mexicana*, (128), 1–14. <https://doi.org/10.21829/ABM128.2021.1738>
- Akinwotu, K., Taiwo, K., y Ikujuola, A. (2025). Advancements in Composite Flours: Applications, Nutritional Benefits and Processing Techniques. *Asian Food Science Journal*, 24(6), 24–36. <https://doi.org/10.9734/afsj/2025/v24i6792>
- Alemán, R. (2022). Evaluación de harina de amaranto (*Amaranthus spp*) variedad INTA soberano, en productos de panificación en las instalaciones de la Universidad Nacional Agraria, en el periodo octubre 2021 a junio 2022. <https://repositorio.una.edu.ni/4579/>
- Alim, M. A., Abedin, M. Z., Reza, M. S. Al, Obidul Huq, A. K., Bari, L., Esrafil, M., y Zubair, M. A. (2024). Development and characterization of composite wheat flour incorporated with psyllium husk (*Plantago ovata*) and peanut (*Arachis hypogea*) and sensory properties of composite flour noodles. *Food and Humanity*, 2, 100279. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100279>
- Andalón Gonzáles, M. (2010). *El cacao en Mesoamérica: Aspectos naturales y culturales* [Universidad Nacional Autónoma de México]. https://tesiuamdocumentos.dgb.unam.mx/ptb2011/febrero/0666246/0666246_A1.pdf
- Angel Huerta Ocampo, J., y Paulina Barba de la Rosa, A. (2011). Amaranth: A Pseudo-Cereal with Nutraceutical Properties. *Current Nutrition y Food Science*, 7(1), 1–9. <https://doi.org/10.2174/157340111794941076>
- Anoraga, S. B., Shamsudin, R., Hamzah, M. H., Sharif, S., y Saputro, A. D. (2024). Cocoa by-products: A comprehensive review on potential uses, waste management, and emerging green technologies for cocoa pod husk utilization. *Heliyon*, 10(16). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35537>
- Antonio Sulub-Tun, R., Singh, A., Cifuentes-Velásquez, R., y Sánchez-del Pino, I. (n.d.). *Domestication of the ancient grain Amaranthus cruentus L.* <https://doi.org/10.1101/2025.11.27.690906>
- Aphalo, P., Martínez, E. N., y Añón, M. C. (2015). Amaranth sprouts: A potential health promoting and nutritive natural food. *International Journal of Food Properties*, 18(12), 2688–2698. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1004585>
- Avanza, M. (2006). *Propiedades funcionales de proteínas de amaranto. Capacidad de gelificación.* <http://repositorio.unne.edu.ar/xmlui/handle/123456789/28517>
- Awuchi, C., Victory, I., y Chinelo, K. (2019). *Las propiedades funcionales de los alimentos y las harinas.* https://www.researchgate.net/publication/337403804_The_Functional_Properties_of_Foods_and_Flours

- Baginsky, C., Silva, P., y Garrido, M. (2024). *Amaranto: principios y experiencias para su cultivo en Chile*.
<https://libros.uchile.cl/files/presses/1/monographs/1430/submission/proof/10/>
- Bangar, S. P., Singh, A., Ashogbon, A. O., y Bobade, H. (2023). Ball-milling: A sustainable and green approach for starch modification. *International Journal of Biological Macromolecules*, 237, 124069. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2023.124069>
- Baraniak, J., y Kania, M. (2022). The Dual Nature of Amaranth—Functional Food and Potential Medicine. *Foods* 2022, Vol. 11, Page 618, 11(4), 618.
<https://doi.org/10.3390/FOODS11040618>
- Bayón, N. D. (2015). Revisión Taxonómica de las Especies Monoicas de *Amaranthus* (*Amaranthaceae*): *Amaranthus* subg. *Amaranthus* y *Amaranthus* subg. *Albersia*1.
<https://doi.org/10.3417/2010080>
- Bazurto, R. (2015). *Evaluación de los efectos del aceite de sacha INCHI (Plukenetia volubilis), harina de haba (Vicia faba) y proteína de soja (Glycine max) en la obtención de galletas fortificadas, con fines alimentarios*. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/310>
- Beckett, S. T. (2009). Industrial Chocolate Manufacture and Use: Fourth Edition. *Industrial Chocolate Manufacture and Use: Fourth Edition*, 1–688.
<https://doi.org/10.1002/9781444301588>
- Bhilare, P. (2025). *Informe sobre el tamaño del mercado mundial del amaranto, 2025-2034*.
<https://www.polarismarketresearch.com/industry-analysis/amaranth-market>
- Boza, E. J., Motamayor, J. C., Amores, F. M., Cedeño-Amador, S., Tondo, C. L., Livingstone, D. S., Schnell, R. J., y Gutiérrez, O. A. (2014). Genetic Characterization of the Cacao Cultivar CCN 51: Its Impact and Significance on Global Cacao Improvement and Production. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 139(2), 219–229.
<https://doi.org/10.21273/JASHS.139.2.219>
- Buzera, A., Gikundi, E., Orina, I., y Sila, D. (2022). Effect of Pretreatments and Drying Methods on Physical and Microstructural Properties of Potato Flour. *Foods*, 11(4), 507.
<https://doi.org/10.3390/FOODS11040507>
- Caballero, P. A., Gómez, M., y Rosell, C. M. (2007). Bread quality and dough rheology of enzyme-supplemented wheat flour. *European Food Research and Technology*, 224(5), 525–534. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0311-3>
- Cabrera, A. (2023). Flours from popped grains: Physicochemical, thermal, rheological, and techno-functional properties. *Food Hydrocolloids*, 135, 108129.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108129>
- Calero, G. (2019). Estudio de la influencia de las harinas de pan duro y su granulometría en la elaboración de galletas. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/43875/TFM-L513.pdf?sequence=1>
- Cardoso, R., Fernandes, Â., González, P., Barros, L., y Ferreira, I. (2019). Flour fortification for nutritional and health improvement: A review. *Food Research International*, 125.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108576>

- Castel, V., Andrich, O., Netto, F. M., Santiago, L. G., y Carrara, C. R. (2014). Total phenolic content and antioxidant activity of different streams resulting from pilot-plant processes to obtain *Amaranthus mantegazzianus* protein concentrates. *Journal of Food Engineering*, 122(1), 62–67. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2013.08.032>
- Cheng, F., Ding, K., Yin, H., Tulbek, M., Chigwedere, C. M., y Ai, Y. (2023). Milling and differential sieving to diversify flour functionality: A comparison between pulses and cereals. *Food Research International*, 163, 112223. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112223>
- Chico, M. F. (2022). Valorization of Cocoa by Products: Applications and Perspectives in the Food Industry. *Alimentos Ciencia e Ingeniería*, 29(2), 57–101. <https://doi.org/10.31243/ACI.V29I2.1857>
- Colli-Silva, M., Richardson, J. E., Bossa-Castro, A. M., Pirani, J. R., Colli-Silva, M., Richardson, J. E., Bossa-Castro, A. M., y Pirani, J. R. (2024). Phylogenetic evidence reshapes the taxonomy of Cacao and its allies (Theobroma and Herrania; Malvaceae, Byttnerioideae). *Britt*, 76(1), 53–61. <https://doi.org/10.1007/S12228-024-09783-1>
- Coronado, M. I. N. (2012). El mono y el cacao: la búsqueda de un mito a través de los relieves del Grupo de la Serie Inicial de Chichén Itzá. *Estudios de Cultura Maya*, 39. <https://doi.org/10.19130/IIFL.ECM.2012.39.61>
- Costea, M., Waines, G., y Sanders, A. (2001). Structure of the Pericarp in Some *Amaranthus L. (Amaranthaceae)* Species and Its Taxonomic Significance. *Aliso: A Journal of Systematic and Floristic Botany*, 1. <https://scholarship.claremont.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1205&context=aliso>
- Delgado, H., Tapia, C., Borja, E., Naranjo, E., y Martín, J. P. (2022). Phenotypic diversity of *Amaranthus quitensis* Kunth landraces: A millenary crop of Ecuadorian Andean region. *Scientia Agropecuaria*, 13(4), 381–393. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.035>
- Dziki, D. (2023). The Latest Innovations in Wheat Flour Milling: A Review. *Agricultural Engineering*, 27(1), 147–162. <https://doi.org/10.2478/agriceng-2023-0011>
- Enríquez, G. A. (1987). *Manual de cacao para agricultores*. Editorial Universidad Estatal a Distancia: Coedición: CATIE, ACRI, UNED. https://books.google.com.ec/books?id=HN_ISlbgzXsCyprintsec=frontcover&hl=es#v=onepage&qyf=false
- Erenturk, S., Gulaboglu, M. S., y Gultekin, S. (2010). Experimental determination of effective moisture diffusivities of whole- and cut-rosehips in convective drying. *Food and Bioproducts Processing*, 88(2–3), 99–104. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.01.007>
- Escobar, S., Santander, M., Useche, P., Contreras, C., y Rodríguez, J. (2020). Aligning Strategic Objectives with Research and Development Activities in a Soft Commodity Sector: A Technological Plan for Colombian Cocoa Producers. *Agriculture 2020*, Vol. 10, Page 141, 10(5), 141. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE10050141>

- Figueroa, K. H. N., García, N. V. M., y Vega, R. C. (2019). Cocoa By-products. *Food Wastes and By-Products: Nutraceutical and Health Potential*, 373–411. <https://doi.org/10.1002/9781119534167.CH13;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER>
- Gómez-García Palao, R. V. (2016). *Iniciativa Latinoamericana del cacao*. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/892>
- Gopaulchan, D., Motilal, L. A., Bekele, F. L., Clause, S., Ariko, J. O., Ejang, H. P., y Umaharan, P. (2019). Morphological and genetic diversity of cacao (*Theobroma cacao* L.) in Uganda. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25(2), 361. <https://doi.org/10.1007/S12298-018-0632-2>
- Grace, D. P. (2011). *Desarrollo de la tecnología de obtención de harina de amaranto de dos variedades (iniap alegría y sangorache) para panificación* [Universidad Técnica de Ambato]. <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/3266>
- Handojo, L., Triharyogi, H., y Indarto, A. (2019). Cocoa bean shell waste as potential raw material for dietary fiber powder. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8, 485–491. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0271-9>
- Hassen, A., Ababor, A., y Abate, K. (2024). (PDF) *Rendimiento agronómico y composición química de diferentes variedades de Amaranthus caudatus*. https://www.researchgate.net/publication/379808112_Agronomic_performance_and_chemical_composition_of_different_varieties_of_Amaranthus_caudatus
- Hernández, V. C. R., Olán, M. de la O., Rangel, E. E., Sangerman-Jarquín, D. Ma., Casillas, J. M. H., y Rindermann, R. S. de. (2013). Variabilidad cualitativa y cuantitativa de accesiones de amaranto determinada mediante caracterización morfológica. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(5), 789–801. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V4I5.1176>
- Hernández, R., Luis, G. M., B., Caballero, V. P., Torres López, G., Adrián, V., Martínez, E., y Pacheco, L. R. (2018). Usos actuales y potenciales del Amaranto (*Amaranthus spp.*). *Journal of Negative and No Positive Results: JONNPR, ISSN-e 2529-850X, Vol. 3, N° 6, 2018, Págs. 423-436*, 3(6), 423–436. <https://doi.org/10.19230/jonnpr.2410>
- Iamónico, D. (2015). Taxonomic revision of the genus *Amaranthus* (*Amaranthaceae*) in Italy. In *Phytotaxa* (Vol. 199, Number 1). Magnolia Press. <https://doi.org/10.11646/PHYTOTAXA.199.1.1>
- Iamónico, D., Hussain, A. N., Sindhu, A., Saradamma Anil Kumar, V. nair, Shaheen, S., Munir, M., y Fortini, P. (2023). Trying to Understand the Complicated Taxonomy in *Amaranthus* (*Amaranthaceae*): Insights on Seeds Micromorphology. *Plants 2023, Vol. 12, Page 987*, 12(5), 987. <https://doi.org/10.3390/PLANTS12050987>
- Ike, C. (2024). Physicochemical Properties and Rheological Behavior of Gluten-Free Flour Blends for Bakery Products. *Journal of Food Sciences*, 5(1), 43–55. <https://doi.org/10.47941/jfs.1842>
- INEN, I. E. de N. (2005). *NTE INEN 2085:2005 galletas. requisitos*. <https://apps.normalizacion.gob.ec/download/index.php/buscar>

- INEN, I. E. de N. (2006). *INEN. NTE INEN 0616:2006 (Spanish): Harina de trigo. Requisitos. Norma*. <https://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/index.php/buscar>
- Jan, K., Habib, M., Yadav, D., Jan, S., Sharanagat, V. S., Ahmad, S., y Bashir, K. (2025). Iron fortification of chickpea and refined wheat flour: Effect on physico-functional and rheological properties. *Food and Humanity*, 5, 100647. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2025.100647>
- Jang, S., Sun, J., Chen, P., Lakshman, S., Molokin, A., Harnly, J. M., Vinyard, B. T., Urban, J. F., Davis, C. D., y Solano-Aguilar, G. (2016). Flavanol-Enriched Cocoa Powder Alters the Intestinal Microbiota, Tissue and Fluid Metabolite Profiles, and Intestinal Gene Expression in Pigs. *The Journal of Nutrition*, 146(4), 673. <https://doi.org/10.3945/JN.115.222968>
- Jiménez, L., González, M., Bastidas, M., y Decker, F. (2018). Evaluación del rendimiento de tres sistemas de siembra y dos variedades de amaranto (*Amaranthus quitensis*) y (*Amaranthus hypochondriacus*). *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 6(2), 65–75. <https://doi.org/10.36610/J.JSAB.2018.060200065>
- Joshi, D. C., Sood, S., Hosahatti, R., Kant, L., Pattanayak, A., Kumar, A., Yadav, D., y Stetter, M. G. (2018). From zero to hero: the past, present and future of grain amaranth breeding. *TAG. Theoretical and Applied Genetics. Theoretische Und Angewandte Genetik*, 131(9), 1807–1823. <https://doi.org/10.1007/S00122-018-3138-Y>
- Jurado, E. (2019). *Estudio de la producción y comercialización del amaranto (Amaranthus sp) en la provincia de Imbabura*. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9888>
- Katz, D. L., Doughty, K., y Ali, A. (2011). Cocoa and Chocolate in Human Health and Disease. *Antioxidants y Redox Signaling*, 15(10), 2779. <https://doi.org/10.1089/ARS.2010.3697>
- Kihlberg, I., Johansson, L., Kohler, A., y Risvik, E. (2004). Sensory qualities of whole wheat pan bread - Influence of farming system, milling and baking technique. *Journal of Cereal Science*, 39(1), 67–84. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(03\)00067-5](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(03)00067-5)
- Kong, F., Li, Y., Qiu, X., Jing, G., Zeng, Q., y Guo, X. (2025). Enhancement of grindability and physicochemical properties of Ganoderma lucidum through steam explosion and its impact on quality characteristics of wheat dough. *LWT*, 218, 117485. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2025.117485>
- Llerena, W., Samaniego, I., Vallejo, C., Arreaga, A., Zhunio, B., Coronel, Z., Quiroz, J., Angós, I., y Carrillo, W. (2023). Profile of Bioactive Components of Cocoa (*Theobroma cacao* L.) By-Products from Ecuador and Evaluation of Their Antioxidant Activity. *Foods*, 12(13), 2583. <https://doi.org/10.3390/FOODS12132583/S1>
- María Murillo-Baca, S., Fortunato, , Ponce-Rosas, C., De, M., y Huamán-Murillo, J. (2020). Características fisicoquímicas, compuestos bioactivos y contenido de minerales en la harina de cáscara del fruto de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Manglar*, 17(1), 67–73. <https://doi.org/10.17268/MANGLAR.2020.011>

- Martínez, M., Hernández, M., Revilla, I., y Vivar, A. (2023). Prediction of Mineral Composition in Wheat Flours Fortified with Lentil Flour Using NIR Technology. *Sensors* 2023, Vol. 23, Page 1491, 23(3), 1491. <https://doi.org/10.3390/s23031491>
- Millán, E., Restrepo, L., y Narváez, C. (2007). *Effect of blanching and speed of freezing and de-icing on the quality of frozen pulp of arazá (Eugenia stipitata Mc Vaught)* . <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180320296017.pdf>
- Motamayor, J. C., Lachenaud, P., da Silva e Mota, J. W., Loor, R., Kuhn, D. N., Brown, J. S., y Schnell, R. J. (2008). Geographic and Genetic Population Differentiation of the Amazonian Chocolate Tree (*Theobroma cacao* L). *PLOS ONE*, 3(10), e3311. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0003311>
- MSP, M. de S. P. (2012). implementación del sistema de monitoreo interno del programa de fortificación de harina de trigo. <https://aplicaciones.msp.gob.ec/salud/archivosdigitales/documentosDirecciones/dnn/archivos/MANUAL%20DE%20FORTIFICACI%C3%93N%20DE%20HARINA%20DE%20TRIGO.pdf>
- Mukherjee, P., y Uppaluri, R. (n.d.). *Formulación y caracterización de galletas sostenibles, nutritivas y con bajo contenido de gluten, elaboradas con granos autóctonos del noreste de la India - Sustainable Food Technology (RSC Publishing)* DOI:10.1039/D5FB00271K. Retrieved February 2, 2026, from <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2025/fb/d5fb00271k>
- Mukuwapasi, B., Mavengahama, S., y Gerrano, A. (2024). Grain amaranth: A versatile untapped climate-smart crop for enhancing food and nutritional security. *Discover Agriculture*, 2(1). <https://doi.org/10.1007/S44279-024-00057-8>
- Murillo, S. (2018). Características fisicoquímicas, sensoriales y compuestos bioactivos de galletas dulces elaboradas con harina de cáscara del fruto de cacao (*Theobroma cacao* L.). In *Universidad Nacional Federico Villarreal*. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/2345>
- Mystkowska, I., Plażuk, E., Szepeluk, A., y Dmitrowicz, A. (2024). Gluten-containing flours and gluten-free flours as a source of calcium, magnesium, iron and zinc. *Scientific Reports* 2024 14:1, 14(1), 14643-. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65530-2>
- Nainggolan, E. A., Banout, J., y Urbanova, K. (2024). Recent Trends in the Pre-Drying, Drying, and Post-Drying Processes for Cassava Tuber: A Review. *Foods*, 13(11), 1778. <https://doi.org/10.3390/foods13111778>
- Nascimento, M. B., Alencar, J. C. G., Paulino, B. N., Nascimento, J. C. N., Ferreira, T. R., Batista, A. S., Nascimento, M. M., Soares, S. E., y Mesquita, P. R. R. (2025). Functional and technological potential of by-products from the cocoa (*Theobroma cacao* L.) production chain. *Food Chemistry*, 493, 145718. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2025.145718>
- Nicolas Dostert, Jose Roque, Asinción Cano, María de la Torre, y Maximilian Weigend. (2011). *Factsheet: Datos botánicos de cacao*.

<https://repositorio.promperu.gob.pe/server/api/core/bitstreams/5afa7f67-4283-4a98-b218-e3ccc5b2553c/content>

- Niether, W., Jacobi, J., Blaser, W. J., Andres, C., y Armengot, L. (2020). Cocoa agroforestry systems versus monocultures: a multi-dimensional meta-analysis. *Environmental Research Letters*, 15(10), 104085. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ABB053>
- Ochoa, B. (2022). efecto de la sustitución parcial de la leche de vaca por bebida de amaranto (*amaranthus caudatus l.*) en un yogur tipo II. https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/OCHOA%20CUMBE%20BYRON%20JAVIER.pdf?utm_
- Oliveira, L., Rosell, C., y Steel, C. (2015). Effect of the addition of whole-grain wheat flour and of extrusion process parameters on dietary fibre content, starch transformation and mechanical properties of a ready-to-eat breakfast cereal. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(6), 1504–1514. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12778>
- Organización Internacional del Cacao. (2019). *Boletín trimestral de estadísticas del cacao de noviembre de 2019 - Organización Internacional del Cacao*. <https://www.icco.org/quarterly-bulletin-of-cocoa-statistics-november-2019/>
- Organización Internacional del Cacao. (2025). *Estadísticas del Cacao - Boletín Trimestral de Estadísticas del Cacao de noviembre de 2025*. <https://www.icco.org/november-2025-quarterly-bulletin-of-cocoa-statistics/>
- Owhero, J., Edo, G., Makia, R. S., Gaaz, T. S., Okolie, M. C., Nwaogu, M. U., Faturoti, A. O., Akpogheli, P. O., Yousif, E., Isoje, E. F., Igbuku, U. A., Essaghah, A. E. A., y Umar, H. (2024). Nutritional qualities of cookies made from wheat/cashew nut composite flour. *Food and Humanity*, 3, 100452. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100452>
- Pachón, H., Spohrer, R., Mei, Z., y Serdula, M. K. (2015). Evidence of the effectiveness of flour fortification programs on iron status and anemia: a systematic review. *Nutrition Reviews*, 73(11), 780–795. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuv037>
- Patras, A., Tiwari, B. K., y Brunton, N. P. (2011). Influence of blanching and low temperature preservation strategies on antioxidant activity and phytochemical content of carrots, green beans and broccoli. *LWT - Food Science and Technology*, 44(1), 299–306. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.06.019>
- Poma Ube, J. F. (2023). *Determinación de la calidad productiva de fincas de cacao (Theobroma cacao) en sistemas agroforestales en la zona de Ricaurte, Ecuador*. BABAHOYO. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/14084>
- Poshadri, A., Deshpande, H. W., Machewad, G. M., Kshirsagar, R. B., Gadhe, K. S., y Kadam, S. D. (2023). Functional properties of selected composite gluten-free pseudocereals flour. *Food and Humanity*, 1, 1200–1205. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.09.015>
- Puerari, C., Magalhães, K. T., y Schwan, R. F. (2012). New cocoa pulp-based kefir beverages: Microbiological, chemical composition and sensory analysis. *Food Research International*, 48(2), 634–640. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.06.005>

- Rimbach, G., Melchin, M., Moehring, J., y Wagner, A. E. (2009). Polyphenols from cocoa and vascular health—a critical review. *International Journal of Molecular Sciences*, 10(10), 4290–4309. <https://doi.org/10.3390/IJMS10104290>
- Ríos Franz; Ruiz Ariel; Lecaro, J. R. C. (2017). Estrategias país para la oferta de cacao especiales políticas e iniciativas privadas exitosas en el Perú, Ecuador, Colombia y República Dominicana (primera). https://www.swisscontact.org/_Resources/Persistent/b/7/9/0/b7909c63ce01d3c0333defd340188b15376359d7/Estrategias_pais_para_la_oferta_de_cacaos_especiales.pdf
- Rondón, J. B., y Cumana Campos, L. J. (2005). Revisión Taxonómica del género Theobroma (Sterculiaceae) en Venezuela. *Acta Botánica Venezuelica*, 28(1), 113–134. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0084-59062005000100007&lng=es&synrm=isoyt&lng=es
- Salcedo, B., Osuna, Juan, Guevara, F., Domínguez, J., y Paredes, O. (2002). Optimization of the isoelectric precipitation method to obtain protein isolates from amaranth (*Amaranthus cruentus*) seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(22), 6515–6520. <https://doi.org/10.1021/JF020522T>
- Samaniego, I., Espín, S., Quiroz, J., Ortiz, B., Carrillo, W., García-Viguera, C., y Mena, P. (2020). Effect of the growing area on the methylxanthines and flavan-3-ols content in cocoa beans from Ecuador. *Journal of Food Composition and Analysis*, 88, 103448. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2020.103448>
- Sánchez Mora, F. D., Garcés Fiallos, F. R., Vásquez Montúfar, G. H., Vera Chang, J. F., Zambrano Montufar, J., y Ramos Remache, R. (2014). Productividad de clones de cacao tipo nacional en una zona del bosque húmedo tropical de la provincia de los ríos, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 7(1), 33. <https://doi.org/10.18779/CYT.V7I1.184>
- Santos Filho, A. L. dos, Freitas, H. V., Rodrigues, S., Abreu, V. KG., Lemos, T. de O., Gomes, W. F., Narain, N., y Pereira, A. L. F. (2019). Production and stability of probiotic cocoa juice with sucralose as sugar substitute during refrigerated storage. *LWT*, 99, 371–378. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2018.10.007>
- Santos, L. de M., Ferreira Ribeiro, C. D., Alves, J. de C., da Silva, I. S. A., Silva, V. de L., Santos, I. P. P., y Roselino, M. N. (2024). Multidimensional strategies for sustainable management of cocoa by-products. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2024.1460720>
- Sneha A, y Haripriya A. (2018). Development of amaranth grain (*Amaranthus cruentus*) based instant Dosa mix and its quality characteristics. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 3. https://www.researchgate.net/publication/340685076_Development_of_amaranth_grain_Amaranthus_cruentus_based_instant_Dosa_mix_and_its_quality_characteristics
- Soares, I. D., Junqueira, I. G., Cirilo, M. E. M., Vanin, F. M., y Rodrigues, C. E. da C. (2025). Defatted cocoa bean shells as an alternative flour for cookie production within a circular

- economy approach. *Food Research International*, 221, 117543. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.117543>
- Somarriba, J., y Beer John. (2011). *Productividad de sistemas agroforestales de Theobroma cacao con especies leguminosas y árboles de sombra maderables* | Solicitar PDF. https://www.researchgate.net/publication/231181297_Productivity_of_Theobroma_cacao_agroforestry_systems_with_legume_and_timber_shade_tree_species
- Sreyajit, S., y Anupam, R. (2020). Puffed rice: A materialistic understanding of rice puffing and its associated changes in physicochemical and nutritional characteristics. *Journal of Food Process Engineering*, 43(9), e13479. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13479>
- Stampini, M., Disca, V., Carrà, F., Scardino, S., Piana, G., Travaglia, F., Coïsson, J. D., Locatelli, M., y Arlorio, M. (2026). Cocoa bean shells as a source of functional fiber in a muffin model. *Food Chemistry*, 505(4), 148073. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2026.148073>
- Stetter, M. G., Vidal-Villarejo, M., Schmid, K. J., y Wright, S. (2020). Parallel Seed Color Adaptation during Multiple Domestication Attempts of an Ancient New World Grain. *Molecular Biology and Evolution*, 37(5), 1407–1419. <https://doi.org/10.1093/MOLBEV/MSZ304>
- Suquillo, L. (2018). *evaluación del efecto de microgravedad simulada sobre la obtención de germinados de quinua (Chenopodium quinoa Willd) y amaranto (Amaranthus caudatus L.)*. https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19407/1/CD-8796.pdf?utm_
- Suriwong, P., Thinkohkaew, K., Visuthranukul, C., Chavarnakul, T., Potiyaraj, P., y Suppavorasatit, I. (2025). Effect of cocoa powder on the physicochemical, microbial, and sensory properties of synbiotic freeze-dried yogurt. *Journal of Agriculture and Food Research*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101589>
- Toimbayeva, D., Saduakhasova, S., Kamanova, S., Kiykbay, A., Tazhina, S., Temirova, I., Muratkhan, M., Shaimenova, B., Murat, L., Khamitova, D., y Ospankulova, G. (2025). Prospects for the Use of Amaranth Grain in the Production of Functional and Specialized Food Products. *Foods* 2025, Vol. 14, Page 1603, 14(9), 1603. <https://doi.org/10.3390/FOODS14091603>
- Utomo, J. S., Man, Y. B. C., Rahman, R. A., y Said Saad, M. (2008). The effect of shape, blanching methods and flour on characteristics of restructured sweetpotato stick. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(10), 1896–1900. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2008.01792.X>
- Vásquez, Z. S., de Carvalho Neto, D. P., Pereira, G. V. M., Vandenberghe, L. P. S., de Oliveira, P. Z., Tiburcio, P. B., Rogez, H. L. G., Góes Neto, A., y Soccol, C. R. (2019). Biotechnological approaches for cocoa waste management: A review. *Waste Management*, 90, 72–83. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2019.04.030>
- Vera Zambrano, M., Dutta, B., Mercer, D. G., MacLean, H. L., y Touchie, M. F. (2019). Assessment of moisture content measurement methods of dried food products in small-

- scale operations in developing countries: A review. *Trends in Food Science y Technology*, 88, 484–496. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2019.04.006>
- Vidal Torres, E., Valencia, E., Simsek, S., y Ramírez, A. M. L. (2024). Amaranth: Multipurpose Agroindustrial Crop. *Agronomy* 2024, Vol. 14, Page 2323, 14(10), 2323. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY14102323>
- Wang, J., Rosell, C. M., y Benedito de Barber, C. (2002). Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry*, 79(2), 221–226. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00135-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00135-8)
- Wang, Y., y Jian, C. (2022). Sustainable plant-based ingredients as wheat flour substitutes in bread making. *Npj Science of Food* 2022 6:1, 6(1), 49-. <https://doi.org/10.1038/s41538-022-00163-1>
- Wróbel, M., Jewiarz, M., Mudryk, K., y Knapczyk, A. (2020). Influence of Raw Material Drying Temperature on the Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Biomass Agglomeration Process— A Preliminary Study. *Energies* 2020, Vol. 13, Page 1809, 13(7), 1809. <https://doi.org/10.3390/en13071809>
- Yadav, A., y Yadav, K. (2024). From humble beginnings to nutritional powerhouse: the rise of amaranth as a climate-resilient superfood. *Tropical Plants*. <https://doi.org/10.48130/tp-0024-0037>
- Zarzycki, P., Wirkijowska, A., Teterycz, D., y Łysakowska, P. (2024). Innovations in Wheat Bread: Using Food Industry By-Products for Better Quality and Nutrition. *Applied Sciences* 2024, Vol. 14, Page 3976, 14(10), 3976. <https://doi.org/10.3390/app14103976>
- Zhang, J., Liu, Y., Wang, P., Zhao, Y., Zhu, Y., y Xiao, X. (2025). The Effect of Protein–Starch Interaction on the Structure and Properties of Starch, and Its Application in Flour Products. *Foods* 2025, Vol. 14, Page 778, 14(5), 778. <https://doi.org/10.3390/foods14050778>

ANEXOS

Anexo 1.

Modelo estadístico de la humedad de las harinas

Caso	harinas	tiempo	humedad
1	Amaranto fortificado	24.00	11.35
2	Amaranto fortificado	24.00	11.55
3	Amaranto fortificado	48.00	9.23
4	Amaranto fortificado	48.00	9.20
5	Cáscara cacao CCN-51	24.00	15.54
6	Cáscara cacao CCN-51	24.00	15.44
7	Cáscara cacao CCN-51	48.00	8.30
8	Cáscara cacao CCN-51	48.00	8.20
9	Cáscara cacao Nacional	24.00	14.13
10	Cáscara cacao Nacional	24.00	14.03
11	Cáscara cacao Nacional	48.00	7.61
12	Cáscara cacao Nacional	48.00	7.53

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
humedad	12	0.86	0.81	12.30

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	90.10	3	30.03	16.39	0.0009
harinas	4.93	2	2.47	1.35	0.3135
tiempo	85.17	1	85.17	46.49	0.0001
Error	14.66	8	1.83		
Total	104.76	11			

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Infostat.

Anexo 2.

Modelo estadístico de las cenizas de las harinas

Caso	harinas	tiempo	cenizas
1	Amaranto fortificado	24.00	4.06
2	Amaranto fortificado	24.00	4.26
3	Amaranto fortificado	48.00	2.83
4	Amaranto fortificado	48.00	2.93
5	Cáscara cacao CCN-51	24.00	2.40
6	Cáscara cacao CCN-51	24.00	2.44
7	Cáscara cacao CCN-51	48.00	1.39
8	Cáscara cacao CCN-51	48.00	1.47
9	Cáscara cacao Nacional	24.00	2.34
10	Cáscara cacao Nacional	24.00	2.44
11	Cáscara cacao Nacional	48.00	1.78
12	Cáscara cacao Nacional	48.00	7.53

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
cenizas	12	0.22	0.00	58.32

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6.79	3	2.26	0.75	0.5547
harinas	6.79	2	3.40	1.12	0.3732
tiempo	8.3E-06	1	8.3E-06	2.7E-06	0.9987
Error	24.31	8	3.04		
Total	31.11	11			

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Infostat.

Anexo 3.

Modelo estadístico de las proteínas de las harinas

Caso	harinas	secado	proteína
1	Amaranto fortificado	24.00	14.86
2	Amaranto fortificado	24.00	15.06
3	Amaranto fortificado	48.00	12.39
4	Amaranto fortificado	48.00	12.42
5	Cáscara cacao CCN-51	24.00	6.24
6	Cáscara cacao CCN-51	24.00	6.34
7	Cáscara cacao CCN-51	48.00	5.17
8	Cáscara cacao CCN-51	48.00	5.22
9	Cáscara cacao Nacional	24.00	7.89
10	Cáscara cacao Nacional	24.00	8.09
11	Cáscara cacao Nacional	48.00	6.68
12	Cáscara cacao Nacional	48.00	7.53

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
proteína	12	0.99	0.98	5.65

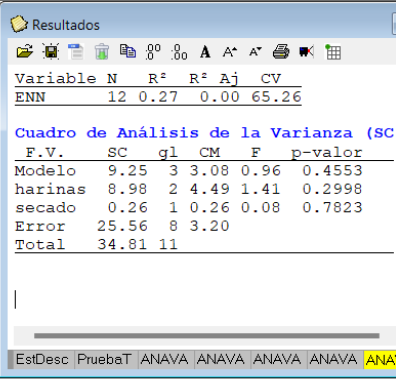
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC t)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	145.44	3	48.48	188.02	<0.0001
harinas	138.59	2	69.29	268.73	<0.0001
secado	6.86	1	6.86	26.59	0.0009
Error	2.06	8	0.26		
Total	147.50	11			

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Infostat.

Anexo 4.

Modelo estadístico del extracto no nitrogenado de las harinas

Caso	harinas	secado	ENN
1	Amaranto fortificado	24.00	3.65
2	Amaranto fortificado	24.00	3.75
3	Amaranto fortificado	48.00	2.41
4	Amaranto fortificado	48.00	2.61
5	Cáscara cacao CCN-51	24.00	2.10
6	Cáscara cacao CCN-51	24.00	2.14
7	Cáscara cacao CCN-51	48.00	0.92
8	Cáscara cacao CCN-51	48.00	1.02
9	Cáscara cacao Nacional	24.00	2.79
10	Cáscara cacao Nacional	24.00	2.89
11	Cáscara cacao Nacional	48.00	1.06
12	Cáscara cacao Nacional	48.00	7.53

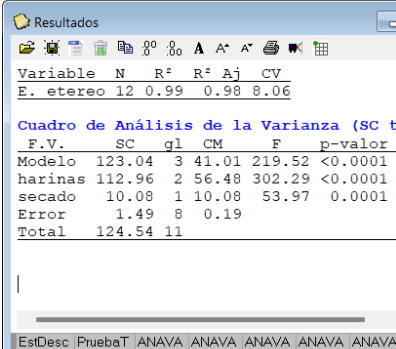


Nota. Elaborado por la autora y extraído de Infostat.

Anexo 5.

Modelo estadístico del extracto etéreo de las harinas

Caso	harinas	secado	E. etereo
1	Amaranto fortificado	24.00	10.06
2	Amaranto fortificado	24.00	10.16
3	Amaranto fortificado	48.00	9.17
4	Amaranto fortificado	48.00	9.20
5	Cáscara cacao CCN-51	24.00	3.58
6	Cáscara cacao CCN-51	24.00	3.65
7	Cáscara cacao CCN-51	48.00	1.55
8	Cáscara cacao CCN-51	48.00	1.75
9	Cáscara cacao Nacional	24.00	5.02
10	Cáscara cacao Nacional	24.00	5.20
11	Cáscara cacao Nacional	48.00	2.45
12	Cáscara cacao Nacional	48.00	2.55

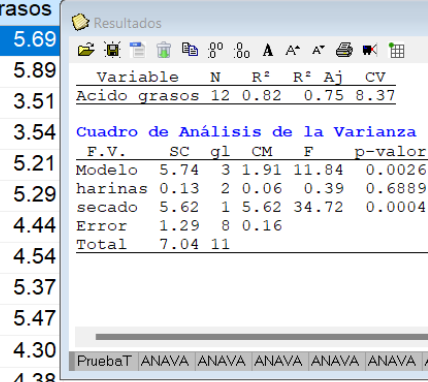


Nota. Elaborado por la autora y extraído de Infostat.

Anexo 6.

Modelo estadístico de los ácidos grasos de las harinas

Caso	harinas	secado	Acido grasos
1	Amaranto fortificado	24.00	5.69
2	Amaranto fortificado	24.00	5.89
3	Amaranto fortificado	48.00	3.51
4	Amaranto fortificado	48.00	3.54
5	Cáscara cacao CCN-51	24.00	5.21
6	Cáscara cacao CCN-51	24.00	5.29
7	Cáscara cacao CCN-51	48.00	4.44
8	Cáscara cacao CCN-51	48.00	4.54
9	Cáscara cacao Nacional	24.00	5.37
10	Cáscara cacao Nacional	24.00	5.47
11	Cáscara cacao Nacional	48.00	4.30
12	Cáscara cacao Nacional	48.00	4.38



Nota. Elaborado por la autora y extraído de Infostat.

Anexo 7.

Modelo estadístico de la fibra de las harinas

Caso	harinas	secado	fibra
1	Amaranto fortificado	24.00	5.69
2	Amaranto fortificado	24.00	5.56
3	Amaranto fortificado	48.00	4.32
4	Amaranto fortificado	48.00	4.42
5	Cáscara cacao CCN-51	24.00	30.59
6	Cáscara cacao CCN-51	24.00	30.63
7	Cáscara cacao CCN-51	48.00	29.40
8	Cáscara cacao CCN-51	48.00	29.60
9	Cáscara cacao Nacional	24.00	29.78
10	Cáscara cacao Nacional	24.00	29.83
11	Cáscara cacao Nacional	48.00	24.68
12	Cáscara cacao Nacional	48.00	24.78

Resultados

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
fibra	12	0.99	0.99	5.42

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1527.25	3	509.08	401.17	<0.0001
harinas	1508.80	2	754.40	594.48	<0.0001
secado	18.45	1	18.45	14.54	0.0051
Error	10.15	8	1.27		
Total	1537.41	11			

ANAVA ANAVA ANAVA ANAVA ANAVA ANAVA ANAVA ANAVA ANAV

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Infostat.

Anexo 8.

Modelo estadístico de los ácidos grasos de las harinas

Caso	harinas	secado	pH
1	Amaranto fortificado	24.00	6.67
2	Amaranto fortificado	24.00	6.87
3	Amaranto fortificado	48.00	6.12
4	Amaranto fortificado	48.00	6.20
5	Cáscara cacao CCN-51	24.00	6.35
6	Cáscara cacao CCN-51	24.00	6.39
7	Cáscara cacao CCN-51	48.00	6.02
8	Cáscara cacao CCN-51	48.00	6.05
9	Cáscara cacao Nacional	24.00	6.29
10	Cáscara cacao Nacional	24.00	6.39
11	Cáscara cacao Nacional	48.00	5.91
12	Cáscara cacao Nacional	48.00	6.01

Resultados

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	12	0.91	0.88	1.57

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.81	3	0.27	27.81	0.0001
harinas	0.23	2	0.11	11.69	0.0042
secado	0.59	1	0.59	60.05	0.0001
Error	0.08	8	0.01		
Total	0.89	11			

ANAVA ANAVA ANAVA ANAVA ANAVA ANAVA ANAVA A

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Infostat.

Anexo 9.

Modelo estadístico de los carbohidratos de las harinas

Caso	harinas	secado	carbohidrato
3	Amaranto fortificado	48.00	62.06
4	Amaranto fortificado	48.00	62.26
5	Cáscara cacao CCN-51	24.00	41.65
6	Cáscara cacao CCN-51	24.00	41.85
7	Cáscara cacao CCN-51	48.00	54.19
8	Cáscara cacao CCN-51	48.00	54.39
9	Cáscara cacao Nacional	24.00	40.84
10	Cáscara cacao Nacional	24.00	41.04
11	Cáscara cacao Nacional	48.00	56.50
12	Cáscara cacao Nacional	48.00	56.70

Resultados

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
carbohidrato	12	0.96	0.94	3.81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC t:

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	692.53	3	230.84	59.52	<0.0001
harinas	259.33	2	129.66	33.43	0.0001
secado	433.20	1	433.20	111.69	<0.0001
Error	31.03	8	3.88		
Total	723.56	11			

Nota. Elaborado por la autora y extraído de Infostat.

Anexo 10.

Procesamiento de las harinas en el Laboratorio de Operaciones Unitarias en la Universidad de Guayaquil



Presecado solar del cacao



Secado industrial



molinos



Estallado del amaranto



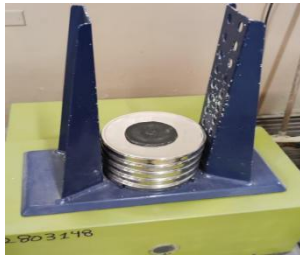
Molino de martillos



Molino de bolas



Harina post molienda



tamizado



Harina post tamizada

Formulación de galletas en casa



Mezclas de harinas



Preparación de premezclas



Formulación de galletas L1



Formulación de galletas L3



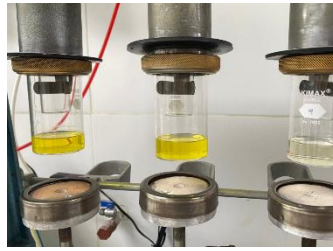
Formulación de galletas L2

Anexo 11.

Proceso de los análisis bromatológicos, microbiológicos y sensoriales en el Laboratorio de Control de Calidad en la Empresa Industrial Molinera



Extracto etéreo galletas



Extracto etéreo



Capturación de nitrógeno



Análisis humedad



Análisis de proteínas



Análisis fibra galletas



Análisis de cenizas



Análisis de fibra harina



Análisis fibra galletas



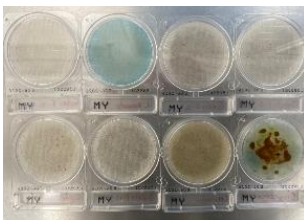
Análisis ceniza galletas



Análisis ceniza galletas



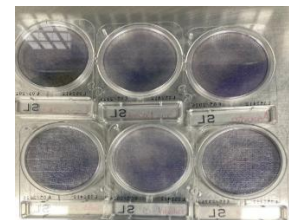
Preparación de análisis



Placas de Moho y
Levaduras



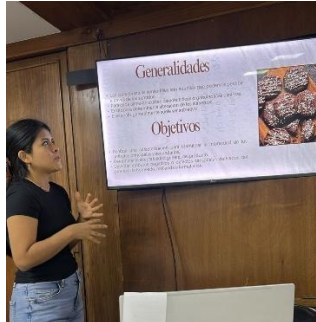
Placas de E. Coli



Placas de Salmonella



Capacitación acerca del análisis sensorial



Análisis sensorial

Anexo 12.

Resultados del análisis sensorial

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SANCTI SPIRITUS
 ETD Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo

FICHA TÉCNICA DE EVALUACIÓN SENSORIAL

1. Identificación del producto

- Nombre del producto: Galleta de chocolate sin gluten
- Materia prima principal: Harina de amaranto fortificada y cáscaras de cacao
- Código de muestra: Galleta F17 - F18
- Fecha de evaluación: Lunes 22 de diciembre del 2025

2. Objetivo de la evaluación sensorial
 Evaluar las características organolépticas de la galleta elaborada con harina de amaranto y cáscaras de cacao, mediante la percepción de los sentidos, con el fin de determinar su perfil sensorial, aceptabilidad general y la presencia de posibles defectos sensoriales.

3. Evaluación sensorial por sentidos

3.1 Evaluación visual

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Color	4	4
Forma	2	3
Tamaño	5	5
Superficie	4	5
Defectos visuales	2	4

3.2 Evaluación olfativa

Atributos evaluados:	Galleta F-17	Galleta F-18
Intensidad del aroma a cacao	2	4
Notas tostadas	5	2
Presencia de aromas extraños	0	0
Defectos a evaluar:		
Aroma rancio	0	0
Aroma a humedad o moho	0	0
Aroma quemado	0	0
Aroma fermentado o químico	0	0

3.3 Evaluación gustativa

Sabores básicos:	Galleta F-17	Galleta F-18
Dulce	5	2
Amargo	5	5
Ácido	3	1
Salado	1	1
Otros atributos:		
Balance de sabores	2	2
Intensidad del amargor	5	2
Sensación residual	5	5

3.4 Evaluación táctil y somatosensorial

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Crocancia	4	4
Firmeza	2	3
Granulosidad	2	1
Sensación en boca	1	1

3.5 Evaluación auditiva

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Sonido al partir la galleta	1	1
Intensidad del crujido	1	1

4. Aceptabilidad general

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Apariencia	2	2
Aroma	3	3
Sabor	2	2
Textura	2	3

Comentarios del evaluador:

5. Identificación de defectos sensoriales

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Excesivo amargor	1	1
Textura arenosa	5	5
Baja crocancia	1	1
Color muy oscuro	1	2
Aroma no característico	1	1

Observaciones adicionales:
 Huevo + Cacao

6. Conclusión del evaluador

Firma y Nombre del evaluador: Eko Ullanta

FICHA TÉCNICA DE EVALUACIÓN SENSORIAL
1. Identificación del producto

- Nombre del producto: Galleta de chocolate sin gluten
- Materia prima principal: Harina de amaranto fortificada y cáscaras de cacao
- Código de muestra: Galleta F17 - F18
- Fecha de evaluación: Lunes 22 de diciembre del 2025

2. Objetivo de la evaluación sensorial

Evaluar las características organolépticas de la galleta elaborada con harina de amaranto y cáscaras de cacao, mediante la percepción de los sentidos, con el fin de determinar su perfil sensorial, aceptabilidad general y la presencia de posibles defectos sensoriales.

3. Evaluación sensorial por sentidos
3.1 Evaluación visual

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Color	5	5
Forma	5	5
Tamaño	5	5
Superficie	4	4
Defectos visuales	3	3

3.2 Evaluación olfativa

Atributos evaluados:	Galleta F-17	Galleta F-18
Intensidad del aroma a cacao	3	4
Notas tostadas	3	3
Presencia de aromas extraños	2	1
Defectos a evaluar:		
Aroma rancio	-	-
Aroma a humedad o moho	-	-
Aroma quemado	-	-
Aroma fermentado o químico	-	-

3.3 Evaluación gustativa

Sabores básicos:	Galleta F-17	Galleta F-18
Dulce	4	3
Amargo	4	3
Ácido	2	2
Salado	3	3
Otros atributos:		
Balance de sabores	3	4
Intensidad del amargor	4	5
Sensación residual	4	3

3.4 Evaluación táctil y somatosensorial

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Crocancia	2	3
Firmeza	3	3
Granulosidad	3	3
Sensación en boca	4	4

3.5 Evaluación auditiva

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Sonido al partir la galleta	2	2
Intensidad del crujido	2	2

4. Aceptabilidad general

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Apariencia	3	3
Aroma	4	4
Sabor	4	3
Textura	4	3

Comentarios del evaluador:

5. Identificación de defectos sensoriales

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Excesivo amargor	NO.	NO
Textura arenosa	SI.	SI.
Baja crocancia	SI.	SI.
Color muy oscuro	NO	NO
Aroma no característico	NO.	NO

Observaciones adicionales:

Falta armonía y aroma.
6. Conclusión del evaluador
Se mejoran algunas cosas F-17 pero faltan mejoras en otros aspectos.

Firma y Nombre del evaluador:

Melanie Gómez
FICHA TÉCNICA DE EVALUACIÓN SENSORIAL
1. Identificación del producto

- Nombre del producto: Galleta de chocolate sin gluten
- Materia prima principal: Harina de amaranto fortificada y cáscaras de cacao
- Código de muestra: Galleta F17 - F18
- Fecha de evaluación: Lunes 22 de diciembre del 2025

2. Objetivo de la evaluación sensorial

Evaluar las características organolépticas de la galleta elaborada con harina de amaranto y cáscaras de cacao, mediante la percepción de los sentidos, con el fin de determinar su perfil sensorial, aceptabilidad general y la presencia de posibles defectos sensoriales.

3. Evaluación sensorial por sentidos
3.1 Evaluación visual

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Color	5	5
Forma	4	5
Tamaño	5	5
Superficie	5	5
Defectos visuales	-	-

3.2 Evaluación olfativa

Atributos evaluados:	Galleta F-17	Galleta F-18
Intensidad del aroma a cacao	4	5
Notas tostadas	4	5
Presencia de aromas extraños	5	4
Defectos a evaluar:		
Aroma rancio	-	-
Aroma a humedad o moho	-	-
Aroma quemado	-	-
Aroma fermentado o químico	-	-

3.3 Evaluación gustativa

Sabores básicos:	Galleta F-17	Galleta F-18
Dulce	3	5
Amargo	4	3
Ácido	-	-
Salado	-	-
Otros atributos:		
Balance de sabores	4	5
Intensidad del amargor	4	1
Sensación residual	-	5

3.4 Evaluación táctil y somatosensorial

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Crocancia	-	4
Firmeza	4	5
Granulosidad	3	-
Sensación en boca	-	-

3.5 Evaluación auditiva

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Sonido al partir la galleta	-	-
Intensidad del crujido	-	-

4. Aceptabilidad general

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Apariencia	4	5
Aroma	4	5
Sabor	3	4
Textura	3	4

Comentarios del evaluador:

5. Identificación de defectos sensoriales

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Excesivo amargor	-	-
Textura arenosa	4	3
Baja crocancia	1	1
Color muy oscuro	-	-
Aroma no característico	-	-

Observaciones adicionales:

Le falta un poco de crocancia
6. Conclusión del evaluador

 Firma y Nombre del evaluador: *José Tomás C.*

FICHA TÉCNICA DE EVALUACIÓN SENSORIAL

1. Identificación del producto
- Nombre del producto: Galleta de chocolate sin gluten
 - Materia prima principal: Harina de amaranto fortificada y cáscaras de cacao
 - Código de muestra: Galleta F17 - F18
 - Fecha de evaluación: Lunes 22 de diciembre del 2025

2. Objetivo de la evaluación sensorial
 Evaluar las características organolépticas de la galleta elaborada con harina de amaranto y cáscaras de cacao, mediante la percepción de los sentidos, con el fin de determinar su perfil sensorial, aceptabilidad general y la presencia de posibles defectos sensoriales.

3. Evaluación sensorial por sentidos

3.1 Evaluación visual

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Color	4	5
Forma	4	4
Tamaño	4	4
Superficie	4	4
Defectos visuales	4	4

3.2 Evaluación olfativa

Atributos evaluados:	Galleta F-17	Galleta F-18
Intensidad del aroma a cacao	5	5
Notas tostadas	5	5
Presencia de aromas extraños	0	0
Defectos a evaluar:		
Aroma rancio	—	—
Aroma a humedad o moho	—	—
Aroma quemado	—	—
Aroma fermentado o químico	—	—

3.3 Evaluación gustativa

Sabores básicos:	Galleta F-17	Galleta F-18
Dulce	5	5
Amargo	5	5
Ácido	—	—
Salado	—	—
Otros atributos:		
Balance de sabores	5	5
Intensidad del amargor	5	5
Sensación residual	1	1

3.4 Evaluación táctil y somatosensorial

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Crocancia	3	3
Firmeza	4	4
Granulosidad	2	2
Sensación en boca	2	2

3.5 Evaluación auditiva

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Sonido al partir la galleta	3	3
Intensidad del crujido	3	3

4. Aceptabilidad general

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Apariencia	3	3
Aroma	5	5
Sabor	4	5
Textura	2	2

Comentarios del evaluador:

5. Identificación de defectos sensoriales

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Excesivo amargor	no	no
Textura arenosa	si	si
Baja crocancia	si	si
Color muy oscuro	no	no
Aroma no característico	no	no

Observaciones adicionales:

6. Conclusión del evaluador

Galletas similares en cuanto al sabor, pero mejor fue la F-17 pero no me gusta la textura en ambas.

Firma y Nombre del evaluador: *[Firma]*

FICHA TÉCNICA DE EVALUACIÓN SENSORIAL

1. Identificación del producto
- Nombre del producto: Galleta de chocolate sin gluten
 - Materia prima principal: Harina de amaranto fortificada y cáscaras de cacao
 - Código de muestra: Galleta F17 - F18
 - Fecha de evaluación: Lunes 22 de diciembre del 2025

2. Objetivo de la evaluación sensorial
 Evaluar las características organolépticas de la galleta elaborada con harina de amaranto y cáscaras de cacao, mediante la percepción de los sentidos, con el fin de determinar su perfil sensorial, aceptabilidad general y la presencia de posibles defectos sensoriales.

3. Evaluación sensorial por sentidos

3.1 Evaluación visual

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Color	4	4
Forma	4	4
Tamaño	4	4
Superficie	4	4
Defectos visuales	3	3

3.2 Evaluación olfativa

Atributos evaluados:	Galleta F-17	Galleta F-18
Intensidad del aroma a cacao	5	4
Notas tostadas	5	4
Presencia de aromas extraños	—	—
Defectos a evaluar:		
Aroma rancio	—	—
Aroma a humedad o moho	—	—
Aroma quemado	—	—
Aroma fermentado o químico	—	—

3.3 Evaluación gustativa

Sabores básicos:	Galleta F-17	Galleta F-18
Dulce	5	4
Amargo	—	—
Ácido	—	—
Salado	—	—
Otros atributos:		
Balance de sabores	5	4
Intensidad del amargor	4	3
Sensación residual	2	2

3.4 Evaluación táctil y somatosensorial

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Crocancia	0	0
Firmeza	4	2
Granulosidad	3	2
Sensación en boca	4	3

3.5 Evaluación auditiva

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Sonido al partir la galleta	0	0
Intensidad del crujido	0	0

4. Aceptabilidad general

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Apariencia	4	3
Aroma	4	3
Sabor	4	3
Textura	3	3

Comentarios del evaluador:

5. Identificación de defectos sensoriales

Atributos evaluados	Galleta F-17	Galleta F-18
Excesivo amargor	NO	NO
Textura arenosa	SI	SI
Baja crocancia	SI	SI
Color muy oscuro	NO	NO
Aroma no característico	NO	NO

Observaciones adicionales:

La galleta F-18 de galleta firmeza, se desmorona con más facilidad.

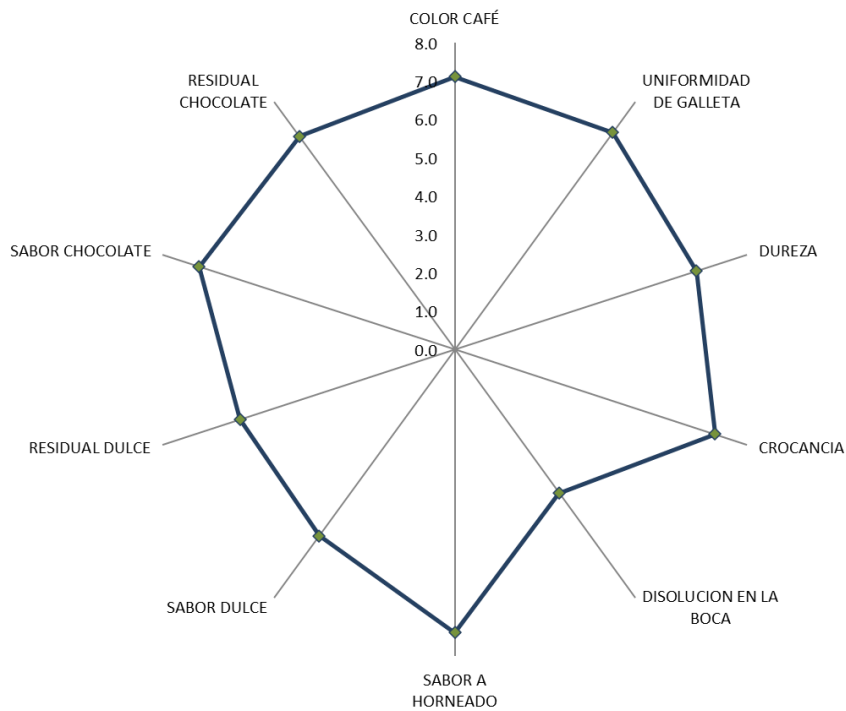
6. Conclusión del evaluador

La galleta F-17 tuvo mejor características sensoriales con respecto al sabor.

Firma y Nombre del evaluador: *[Firma]*

Anexo 13.

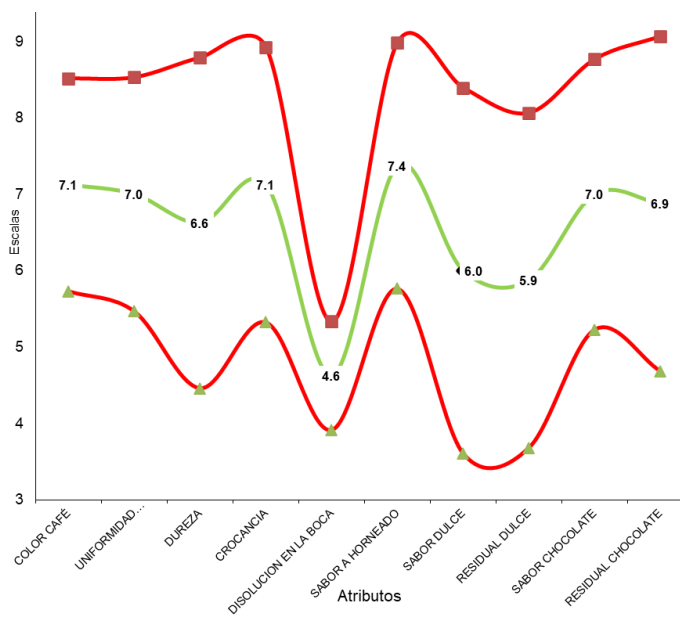
Resultados del perfil sensorial radial de la galleta F - 17



Nota. Elaborado por la autora.

Anexo 14.

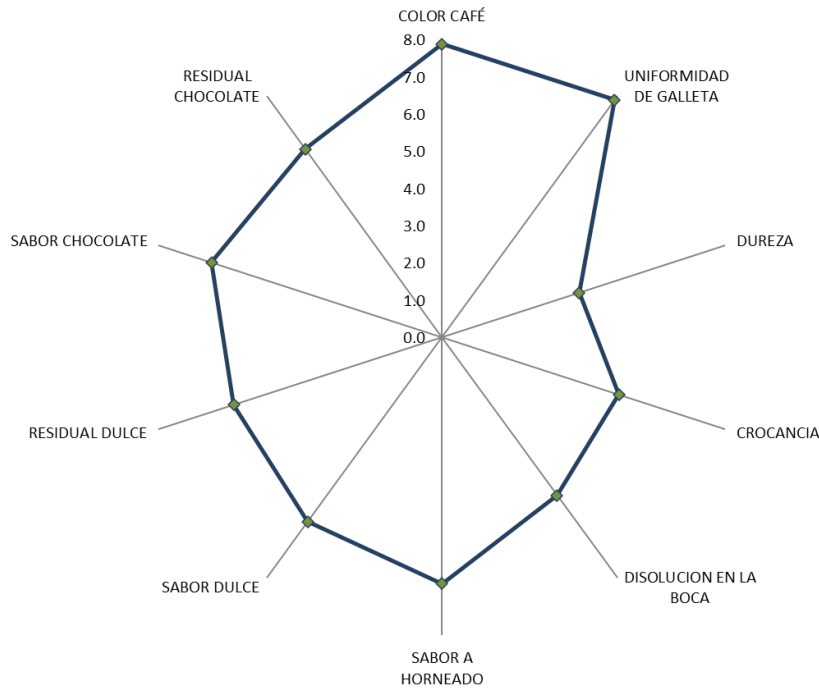
Resultados del perfil sensorial lineal de la galleta F - 17



Nota. Elaborado por la autora.

Anexo 15.

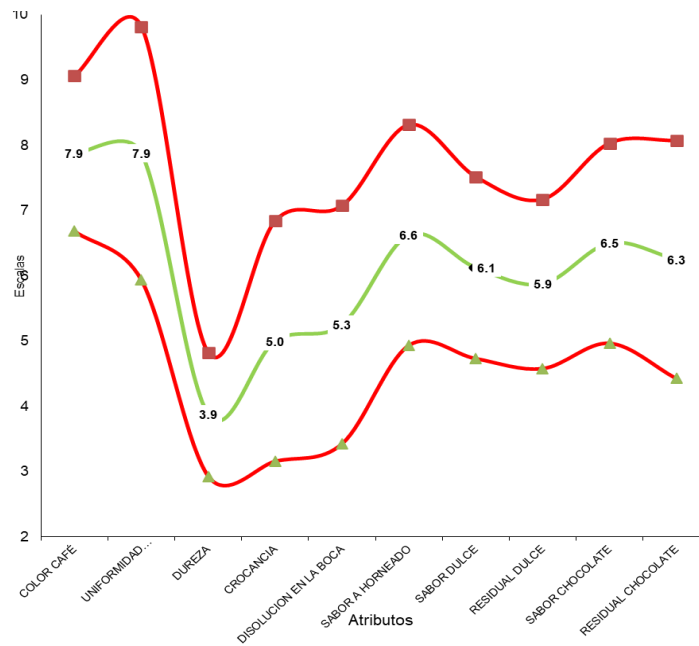
Resultados del perfil sensorial radial de la galleta F - 18



Nota. Elaborado por la autora.

Anexo 16.

Resultados del perfil sensorial lineal de la galleta F - 18



Nota. Elaborado por la autora.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Campoverde Vargas, María Daniela**, con C.C: # **0707076873** autora del trabajo de titulación: **Elaboración de harina fortificada de amaranto y cáscara de cacao CCN-51 y Nacional para el desarrollo de galletas sin gluten.** previo a la obtención del título de **Ingeniera Agroindustrial** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 03 de marzo de 2026

f. _____

Campoverde Vargas, María Daniela

C.C: 0707076873



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Elaboración de harina fortificada de amaranto y cáscara de cacao CCN-51 y Nacional para el desarrollo de galletas sin gluten.		
AUTOR(ES)	Campoverde Vargas, María Daniela		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Chero Alvarado, Víctor Egbert, M.Sc.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Agroindustria		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniera Agroindustrial		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	03 de marzo del 2026	No. DE PÁGINAS:	175
ÁREAS TEMÁTICAS:	transformación y valorización de materias primas y subproductos agroindustriales		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	harina fortificada, cáscaras de cacao, amaranto, galletas, valorización de subproductos, productos sin gluten		
RESUMEN:	<p>La presente investigación tuvo como Objetivo desarrollar una harina fortificada a partir de harina de amaranto y harina de cáscara de cacao de las variedades CCN-51 y Nacional) para la elaboración de galletas sin gluten con perfil nutricional mejorado. Se empleó un diseño experimental con rangos de incorporación de 10 % – 15 % para cáscara de cacao variedad CCN - 51, para la variedad Nacional 5 % – 10 % y para harina de amaranto 12 % – 17 %. La optimización se realizó mediante el método de conveniencia estadística, priorizando la maximización del contenido de proteína, cenizas, fibra y pH, y la reducción de carbohidratos y extracto etéreo. El tratamiento 10 fue identificado como la formulación óptima. En el análisis bromatológico de las materias primas, el amaranto presentó mayor contenido de proteína (12.39 % – 14.86 %), mientras que la cáscara de cacao registró alto contenido de fibra (24.68 % – 30.59 %). Se determinó que el secado de 24 horas no fue adecuado debido a la presencia de mohos, levaduras y <i>Salmonella</i>; en contraste, a 48 horas no se detectó contaminación microbiológica y la humedad promedio se redujo a 8.38 %, garantizando estabilidad e inocuidad. Las galletas desarrolladas presentaron un promedio de 8.58 % de proteína, 7.99 % de fibra y 4.25 % de cenizas, con humedad de 7.91 %. La rentabilidad económica fue de 48.18 % para los paquetes de galletas, 39.47 % para la harina de amaranto y 39.02 % para la harina de cacao. Se concluyó que la harina fortificada desarrollada fue nutricionalmente mejorada, microbiológicamente segura y económicamente viable.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 093985776597	E-mail: maria.daniela.743@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Ing. Noelia Caicedo Coello, M.Sc.		
	Teléfono: +593987361675		
	E-mail: noelia.caicedo@cu.uscg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			