

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

---

---

**Optimización de snack extruido a base de quinua (*chenopodium quinoa*), ajonjolí desgrasado (*sesamum indicum*) y arroz (*oryza sativa*)**

---

---

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial**

**Autor:**

**Bach. Alache Manrique, Alonso Manuel**  
**DNI N° 75112098**  
**Código ORCID: 0000-0002-4897-5689**

**Asesora:**

**Dra. Córdova Chang, Any Berenice**  
**DNI N° 43775869**  
**Código ORCID: 0000-0002-2179-0641**

**Coasesora:**

**M.Sc. Carbajal Romero, Guisela Pilar**  
**DNI N° 46462548**  
**Código ORCID: 0000-0002-6144-9923**

**Nuevo Chimbote - PERÚ**  
**2026**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**CERTIFICACIÓN DEL ASESOR**

Yo, **Dra. Any Berenice Córdova Chang**, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la tesis titulada, “**Optimización de snack extruido a base de quinua (*Chenopodium quinoa*), ajonjolí desgrasado (*Sesamum indicum*) y arroz (*Oryza sativa*)**”, elaborada por el Bachiller: **Alache Manrique, Alonso Manuel**, para obtener el título profesional de **Ingeniero Agroindustrial**, se ha efectuado conforme al reglamento general, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, Junio del 2026

**Dra. Any Berenice Córdova Chang**

**Asesora**

**DNI: 43775869**

**Código ORCID: 0000-0002-2179-0641**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**ACTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO**

Tesis titulada, “OPTIMIZACIÓN DE SNACK EXTRUIDO A BASE DE QUINUA (Chenopodium quinoa), AJONJOLÍ DESGRASADO (Sesamum indicum) Y ARROZ (Oryza sativa)”, elaborada por el Bachiller: ALACHE MANRIQUE, ALONSO MANUEL,

**Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:**

**Dra. Elza Aguirre Vargas**

**Presidente**

**DNI: 19096335**

**Código ORCID: 0000-0003-1659-9874**

**Dr. Saúl Marco Eusebio Lara**

**Secretario**

**DNI: 32854604**

**Código ORCID: 0000-0001-6875-240X**

**Dra. Any Berenice Córdova Chang**

**Integrante**

**DNI: 43775869**

**Código ORCID: 0000-0002-2179-0641**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Siendo las 10:00 horas del día 26 de mayo del dos mil veintiséis, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 077-2026-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dra Elza Aguirre Vargas** (Presidente)
- **Dr. Saúl Marco Eusebio Lara** (Secretario)
- **Dra. Any Berenice Córdova Chang** (Integrante)

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis:

**“OPTIMIZACIÓN DE SNACK EXTRUIDO A BASE DE QUINUA (*chenopodium quinoa*), AJONJOLÍ DESGRASADO (*sesamum indicum*) Y ARROZ (*oryza sativa*)”** elaborado por el bachiller en Ingeniería Agroindustrial.

- **ALACHE MANRIQUE ALONSO MANUEL**

Asimismo, tiene como Asesor a la docente: **Dra. Any Berenice Córdova Chang** y como Coasesor a la docente **M.Sc. Guisela Pilar Carbajal Romero**

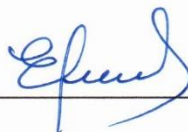
Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador.

El Jurado después de deliberar sobre aspecto relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 103° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran

| NOMBRES Y APELLIDOS           | NOTA VIGESIMAL | CONDICIÓN |
|-------------------------------|----------------|-----------|
| ALACHE MANRIQUE ALONSO MANUEL | 19             | Excelente |

Siendo las 11:00 pm horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 26 de mayo del 2026.



**Dra. Elza Aguirre Vargas**

**Presidente**



**Dr. Saúl Marco Eusebio Lara**

**Secretario**



**Dra. Any Berenice Córdova Chang**

**Integrante**




## Recibo digital

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

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Alonso ALACHE MANRIQUE  
Título del ejercicio: Informe de tesis de Ingeniería Agroindustrial  
Título de la entrega: INFORME DE TESIS \_ ALONSO ALACHE  
Nombre del archivo: INFORME\_DE\_TESIS\_-\_ALACHE\_MANRIQUE\_ALONSO.docx  
Tamaño del archivo: 16.15M  
Total páginas: 169  
Total de palabras: 29,017  
Total de caracteres: 160,773  
Fecha de entrega: 18-jun-2026 10:40a. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 2916953129

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



---

**"Optimización de snack extruido a base de quinua (*chenopodium quinoa*), ajonjolí desgrasado (*sesamum indicum*) y arroz (*oryza sativa*)"**

---

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

**Autor:**  
Bach. Alache Manrique Alonso Manuel  
D.N.I. N.º 75112098  
Código ORCID: 0000-0002-4897-5689

**Asesora:**  
Dra. Any Berenice Córdova Chang  
D.N.I. N.º 43775869  
Código ORCID: 0000-0002-2179-0641

**Coasesora:**  
M.Sc. Guisela Pilar Carbijal Romero  
D.N.I. N.º 46462548  
Código ORCID: 0000-0002-6144-9923

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ  
2026

# INFORME DE TESIS \_ ALONSO ALACHE

## INFORME DE ORIGINALIDAD

**18%**  
INDICE DE SIMILITUD

**17%**  
FUENTES DE INTERNET

**4%**  
PUBLICACIONES

**7%**  
TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

|          |  |      |
|----------|--|------|
| <b>1</b> | <b>repositorio.uns.edu.pe</b><br>Fuente de Internet                                    | 8%   |
| <b>2</b> | <b>Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga</b>                  | 2%   |
| <b>3</b> | Trabajo del estudiante<br>Fuente de Internet<br><b>hdl.handle.net</b>                  | 1%   |
| <b>4</b> | <b>Submitted to Universidad de Salamanca</b><br>Trabajo del estudiante                 | 1%   |
| <b>5</b> | <b>Submitted to Universidad Nacional Agraria La Molina</b><br>Trabajo del estudiante   | < 1% |
| <b>6</b> | <b>repositorio.lamolina.edu.pe</b><br>Fuente de Internet                               | < 1% |
| <b>7</b> | <b>dspace.ups.edu.ec</b><br>Fuente de Internet   | < 1% |
| <b>8</b> | <b>Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru</b><br>Trabajo del estudiante | < 1% |
| <b>9</b> | <b>repositorio.unap.edu.pe</b><br>Fuente de Internet                                   | <    |

## **DEDICATORIA**

A Dios, por ser mi guía constante y darme la fortaleza necesaria en los momentos más difíciles, por inspirarme a seguir adelante cuando todo parecía imposible y acompañarme en cada paso hasta permitirme alcanzar uno de los sueños más importantes de mi vida.

A mis padres, con todo mi amor y eterna gratitud, por su sacrificio y por ser un ejemplo incansable de esfuerzo, por brindarme un apoyo incondicional que me permitió avanzar con confianza y porque cada logro que hoy celebro es también de ustedes ya que siempre creyeron en mí incluso en los momentos en que yo mismo dudaba.

A mi asesora, la Dra. Any Berenice Córdova Chang, por su compromiso, orientación y generosidad al compartir sus conocimientos, y a mi coasesora, la Magíster Guisela Pilar Carbajal Romero, por su valioso acompañamiento y dedicación.

A la Dra. Elsa Aguirre, por sus valiosos consejos, por la confianza brindada y por orientarme con claridad y firmeza a lo largo de este proceso.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco profundamente a Dios, por acompañarme en este camino, por darme fuerzas en los momentos de dificultad y por guiar cada paso hacia la culminación de esta etapa tan importante en mi vida.

A mis padres, por su amor incondicional, su guía constante y su apoyo incansable. Gracias por ser mi mayor motivación y sostén a lo largo de este proceso.

Expreso mi más profundo agradecimiento a los profesionales del Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial (IITA) por su disposición, apoyo y comprensión a lo largo del desarrollo y la evaluación de la presente investigación. Asimismo, agradezco a los especialistas que brindaron su orientación, recomendaciones y constante acompañamiento, los cuales fueron fundamentales para la culminación exitosa de este trabajo.

De manera muy especial expreso mi gratitud a mi asesora y mentora, la Dra. Any Berenice Córdova Chang, por su dedicación, paciencia y compromiso, y a la Magíster Guisela Pilar Carbajal Romero, por su valioso acompañamiento y constante apoyo. Ambas me brindaron una guía experta, una entrega generosa y la confianza necesaria para continuar este camino, contribuyendo de manera decisiva en la consecución de este objetivo y dejando una huella imborrable en mi formación y en este proyecto.

## ÍNDICE GENERAL

|        |   |    |
|--------|---|----|
| I.     | INTRODUCCIÓN.....   | 16 |
| II.    | MARCO TEÓRICO.....  | 20 |
| 2.1.   | QUINUA.....   | 20 |
| 2.1.1. | GENERALIDADES.....  | 20 |
| 2.1.2. | VARIEDADES DE QUINUA.....   | 22 |
| 2.1.3. | CALIDAD NUTRICIONAL DE LA QUINUA.....                             | 23 |
| 2.1.4. | CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA QUINUA.....                        | 23 |
| 2.1.5. | COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA QUINUA.....                             | 24 |
| 2.1.6. | IMPORTANCIA DE LA QUINUA.....                                     | 26 |
| 2.2.   | AJONJOLÍ.....   | 26 |
| 2.2.1. | GENERALIDADES.....  | 26 |
| 2.2.2. | CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL AJONJOLÍ.....                        | 28 |
| 2.2.3. | DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DEL AJONJOLÍ.....                            | 28 |
| 2.2.4. | COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL AJONJOLÍ.....                         | 29 |
| 2.2.5. | CARACTERÍSTICAS DE LA SEMILLA DE AJONJOLÍ.....                    | 31 |
| 2.2.6. | ACEITE DE AJONJOLÍ.....   | 31 |
| 2.2.7. | DESGRASADO DEL AJONJOLÍ.....                                      | 32 |
| 2.2.8. | USOS Y APLICACIONES DEL AJONJOLÍ Y SUBPRODUCTOS<br>DERIVADOS..... | 33 |
| 2.3.   | ARROZ.....  | 34 |
| 2.3.1. | GENERALIDADES.....  | 34 |
| 2.3.2. | CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL ARROZ.....                           | 35 |
| 2.3.3. | ALMIDÓN DEL ARROZ.....  | 35 |
| 2.3.4. | VALOR NUTRICIONAL DEL ARROZ.....                                  | 35 |

|  |    |
|--|----|
| 2.4. SNACK.....  | 37 |
| 2.4.1. GENERALIDADES.....  | 37 |
| 2.4.2. PROCESOS DE FABRICACIÓN DE SNACKS .....                                   | 37 |
| 2.5. EXTRUSIÓN .....   | 38 |
| 2.5.1. GENERALIDADES.....  | 38 |
| 2.5.2. PRODUCCIÓN DE SNACKS EXTRUIDOS A PARTIR DEL PROCESO DE<br>EXTRUSIÓN ..... | 39 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS.....   | 40 |
| 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN .....  | 40 |
| 3.2. MATERIALES Y EQUIPOS .....  | 40 |
| 3.2.1. MATERIA PRIMA .....   | 40 |
| 3.2.2. INSUMOS .....   | 41 |
| 3.2.3. MATERIALES DE LABORATORIO.....  | 43 |
| 3.2.4. OTROS MATERIALES.....   | 43 |
| 3.2.5. REACTIVOS.....  | 44 |
| 3.2.5. EQUIPOS .....   | 44 |
| 3.3. METODOLOGÍA.....  | 45 |
| 3.3.1. PROCESO DE OBTENCIÓN DE HARINAS A PARTIR DE MATERIAS<br>PRIMAS .....      | 47 |
| 3.3.2. PROCESO TECNOLÓGICO PARA LA ELABORACIÓN DE SNACK<br>EXTRUIDO.....         | 54 |
| 3.3.3. METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS<br>.....           | 56 |
| 3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL.....  | 59 |
| 3.4.1. VARIABLES INDEPENDIENTES .....  | 59 |
| 3.4.2. VARIABLES DEPENDIENTES .....  | 59 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.4.3. DISEÑO ESTADÍSTICO.....   | 60  |
| 3.4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....  | 60  |
| 3.4.5. FORMULACIÓN DE PRUEBA PARA EXTRUSIÓN .....                            | 60  |
| 3.5. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SNACK EXTRUIDO .....                       | 63  |
| 3.5.1. ANÁLISIS FISCOQUÍMICO DE LAS MATERIAS PRIMAS .....                    | 63  |
| 3.5.2. EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DEL SNACK<br>EXTRUIDO..... | 65  |
| 3.5.3. EVALUACIÓN SENSORIAL.....   | 67  |
| 3.5.4. EVALUACIÓN NUTRICIONAL DEL SNACK EXTRUIDO.....                        | 67  |
| 3.5.5. OPTIMIZACIÓN DE RESPUESTAS .....                                      | 67  |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....   | 69  |
| 4.1. CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS.....                                 | 69  |
| 4.1.1. COMPOSICIÓN PROXIMAL.....   | 69  |
| 4.2. EVALUACIÓN TECNOLÓGICA DE FORMULACIONES .....                           | 72  |
| 4.2.1. ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA (IAA) .....                               | 72  |
| 4.2.2. ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA (ISA) .....                             | 77  |
| 4.2.3. VOLUMEN ESPECÍFICO (mL/g) .....                                       | 83  |
| 4.2.4. ÍNDICE DE EXPANSIÓN (g/cm <sup>3</sup> ).....                         | 88  |
| 4.2.5. TEXTURA INSTRUMENTAL (DUREZA, N).....                                 | 93  |
| 4.3. EVALUACIÓN SENSORIAL.....   | 98  |
| 4.3.1. SABOR ORGANOLÉPTICO .....   | 98  |
| 4.3.2. TEXTURA ORGANOLÉPTICA.....  | 103 |
| 4.3.3. COLOR ORGANOLÉPTICO .....   | 108 |
| 4.3.4. OLOR ORGANOLÉPTICO.....   | 113 |
| 4.3.5. ACEPTABILIDAD GENERAL .....   | 118 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.4. EVALUACIÓN NUTRICIONAL.....                             | 123 |
| 4.4.1. DETERMINACIÓN DE LA PROTEÍNA (AOAC 2001.11) .....     | 123 |
| 4.5. OPTIMIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN DEL SNACK EXTRUIDO ..... | 129 |
| 4.6. CARACTERIZACIÓN DE LA FORMULA ÓPTIMA .....              | 131 |
| 4.6.1. COMPOSICIÓN PROXIMAL.....                             | 131 |
| V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....                       | 132 |
| VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                         | 134 |
| VII. ANEXOS.....   | 147 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Variedades y principales características de plantas de Quinoa. ....                           | 22 |
| Tabla 2. Clasificación taxonómica de la quinua.....  | 23 |
| Tabla 3. Composición química y valor nutricional de la quinua.....                                     | 25 |
| Tabla 4. Clasificación taxonómica del ajonjolí (Sesamum indicum L). ....                               | 28 |
| Tabla 5. Composición Nutricional de las Semillas de ajonjolí.....                                      | 30 |
| Tabla 6. Clasificación taxonómica del cultivo de arroz (Oryza sativa L.). ....                         | 35 |
| Tabla 7. Composición proximal y contenido nutricional del arroz blanco por cada 100 g de muestra. .... | 36 |
| Tabla 8. Características fisicoquímicas de la miel de abeja utilizada en la investigación. ..          | 42 |
| Tabla 9. Niveles de los factores del diseño experimental.....  | 61 |
| Tabla 10. Matriz D-óptima aplicada a la formulación del snack extruido. ....                           | 62 |
| Tabla 11. Formulación control planteada para la elaboración del snack extruido. ....                   | 63 |
| Tabla 12. Composición proximal de la harina de quinua (base seca, 100 g). ....                         | 69 |
| Tabla 13. Composición proximal de la harina de arroz (base seca, 100 g). ....                          | 70 |
| Tabla 14. Composición proximal de la harina de ajonjolí desgrasado (base seca, 100 g). ..              | 71 |
| Tabla 15. Índice de absorción de agua en los tratamientos evaluados. ....                              | 72 |
| Tabla 16. Resultados del análisis ANOVA para el índice de absorción de agua. ....                      | 73 |
| Tabla 17. Parámetros del modelo matemático para el índice de absorción de agua. ....                   | 74 |
| Tabla 18. Índice de solubilidad en agua de los tratamientos. ....                                      | 77 |
| Tabla 19. Resultados del análisis ANOVA para el índice de solubilidad en agua. ....                    | 79 |
| Tabla 20. Parámetros del modelo matemático para el índice de solubilidad en agua. ....                 | 80 |
| Tabla 21. Volumen específico de las formulaciones evaluadas .....                                      | 83 |
| Tabla 22. Resultados del análisis ANOVA para el volumen específico. ....                               | 84 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 23. Parámetros del modelo matemático para el volumen específico.....    | 85  |
| Tabla 24. Índice de expansión de los tratamientos. ....                       | 88  |
| Tabla 25. Resultados del análisis ANOVA para el índice de expansión.....      | 89  |
| Tabla 26. Parámetros del modelo matemático para el índice de expansión. ....  | 90  |
| Tabla 27. Resultados de dureza del snack extruido.....                        | 93  |
| Tabla 28. Resultados del análisis ANOVA para la dureza. ....                  | 94  |
| Tabla 29. Parámetros del modelo matemático para la dureza. ....               | 95  |
| Tabla 30. Evaluación sensorial del atributo sabor. ....                       | 98  |
| Tabla 31. Resultados del análisis ANOVA para el atributo sabor. ....          | 99  |
| Tabla 32. Parámetros del modelo matemático para el atributo sabor.....        | 100 |
| Tabla 33. Evaluación sensorial del atributo textura. ....                     | 103 |
| Tabla 34. Resultados del análisis ANOVA del atributo textura.....             | 104 |
| Tabla 35. Parámetros del modelo matemático para el atributo textura. ....     | 105 |
| Tabla 36. Evaluación sensorial del atributo color. ....                       | 108 |
| Tabla 37. Resultados del análisis ANOVA para el atributo color.....           | 109 |
| Tabla 38. Parámetros del modelo matemático para el atributo color. ....       | 110 |
| Tabla 39. Evaluación sensorial del atributo olor. ....                        | 113 |
| Tabla 40. Resultados del análisis ANOVA para el atributo olor.....            | 114 |
| Tabla 41. Parámetros del modelo matemático para el atributo olor.....         | 115 |
| Tabla 42. Evaluación de la aceptabilidad general. ....                        | 118 |
| Tabla 43. Resultados del análisis ANOVA para la aceptabilidad general. ....   | 119 |
| Tabla 44. Parámetros del modelo matemático para la aceptabilidad general..... | 120 |
| Tabla 45. Determinación de proteína del snack extruido. ....                  | 123 |
| Tabla 46. Resultados del análisis ANOVA para la proteína. ....                | 125 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 47. Parámetros del modelo matemático para la proteína.....                 | 126 |
| Tabla 48. Tratamiento óptimo seleccionado. ....                                  | 130 |
| Tabla 49. Composición proximal de la formulación óptima (base seca, 100 g). .... | 131 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1. Granos de quinua. ....  | 21  |
| Figura 2. Torta desgrasada de Ajonjolí. ....  | 27  |
| Figura 3. Granos de arroz. ....   | 34  |
| Figura 4. Diagrama experimental del snack extruido.....                             | 46  |
| Figura 5. Diagrama de flujo para la obtención de harina de arroz .....              | 47  |
| Figura 6. Diagrama de flujo para la obtención de harina de quinua.....              | 49  |
| Figura 7. Diagrama de flujo para la obtención de harina de ajonjolí desgrasado..... | 52  |
| Figura 8. Diagrama de flujo del proceso de elaboración del snack extruido.....      | 54  |
| Figura 9. Diagrama de contorno del índice de absorción de agua.....                 | 75  |
| Figura 10. Superficie de respuesta del índice de absorción de agua .....            | 76  |
| Figura 11. Diagrama de contorno del índice de solubilidad en agua .....             | 81  |
| Figura 12. Superficie de respuesta del índice de solubilidad en agua .....          | 82  |
| Figura 13. Diagrama de contorno del volumen específico .....                        | 86  |
| Figura 14. Superficie de respuesta del volumen específico.....                      | 87  |
| Figura 15. Diagrama de contorno del índice de expansión .....                       | 91  |
| Figura 16. Superficie de respuesta del índice de expansión .....                    | 92  |
| Figura 17. Diagrama de contorno de la dureza.....                                   | 106 |
| Figura 18. Superficie de respuesta de la dureza .....                               | 107 |
| Figura 19. Diagrama de contorno del atributo sabor .....                            | 101 |
| Figura 20. Superficie de respuesta del atributo sabor.....                          | 102 |
| Figura 21. Diagrama de contorno del atributo textura.....                           | 96  |
| Figura 22. Superficie de respuesta del atributo textura .....                       | 96  |
| Figura 23. Diagrama de contorno del atributo color .....                            | 111 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 24. Superficie de respuesta del atributo color .....          | 112 |
| Figura 25. Diagrama de contorno del atributo olor .....              | 116 |
| Figura 26. Superficie de respuesta del atributo olor .....           | 117 |
| Figura 27. Diagrama de contorno de la aceptabilidad general .....    | 121 |
| Figura 28. Superficie de respuesta de la aceptabilidad general ..... | 122 |
| Figura 29. Diagrama de contorno del contenido de proteína .....      | 127 |
| Figura 30. Superficie de respuesta del contenido de proteína .....   | 128 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|   |     |
|---|-----|
| Anexo 1. Proceso de obtención de harina de quinua.....  | 147 |
| Anexo 2. Proceso de obtención de harina de arroz.....   | 148 |
| Anexo 3. Proceso de desgrasado del ajonjolí.....  | 149 |
| Anexo 4. Proceso de obtención de harina de ajonjolí desgrasado.....   | 150 |
| Anexo 5. Proceso de elaboración del snack extruido.....   | 151 |
| Anexo 6. Procedimiento para la determinación de humedad.....  | 153 |
| Anexo 7. Procedimiento para la determinación de cenizas.....  | 155 |
| Anexo 8. Procedimiento para la determinación de grasa.....  | 157 |
| Anexo 9. Procedimiento para la determinación de fibra.....  | 160 |
| Anexo 10. Procedimiento para la determinación de proteínas.....   | 162 |
| Anexo 11. Determinación instrumental de textura.....  | 164 |
| Anexo 12. Procedimiento de obtención del extracto.....  | 166 |
| Anexo 13. Panel de evaluadores sensoriales.....   | 169 |
| Anexo 14. Ficha técnica de la miel de abeja empleado en la elaboración del snack extruido.<br>.....                               | 170 |
| Anexo 15. Registro fotográfico de la miel de abeja y refractómetro portátil utilizados durante<br>el desarrollo experimental..... | 170 |

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue optimizar la formulación de un snack extruido elaborado a partir de harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), harina de arroz (*Oryza sativa* L.) y harina de torta desgrasada de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.), considerando la evaluación de sus propiedades tecnológicas, sensoriales y nutricionales. Para ello, se aplicó un diseño experimental de mezclas que permitió obtener 12 formulaciones con proporciones de quinua (20–30%), arroz (60–75%) y ajonjolí (5–10%), las cuales fueron sometidas a un proceso de extrusión.

Los resultados mostraron que el índice de expansión varió entre 1.348 y 1.593 y el volumen específico entre 9.454 y 12.161 mL/g, evidenciando que mayores proporciones de harina de arroz favorecen la expansión. El índice de solubilidad en agua osciló entre 8.85% y 16.94%, mientras que la dureza se encontró entre 14.2 y 22.8 N. En la evaluación sensorial, los atributos presentaron valores entre 7.0 y 8.9, indicando buena aceptabilidad. El contenido de proteína se situó entre 10.98% y 13.15%.

La formulación óptima correspondió al tratamiento 4 (25% quinua, 70% arroz y 5% ajonjolí), el cual presentó adecuado índice de expansión (1.593), volumen específico (12.161 mL/g), buena aceptabilidad sensorial (8.2) y contenido de proteína (11.64%). Estos resultados evidencian que el producto desarrollado presenta un equilibrio adecuado entre calidad tecnológica, aceptación y valor nutricional.

**Palabras clave:** snacks extruidos, quinua, arroz, ajonjolí, optimización, propiedades tecnológicas.

## **ABSTRACT**

The objective of this study was to optimize the formulation of an extruded snack made from quinoa flour (*Chenopodium quinoa Willd.*), rice flour (*Oryza sativa L.*), and defatted sesame cake flour (*Sesamum indicum L.*), considering the evaluation of their technological, sensory, and nutritional properties. To achieve this, a mixture experimental design was applied, which allowed the development of 12 formulations with varying proportions of quinoa (20–30%), rice (60–75%), and sesame (5–10%), all of which were subjected to an extrusion process.

The results showed that the expansion index ranged from 1.348 to 1.593 and the specific volume from 9.454 to 12.161 mL/g, indicating that higher proportions of rice flour favored expansion. The water solubility index ranged from 8.85% to 16.94%, while hardness values ranged between 14.2 and 22.8 N. Sensory evaluation results showed scores between 7.0 and 8.9, indicating good acceptability. Protein content ranged from 10.98% to 13.15%.

The optimal formulation corresponded to treatment 4 (25% quinoa, 70% rice, and 5% sesame), which showed an adequate expansion index (1.593), specific volume (12.161 mL/g), good sensory acceptability (8.2), and protein content (11.64%). These results demonstrate that the developed product presents a suitable balance between technological quality, sensory acceptance, and nutritional value.

**Keywords:** extruded snacks, quinoa, rice, sesame, optimization, technological properties.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el sistema alimentario global ha enfrentado desafíos estructurales de gran relevancia, entre ellos la degradación de los ecosistemas (Ruiz Pineda & Cadavid Castro, 2025), la reducción progresiva de la diversidad agrícola (Escalera & de la Mora, 2025) y, en particular, la prevalencia de la desnutrición en regiones vulnerables (Laura Tacora, 2025).

Esta problemática, además de comprometer el bienestar individual, presenta implicancias directas en la salud pública a gran escala, constituyéndose en un factor determinante para la aparición de enfermedades crónicas (Bravo Apolinario, 2025), el debilitamiento del sistema inmunológico (García-Chávez & Taco-Vega, 2025) y la disminución de la calidad de vida, incluso tras procesos de recuperación (Manzo Loor & Triana Avilés, 2025).

En el contexto peruano, a pesar de contar con una notable diversidad agrícola y con la presencia de cultivos de elevado valor nutricional como la quinua, la maca y el maíz morado (Mandujano Allpoc *et al.*, 2025), las cifras de desnutrición infantil y anemia continúan siendo preocupantes (Alcarraz Gomez & Tocas Mendoza, 2025), lo que evidencia la necesidad de optimizar el aprovechamiento de los recursos alimentarios nativos como estrategia eficaz para mejorar el estado nutricional de la población (Salvador-Reyes *et al.*, 2023).

Ante este panorama, resulta imprescindible impulsar el desarrollo de productos alimenticios funcionales que no solo satisfagan los requerimientos nutricionales esenciales, sino que también respondan a las tendencias actuales de consumo orientadas a la salud, la conveniencia y la sostenibilidad (Silva Jaimes, 2025), en cuyo marco los snacks constituyen una categoría estratégica, caracterizada por su demanda creciente en mercados nacionales e internacionales, así como por su practicidad, facilidad de consumo y elevada aceptación sensorial (Villacis Venegas, 2025).

Sin embargo, la mayoría de los snacks convencionales que se comercializan actualmente presentan limitaciones nutricionales, caracterizadas por su alto contenido calórico y escasa presencia de compuestos funcionales (Vega Pérez *et al.*, 2025), lo

que ha favorecido un cambio en las preferencias de los consumidores hacia opciones elaboradas con ingredientes naturales y de mayor aporte funcional, libres de aditivos perjudiciales, abriendo así oportunidades para la innovación agroalimentaria mediante tecnologías como la extrusión (Barranzuela Beltrán & Ariza Velasco, 2024).

En este contexto, la extrusión constituye una de las tecnologías más eficientes para responder a dicha demanda, al permitir la obtención de productos expandidos sin el uso de grasas, conservar compuestos bioactivos de las materias primas y garantizar una textura adecuada (Arredondo-Ochoa *et al.*, 2025), consolidándose como una herramienta tecnológica fundamental en la producción de alternativas saludables al facilitar la transformación de harinas o mezclas en alimentos listos para el consumo con propiedades deseables como buena expansión, textura crujiente, bajo contenido graso y alta digestibilidad (Mendoza Alvarado, 2025), aunque su eficacia depende de una formulación adecuada, ya que variables como la temperatura, la velocidad de extrusión, la humedad y la composición de la mezcla inciden directamente en la calidad final del producto (Franco Veliz, 2025).

En este contexto, la elaboración de un snack extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa*), ajonjolí desgrasado (*Sesamum indicum*) y arroz (*Oryza sativa*) se presenta como una opción innovadora, coherente con los objetivos nutricionales, económicos y sociales del país.

La quinua es un pseudocereal andino considerado un superalimento debido a su elevado contenido de proteínas de alto valor biológico, fibra dietética, minerales como hierro, zinc y magnesio (Tigre Tigre & Zambrano Solórzano, 2024), y compuestos antioxidantes como flavonoides y polifenoles (Ren *et al.*, 2023).

Su perfil nutricional permite utilizarla como base en productos funcionales desempeñando un papel en la prevención y tratamiento de diversas enfermedades, como inflamación, obesidad, diabetes, cáncer, enfermedades cardiovasculares y enfermedad celíaca, contribuyendo así a mejorar la salud general de las personas (Lan *et al.*, 2023).

Sin embargo, la elaboración de un snack extruido utilizando solamente una materia prima no sería suficiente para satisfacer todos los requisitos nutricionales esenciales. Por lo tanto, se opta por combinar varios insumos, como el ajonjolí desgrasado y el arroz, con el propósito de mejorar las propiedades nutricionales de los snacks extruidos a base de quinua. Esto se hace con el fin de cumplir con las expectativas de los consumidores y proporcionar productos que sean saludables y equilibrados desde una perspectiva dietética.

El ajonjolí es una semilla oleaginosa de larga tradición y gran antigüedad, que posee propiedades nutricionales beneficiosas para la salud. Su contenido significativo de grasas, proteínas, fibra, carbohidratos y minerales lo convierte en un insumo alimentario altamente recomendable (Dharini *et al.*, 2023).

Por su parte el arroz, cereal de alta digestibilidad y elevado contenido de almidón, aporta estructura, volumen y una textura suave al producto extruido, siendo además una fuente complementaria de energía y micronutrientes (Belén Medina *et al.*, 2021). Además, debido a que el arroz consiste en un 90% de almidón, proporciona a los snacks una textura suave y fácil de masticar (Martínez Rubio, 2022).

La combinación de estos tres insumos permite elaborar un alimento equilibrado desde el punto de vista nutricional y sensorial, adecuado para ser introducido como complemento en la alimentación diaria. Además de los beneficios funcionales, el desarrollo de este producto tiene un alto potencial de impacto social, ya que responde a la creciente preocupación por la salud nutricional de la población y propone una solución accesible, basada en ingredientes autóctonos y sostenibles. Su producción puede también dinamizar la economía rural, especialmente en las regiones productoras de quinua y ajonjolí, generando valor agregado y oportunidades para la agroindustria local.

Dentro de este enfoque orientado a la innovación y al aprovechamiento de recursos andinos, se plantea la siguiente interrogante de investigación: ¿cuál es la formulación más adecuada de un snack extruido elaborado con harina de quinua (*Chenopodium quinoa*), torta desgrasada de ajonjolí (*Sesamum indicum*) y harina de

arroz (*Oryza sativa*), que permita optimizar sus propiedades tecnológicas, su valor nutricional y su aceptación sensorial?

Con el propósito de dar respuesta a esta interrogante, el presente estudio tiene como objetivo general optimizar la elaboración de este snack extruido empleando las tres materias primas mencionadas. En concordancia con ello, se establecen tres objetivos específicos: en primer lugar, obtener y procesar de manera adecuada la harina de quinua, la harina de arroz y la torta desgrasada de ajonjolí; segundo, caracterizar fisicoquímicamente cada una de estas harinas para conocer sus propiedades nutricionales y funcionales; y tercero, determinar la formulación adecuada del snack extruido mediante un diseño experimental que evalúe las variables tecnológicas, nutricionales y sensoriales de las muestras obtenidas.

A partir de estos lineamientos, se plantea la siguiente hipótesis: la proporción más adecuada de harina de quinua, harina de arroz y torta desgrasada de ajonjolí, definida mediante un diseño D-óptimo con rangos de 20–30 % de quinua, 60–75 % de arroz y 5–10 % de ajonjolí, permitirá obtener un snack extruido con expansión y textura óptimas, un perfil nutricional elevado (alto contenido de proteínas, fibra y score químico) y una aceptabilidad sensorial favorable entre los consumidores.

De este modo, la presente investigación tiene como finalidad optimizar la formulación de un snack extruido con características funcionales, elaborado a partir de materias primas nativas, con beneficios potenciales en la salud del consumidor y proyección como producto agroindustrial innovador, sostenible y de valor agregado. Este trabajo se justifica no solo por su aporte nutricional y tecnológico, sino también por su alineamiento con las tendencias actuales de consumo responsable y saludable, representando una alternativa viable para enfrentar los desafíos alimentarios del presente.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. QUINUA

#### 2.1.1. GENERALIDADES

La quinua, cuyo nombre científico es *Chenopodium quinoa*, se distingue como un cultivo originario de los Andes que posee un alto valor nutricional. Contiene aminoácidos esenciales, oligoelementos, vitaminas y fibras esenciales para el organismo, y lo más destacado es que es libre de gluten. Su valor nutricional supera incluso al de otros cereales como el trigo, la cebada y la soja, siendo equiparable únicamente a la proteína presente en la leche. Además, la quinua ofrece valiosas propiedades terapéuticas y diversos beneficios para la salud (De La Cruz-Arango, 2023).

A pesar de que la quinua tiene su principal área de cultivo en la región andina de América del Sur, en los últimos tiempos, su cultivo se ha expandido a lugares como Estados Unidos, Europa, Canadá, Australia, China e India (Castro-Albán *et al.*, 2023).

Las semillas de quinua generalmente son pequeñas, redondas y planas. La mayoría de ellas tienen un color blanco, aunque también se pueden encontrar variedades de tonalidades rojas o negras más oscuras. En Perú, donde la quinua es un cultivo autóctono, es común consumirla como desayuno o utilizarla como acompañamiento en ensaladas para mejorar su textura (Chen *et al.*, 2023).

La quinua exhibe una amplia diversidad de características, como colores y tipos de ramificación, que son evidentes en las áreas de cultivo. Esta diversidad ha llevado a la conclusión de que no es posible hablar de variedades completamente puras, y en general, se trata de poblaciones seleccionadas que muestran cierto grado de pureza y uniformidad (Urdanegui *et al.*, 2021).

Investigadores de diversas regiones han abordado el estudio de la variabilidad fenotípica de la quinua, analizando de manera sistemática las diferencias en sus características morfológicas, así como en parámetros de naturaleza genética que condicionan su desarrollo y adaptación (Vergara *et al.*, 2020), asimismo, dichas investigaciones han permitido establecer asociaciones entre esta diversidad y atributos de interés agronómico y funcional, tales como la concentración de saponinas en los granos, la cual incide directamente en la calidad sensorial y tecnológica del cultivo (Lozano-Isla *et al.*, 2023), además de su capacidad de tolerancia a condiciones de bajas temperaturas, factor determinante para su cultivo en zonas altoandinas (Morillo-Coronado *et al.*, 2022), y su nivel de resistencia frente a agentes patógenos, lo que repercute en su estabilidad productiva y rendimiento agrícola (Mahdavi Rad *et al.*, 2022).

**Figura 1.**

*Granos de quinua (variedad Rosada de Junín).*



**Nota.** Quinua perlada previamente desaponificada (*Chenopodium quinoa* Willd.), proveniente del distrito de Caraz, provincia de Huaylas, Áncash; utilizada como materia prima en la elaboración del snack extruido.

## 2.1.2. VARIEDADES DE QUINUA

**Tabla 1.**

*Variedades y principales características de plantas de Quinoa.*

| NOMBRE DE LA VARIEDAD             | EFLUSIÓN DE SAPONINA | COLOR DE PERICARPIO | COLOR DE EPISPERMA | TAMAÑO DE GRANO | ZONAS DE PRODUCCIÓN                   |
|-----------------------------------|----------------------|---------------------|--------------------|-----------------|---------------------------------------|
| <b>INIA 431 – Altiplano</b>       | Nada                 | Crema               | Blanco             | Grande          | Altiplano, Costa                      |
| <b>INIA 427 – Amarilla Sacaca</b> | Mucha                | Amarillo            | Blanco             | Grande          | Valles Interandinos                   |
| <b>INIA 420 – Negra Collana</b>   | Nada                 | Gris                | Negro              | Pequeño         | Altiplano, Valles Interandinos, Costa |
| <b>INIA 415 – Pasankalla</b>      | Nada                 | Gris                | Rojo               | Mediano         | Altiplano, Valles Interandinos, Costa |
| <b>Illpa INIA</b>                 | Nada                 | Crema               | Blanco             | Grande          | Altiplano                             |
| <b>Quillahuaman INIA</b>          | Regular              | Crema               | Blanco             | Mediano         | Valles Interandinos                   |
| <b>Ayacuchana INIA</b>            | Regular              | Crema               | Blanco             | Pequeño         | Valles Interandinos                   |
| <b>Amarilla Marangani</b>         | Mucha                | Anaranjado          | Blanco             | Grande          | Valles Interandinos                   |
| <b>Blanca de Juli</b>             | Poca                 | Crema               | Blanco             | Pequeño         | Altiplano                             |
| <b>Blanca de Junín</b>            | Regular              | Crema               | Blanco             | Mediano         | Valles Interandinos                   |
| <b>Huacariz</b>                   | Poca                 | Crema               | Blanco             | Mediano         | Valles Interandinos                   |
| <b>Hualhuas</b>                   | Nada                 | Crema               | Blanco             | Mediano         | Valles Interandinos                   |
| <b>Huancayo</b>                   | Regular              | Crema               | Crema              | Mediano         | Valles Interandinos                   |
| <b>Kankolla</b>                   | Poca                 | Crema               | Blanco             | Mediano         | Altiplano                             |
| <b>Mantaro</b>                    | Nada                 | Crema               | Blanco             | Mediano         | Valles Interandinos                   |
| <b>Rosada de Junín</b>            | Regular              | Crema               | Blanco             | Pequeño         | Valles Interandinos                   |
| <b>Rosada de Yanamango</b>        | Poca                 | Crema               | Blanco             | Mediano         | Valles Interandinos                   |

**Nota.** Adaptado de Ramos *et al.* (2022). Se describen las principales variedades de *Chenopodium quinoa* Willd. y sus características morfológicas y agronómicas, tales como el contenido de saponinas, coloración del grano y distribución geográfica de producción.

### 2.1.3. CALIDAD NUTRICIONAL DE LA QUINUA

Las semillas de quinua se caracterizan por poseer un perfil lipídico favorable, con una adecuada proporción de ácidos grasos esenciales, principalmente omega-6 (ácido linoleico) y omega-3 (ácido alfa-linolénico), cuya relación es considerada beneficiosa para la salud humana (Gutiérrez Gálvez, 2024).

También es rica en vitaminas y en antioxidantes de alto valor, como polifenoles y compuestos flavonoides. Interesantemente, la coloración de la capa de la semilla de quinua parece contribuir a su capacidad antioxidante gracias al contenido de flavonoides. Además, la cantidad de cada uno de estos componentes se asemeja a las necesidades nutricionales normales del cuerpo humano (Pedrali *et al.*, 2023).

### 2.1.4. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA QUINUA

**Tabla 2.**

*Clasificación taxonómica de la quinua.*

| QUINUA           | TAXONOMÍA                 |
|------------------|---------------------------|
| <b>División</b>  | Magnoliophyta             |
| <b>Clase</b>     | Magnoliopsida             |
| <b>Sub Clase</b> | Caryophyllidae            |
| <b>Orden</b>     | Caryophyllales            |
| <b>Familia</b>   | Chenopodiaceae            |
| <b>Género</b>    | Chenopodium               |
| <b>Especie</b>   | Chenopodium Quinoa Willd. |
| <b>N. V</b>      | “Quinoa”                  |

**Nota.** Adaptado de Quispe García (2023). La tabla muestra la clasificación taxonómica de *Chenopodium quinoa* Willd., detallando los niveles jerárquicos botánicos correspondientes.

### 2.1.5. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA QUINUA

Además de su valor nutricional, la quinua presenta compuestos secundarios bioactivos, entre los cuales destacan las saponinas, metabolitos de naturaleza triterpénica localizados principalmente en la capa externa del grano, responsables del sabor amargo característico y de la disminución de la aceptabilidad sensorial, especialmente cuando se encuentran en altas concentraciones en el pericarpio (Navarro Borda & Gómez Escalante, 2025),

Aunque estas sustancias poseen propiedades funcionales relevantes, como actividad antioxidante y potenciales efectos antimicrobianos, su presencia resulta desfavorable para el consumo directo, por lo que diversos procesos tecnológicos, como el lavado, pulido o escarificado, son aplicados con la finalidad de reducir su contenido y mejorar las características organolépticas del producto final (Achallma Ccoriñahui, 2025).

Por otra parte, la quinua presenta una compleja composición química que incluye compuestos fenólicos, particularmente ácidos fenólicos derivados de estructuras tipo benzoico y cinámico, así como polifenoles, entre los que destacan flavonoides como la quercetina y el kaempferol, los cuales contribuyen significativamente a su capacidad antioxidante (Montalvo & Estefanny, 2021).

Asimismo, se identifican terpenoides, incluyendo monoterpenos y triterpenos como las saponinas, además de esteroides, compuestos nitrogenados y taninos en formas hidrolizables y condensadas, los cuales participan en diversas funciones biológicas, influyendo en propiedades como la actividad antioxidante, la interacción con macromoléculas y la funcionalidad tecnológica del grano (Torres Mendoza, 2025).

**Tabla 3.**

*Composición química y valor nutricional de la quinua.*

| <b>ELEMENTO</b>                       | <b>VALOR</b> |
|---------------------------------------|--------------|
| <b>Agua</b>                           | 13,28 g      |
| <b>Energía</b>                        | 368 kcal     |
| <b>Proteína</b>                       | 14,12 g      |
| <b>Lípidos Totales (grasa)</b>        | 6,07 g       |
| <b>Cenizas</b>                        | 2,38 g       |
| <b>Carbohidratos (por diferencia)</b> | 64,16 g      |
| <b>Fibra dietaría total</b>           | 9,8 g        |
| <b>Almidón</b>                        | 52,22 g      |
| <b>Calcio</b>                         | 47 mg        |
| <b>Hierro</b>                         | 4,57 mg      |
| <b>Magnesio</b>                       | 197 mg       |
| <b>Fósforo</b>                        | 457 mg       |
| <b>Potasio</b>                        | 563 mg       |
| <b>Sodio</b>                          | 5 mg         |
| <b>Zinc</b>                           | 3,10 mg      |
| <b>Cobre</b>                          | 0,59 mg      |
| <b>Manganeso</b>                      | 2.033 mg     |
| <b>Selenio</b>                        | 0.0085 mg    |

**Nota.** Adaptado de Montalvo y Estefanny (2021). Se muestra la composición proximal y el contenido de minerales de *Chenopodium quinoa* Willd., expresados en base a 100 g de muestra.

### **2.1.6. IMPORTANCIA DE LA QUINUA**

La quinua es ampliamente reconocida por su cualidad de ser un alimento saludable y sostenible. Esta destacada semilla posee un contenido proteico de alta calidad y un perfil de aminoácidos bien equilibrado, que incluye niveles significativos de lisina y metionina. Además, la quinua también contiene una cantidad apreciable de compuestos bioactivos, tales como antioxidantes como los polifenoles, vitaminas, así como fibra, grasas y minerales, como el calcio y el hierro (Angeli *et al.*, 2020).

Los granos de quinua exhiben una variada gama de efectos farmacológicos que incluyen propiedades hipolipemiantes, antioxidantes, inmunomoduladoras, reguladoras del peso, gastroprotectoras, hipoglucemiantes, hipotensoras, probióticas, antitumorales y reguladoras de hormonas, entre otros (Ng & Wang, 2021).

En la actualidad, la quinua se distribuye ampliamente en todo el mundo y se consume como grano integral en dietas saludables o se utiliza como base para la creación de nuevos productos alimenticios enriquecidos y libres de gluten. Estas características la posicionan como una alternativa altamente adecuada para personas con enfermedad celíaca, intolerancia al gluten o distintos tipos de alergias alimentarias (Navarro Borda & Gómez Escalante, 2025).

## **2.2. AJONJOLÍ**

### **2.2.1. GENERALIDADES**

El ajonjolí (*Sesamum indicum L.*), perteneciente a la familia Pedaliaceae y al orden Lamiales, es uno de los cultivos de semillas oleaginosas autógammas más antiguos. Se cultiva principalmente en áreas que experimentan sequías frecuentes, como regiones áridas y semiáridas, donde la falta de agua es una de las principales restricciones para su producción y rendimiento (Weldemichael & Gebremedhn, 2023).

Este cultivo versátil encuentra su principal aplicación en la producción de aceite y harina, con aproximadamente el 70% de la producción mundial de ajonjolí siendo procesada para obtener estos productos. La parte restante se destina a las industrias de alimentos, confitería y bebidas (Berhe *et al.*, 2023).

Como alimento, el ajonjolí puede ser transformado en diversas opciones, que incluyen aceite de ajonjolí, pasta de ajonjolí, ajonjolí tostado y azúcar de ajonjolí, entre otros. Gracias a su elevado valor nutricional y a sus características sensoriales agradables, el ajonjolí y sus derivados son ampliamente valorados por consumidores interesados en una alimentación saludable en diversos países del mundo (Meng *et al.*, 2023).

**Figura 2.**

*Torta desgrasada de Ajonjolí.*



**Nota.** Torta desgrasada obtenida a partir de semillas de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) blanco descascarado, procedentes del Valle del Santa, Áncash, utilizada como materia prima en la formulación del snack extruido.

## 2.2.2. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL AJONJOLÍ

**Tabla 4.**

*Clasificación taxonómica del ajonjolí (Sesamum indicum L.).*

| ELEMENTO          | TAXONOMÍA          |
|-------------------|--------------------|
| Nombre científico | Sesamum indicum L. |
| Reino             | Viridiplantae      |
| Orden             | Scrophulariales    |
| Familia           | Pedaliaceae        |
| Género            | Sesamum            |
| Especie           | Indicum            |

**Nota.** Adaptado de Sigüencia Sojos y Saritama Valle (2022). La tabla muestra la clasificación taxonómica de *Sesamum indicum* L., detallando sus niveles jerárquicos desde reino hasta especie.

## 2.2.3. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DEL AJONJOLÍ

El cultivo de ajonjolí pasa por diferentes ciclos de vida. En las variedades de ciclo temprano, el período vegetativo abarca unos 80 días, mientras que, en las variedades de ciclo intermedio, este período es de aproximadamente 110 días. En las variedades de ciclo más largo, el período vegetativo se extiende hasta unos 130 días (Medrano Zumba, 2024).

La planta del ajonjolí requiere condiciones de temperatura elevada y constante, que generalmente oscilan entre los 27 y 30 °C. Temperaturas por debajo de los 18 °C durante la etapa de floración pueden llevar a la esterilidad del polen o a una caída prematura de las flores (Berhe *et al.*, 2023).

Por otro lado, la exposición a temperaturas muy altas, como 40 °C o más, puede tener un efecto negativo en el proceso de fertilización y reducir el número de cápsulas durante la etapa de floración (Sigüencia Sojos & Saritama Valle, 2022).

El sistema radicular del ajonjolí presenta un desarrollo completo y altamente ramificado, caracterizado por la presencia de una raíz pivotante bien definida, la cual favorece tanto la fijación de la planta al suelo como la absorción eficiente de agua y nutrientes, mostrando además una adecuada capacidad de adaptación a distintas condiciones edáficas, particularmente en suelos con disponibilidad hídrica limitada (Nevara *et al.*, 2022).

La planta de ajonjolí contiene entre un 50 % y un 60 % de aceites, los cuales se distinguen por su elevada estabilidad oxidativa, atribuida principalmente a la presencia de compuestos antioxidantes naturales como el sesamol, la sesamina y la sesamolina, los cuales contribuyen no solo a prolongar la vida útil del aceite, sino también a potenciar sus propiedades funcionales y su valor nutricional (Cuchilla Sánchez *et al.*, 2022).

La composición de los aceites varía en función de la variedad del cultivo de ajonjolí, así como de las condiciones agronómicas y ambientales en las que se desarrolla la planta, considerando que factores como la altura, el número de cápsulas por planta y la cantidad de semillas influyen directamente en el rendimiento y la productividad del cultivo, generando variaciones en la calidad y cantidad del aceite obtenido (Leonel, 2020).

#### **2.2.4. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL AJONJOLÍ**

El ajonjolí es una fuente importante de varios componentes de alta calidad, que incluyen aceite (44-57%), proteínas (18-25%), carbohidratos (13.5%) y cenizas (5%). Además, contiene antioxidantes naturales como el sesamol, la sesamolina y la sesamina. En lo que respecta a su composición de ácidos grasos, las semillas de ajonjolí contienen aproximadamente un 40.7-49.3% de ácido linoleico, un 29.3-41.4% de ácido oleico, un 8.0-10.3% de ácido palmítico y un 2.1-4.8% de ácido esteárico (Myint *et al.*, 2020).

**Tabla 5.**

*Composición Nutricional de las Semillas de ajonjolí.*

| <b>COMPUESTO</b>     | <b>CANTIDAD</b> |
|----------------------|-----------------|
| <b>Calorías</b>      | 565 kcal        |
| <b>Agua</b>          | 3.30 g          |
| <b>Proteína</b>      | 17 g            |
| <b>Grasas</b>        | 48 g            |
| <b>Magnesio</b>      | 356 mg          |
| <b>Carbohidratos</b> | 26 g            |
| <b>Fibra</b>         | 14 g            |
| <b>Calcio</b>        | 989 mg          |
| <b>Hierro</b>        | 14.76 mg        |
| <b>Fósforo</b>       | 638 mg          |
| <b>Vitamina C</b>    | 0.0 mg          |
| <b>Potasio</b>       | 475 mg          |
| <b>Zinc</b>          | 7.16 mg         |

**Nota.** Adaptado de Cuchilla Sánchez *et al.* (2022). Se muestra la composición proximal y el contenido de minerales de las semillas de *Sesamum indicum L.*, expresados en base a 100 g de muestra.

De entre estos, los ácidos linoleico y oleico destacan por ser especialmente relevantes, ya que constituyen el 83% de los ácidos grasos poliinsaturados y tienen una gran importancia para la salud humana. Asimismo, las semillas de ajonjolí destacan por su contenido de vitaminas, entre las que se encuentran la vitamina A, tiamina (B1), riboflavina (B2), niacina (B3), piridoxina (B6), folato (B9), así como las vitaminas C y E (Cuchilla Sánchez *et al.*, 2022).

### **2.2.5. CARACTERÍSTICAS DE LA SEMILLA DE AJONJOLÍ**

Las semillas presentan un tamaño reducido, con una longitud aproximada de 2 a 4 mm y un ancho de 1 a 2 mm. Se encuentran recubiertas por una testa cuya función principal es resguardar el endospermo, el cual constituye una fuente fundamental de nutrientes durante el proceso de germinación (Bajaña Morán, 2022).

Además, las semillas de ajonjolí tienen una forma aplanada y pueden variar en color desde blanco hasta gris oscuro. Su ciclo de crecimiento es variable, normalmente de aproximadamente 90 a 130 días, y esto depende en gran medida de las condiciones ecológicas y del suelo en las que se cultiven (Silvera Mendoza, 2024).

### **2.2.6. ACEITE DE AJONJOLÍ**

Este líquido oleaginoso se obtiene a partir de semillas de ajonjolí que han sido tostadas mediante procesos de prensado o extracción con agua. Debido a su distintivo sabor, este aceite goza de gran aceptación en el mercado. Lo que lo diferencia de otros aceites vegetales son sus componentes antioxidantes naturales, como la sesamina y la vitamina E (Li *et al.*, 2023).

El ajonjolí contiene principalmente ácido oleico (C18:1) y ácido linoleico (C18:2) como sus principales ácidos grasos, mientras que los principales ácidos grasos saturados son el ácido palmítico (C16:0) y el ácido esteárico (C18:0) (Park *et al.*, 2023). Además, se encuentran otros compuestos lipídicos como policosanoles, fitosteroles y tocoferoles, que están principalmente asociados con propiedades antioxidantes (Mora *et al.*, 2023).

Debido a su destacado valor nutricional, el aceite de ajonjolí suele comercializarse a un costo superior en comparación con otros aceites comestibles, como los de soja, canola, girasol y maíz (Chen *et al.*, 2023). En países como China, se registra una elevada frecuencia de adulteración en el aceite de sésamo, ya que su precio puede ser hasta tres o diez veces más elevado que el de los aceites comestibles convencionales (Li *et al.*, 2023).

### **2.2.7. DESGRASADO DEL AJONJOLÍ**

El proceso de desgrasado del ajonjolí (*Sesamum indicum*) se refiere a la remoción del aceite presente en sus semillas, generalmente a través de métodos mecánicos (prensado en frío) o mediante extracción con solventes. Como resultado, se obtiene una torta o harina desgrasada que conserva una proporción significativa de compuestos de alto valor nutricional, particularmente proteínas (Villacrés Pérez, 2022).

Este subproducto representa una fuente proteica altamente aprovechable, con contenidos que pueden alcanzar hasta el 50% de proteínas, lo que le confiere un gran potencial como ingrediente funcional en la formulación de alimentos con valor agregado. Además, la harina de ajonjolí desgrasada mantiene una fracción importante de fibra dietética, minerales y compuestos bioactivos, como lignanos y antioxidantes naturales, lo que la convierte en una alternativa saludable y económica para enriquecer productos alimenticios (Rodríguez Meza, 2024).

Su aplicación ha sido estudiada en distintos ámbitos tecnológicos, abarcando la elaboración de productos como fideos, bebidas de origen vegetal y artículos de panificación y repostería, entre otros. En particular, estudios recientes evidencian su efectividad como ingrediente funcional en la elaboración de galletas fortificadas, contribuyendo tanto a la mejora del valor nutricional como de las propiedades sensoriales del producto final (Nevara *et al.*, 2022).

## **2.2.8. USOS Y APLICACIONES DEL AJONJOLÍ Y SUBPRODUCTOS DERIVADOS**

El ajonjolí presenta la capacidad de sustituir parcialmente las proteínas y grasas de origen animal en la dieta humana, debido a que constituye una importante fuente de proteínas vegetales y lípidos saludables. Además, el ajonjolí es una fuente beneficiosa de vitaminas, minerales y fibra, y también contiene antioxidantes, lo que lo convierte en un ingrediente utilizado en productos farmacéuticos (Lukurugu *et al.*, 2023).

En países del este de Asia, las semillas de ajonjolí tostadas son comunes como condimento en una variedad de productos de panadería, como pan, galletas y snacks salados. Por otro lado, en el Lejano Oriente y el norte de África, se consumen en forma de pasta de ajonjolí, conocida como tahini. En América del Norte, las semillas de sésamo peladas se usan como topping para pan y pasteles. En Europa, tanto las semillas de ajonjolí enteras como las peladas se emplean como edulcorantes y para decorar productos horneados y dulces, como pan, pasteles, galletas y caramelos (Musa Özcan & Tanrıverdi, 2023).

La harina de ajonjolí posee un significativo potencial como fuente de proteína vegetal (Cao *et al.*, 2023), Su composición única de aminoácidos, que se caracteriza por ser alta en metionina y cisteína, y baja en lisina, implica que su consumo en conjunto con proteína de soja puede proporcionar un perfil de aminoácidos esenciales más. Además de esto, se puede emplear como agente emulsionante y es adecuada para la elaboración de la masa de pan y pasteles completo (Sá *et al.*, 2022).

## 2.3. ARROZ

### 2.3.1. GENERALIDADES

El arroz, científicamente denominado *Oryza sativa* L., es un alimento esencial en la dieta de gran parte de la población mundial, debido a su contribución energética y nutricional. Este grano se consume ampliamente no solo en naciones asiáticas, sino también en poblaciones de Australia, Europa, África y América (Bagchi *et al.*, 2023). Las variedades tradicionales de arroz contienen cantidades significativas de aminoácidos, antioxidantes, compuestos fitoquímicos, vitamina E y otros nutrientes (Rojas Reyes, 2024).

Los principales componentes de las semillas de arroz incluyen el almidón, las proteínas de reserva, los aminoácidos y los lípidos, entre otros (do Nascimento *et al.*, 2022). En particular, la suma del almidón y las proteínas representa más del 90 % del peso en base seca del grano de arroz (He *et al.*, 2021).

#### **Figura 3.**

*Granos de arroz (Variedad cultivar IR 43).*



**Nota.** Arroz pulido (*Oryza sativa* L.) del cultivar IR 43 (comercialmente conocido como NIR), clasificado como grano mediano de calidad grado 2 superior, procedente del Valle del Santa, región Áncash, utilizado como materia prima en la elaboración del snack extruido.

### 2.3.2. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL ARROZ

**Tabla 6.**

*Clasificación taxonómica del cultivo de arroz (Oryza sativa L.).*

| <b>CATEGORÍA TAXONÓMICA</b> | <b>DENOMINACIÓN</b>  |
|-----------------------------|----------------------|
| <b>Reino</b>                | <i>Plantae</i>       |
| <b>División</b>             | <i>Magnoliophyta</i> |
| <b>Clase</b>                | <i>Liliopsida</i>    |
| <b>Subclase</b>             | <i>Commelinidae</i>  |
| <b>Orden</b>                | <i>Poales</i>        |
| <b>Familia</b>              | <i>Poaceae</i>       |
| <b>Género</b>               | <i>Oryza</i>         |
| <b>Especie</b>              | <i>sativa</i>        |

**Nota.** Adaptado de Martínez García y Tucno Conde (2024). La tabla muestra la clasificación taxonómica de *Oryza sativa* L., detallando sus niveles jerárquicos desde reino hasta especie.

### 2.3.3. ALMIDÓN DEL ARROZ

El almidón presente en el arroz está conformado por amilosa y amilopectina, cuya proporción y estructura inciden de manera importante en diversas propiedades de calidad del grano. Por su parte, las proteínas representan el segundo componente de reserva en las semillas de arroz y, por lo general, constituyen entre el 8 % y el 10 % del peso seco del arroz integral (Xinkang *et al.*, 2023).

### 2.3.4. VALOR NUTRICIONAL DEL ARROZ

Al evaluar el valor nutricional del grano de arroz, resulta esencial analizar no solo el contenido total de proteínas, sino también la proporción de los distintos aminoácidos. En comparación con otros cereales, el arroz presenta un perfil aminoacídico más balanceado y sobresale por su mayor contenido de

lisina, considerada por la Organización Mundial de la Salud como el aminoácido esencial más limitante en la dieta humana (Xie *et al.*, 2023).

**Tabla 7.**

*Composición proximal y contenido nutricional del arroz blanco por cada 100 g de muestra.*

| <b>COMPONENTE</b>            | <b>VALOR</b> |
|------------------------------|--------------|
| <b>Contenido de agua (%)</b> | 15.5         |
| <b>Proteínas (g)</b>         | 6.2          |
| <b>Lípidos (g)</b>           | 0.8          |
| <b>Carbohidratos (g)</b>     | 76.9         |
| <b>Fibra dietaria (g)</b>    | 0.3          |
| <b>Cenizas (g)</b>           | 0.6          |
| <b>Calcio (mg)</b>           | 6            |
| <b>Fósforo (mg)</b>          | 150          |
| <b>Hierro (mg)</b>           | 0.4          |
| <b>Sodio (mg)</b>            | 2            |
| <b>Energía (kcal)</b>        | 351          |
| <b>Tiamina (mg)</b>          | 0.09         |
| <b>Riboflavina (mg)</b>      | 0.03         |
| <b>Niacina (mg)</b>          | 1.4          |

**Nota.** Adaptado de Belén *et al.* (2021). La tabla presenta la composición proximal y el contenido nutricional del arroz blanco (*Oryza sativa* L.), expresados por 100 g de muestra, incluyendo macronutrientes, minerales y vitaminas.

El nivel de proteínas y la distribución de los aminoácidos presentes en las semillas de arroz constituyen factores clave para determinar su valor nutricional. La mayoría de las proteínas presentes en las semillas de arroz son proteínas de almacenamiento, y la cantidad y composición de estas proteínas (RSP) tienen un impacto significativo en aspectos como la calidad de cocción,

el valor nutricional, la calidad de procesamiento y la apariencia del arroz (Lu *et al.*, 2022).

## **2.4. SNACK**

### **2.4.1. GENERALIDADES**

La palabra "snacks" suele asociarse con alimentos poco saludables, altos en calorías vacías y con ingredientes perjudiciales como azúcar, sodio y grasas saturadas, como pasteles, galletas, papas fritas y bebidas azucaradas (Bruno *et al.*, 2024).

Estos comestibles pueden tener sabores salados o dulces, ser sometidos a fritura o extrusión, y no han pasado por un proceso de fermentación, ya sea química o biológica. Por lo general, se presentan en envases y están disponibles en diferentes formas (Espinoza C. *et al.*, 2021).

### **2.4.2. PROCESOS DE FABRICACIÓN DE SNACKS**

Los snacks representan una categoría estratégica dentro de la industria alimentaria debido a su creciente demanda y al desarrollo continuo de tecnologías que optimizan su producción. Entre los métodos más utilizados para su elaboración destacan la fritura y la extrusión, siendo esta última ampliamente adoptada por su eficiencia y versatilidad (Quispe Chuquiyaury, 2022).

La extrusión térmica, en particular, se ha consolidado como una tecnología clave por su capacidad de reducir significativamente los tiempos de cocción, minimizar el uso de grasa y permitir una transformación estructural controlada de los ingredientes, lo que se traduce en menores costos operativos y productos más saludables (Delgado Laime *et al.*, 2024).

En las últimas décadas, la evolución hacia tecnologías de tercera generación ha permitido la implementación de sistemas avanzados como la calefacción por infrarrojos, el secado por aire caliente y el uso de microondas, los cuales reducen considerablemente la absorción de aceite en comparación con los métodos convencionales de fritura. Estas innovaciones también

permiten incorporar aceite en etapas posteriores del proceso, logrando una mejora en el perfil sensorial sin comprometer el valor nutricional del producto final (Santos Cortés, 2025).

## **2.5. EXTRUSIÓN**

### **2.5.1. GENERALIDADES**

La extrusión es un proceso industrial que se lleva a cabo mediante la combinación de fuerzas mecánicas, altas temperaturas y humedad. Durante este procedimiento, las materias primas se calientan debido al calor generado por la fricción interna, la deformación del material y la aplicación de calor externo (Fernández Del Pino, 2021)

Este proceso implica la aplicación de varias etapas unitarias, como compresión, mezcla, cizallamiento, amasado y calentamiento a altas temperaturas, con el fin de transformar el alimento en una masa fundida. Esta masa fundida se fuerza a través de una abertura estrecha, lo que da como resultado alimentos parcial o completamente cocidos con una pérdida mínima de nutrientes (Sanusi *et al.*, 2023).

La densidad de los productos extruidos está influenciada por las condiciones de extrusión, como la cantidad de humedad en la mezcla de alimentos y la temperatura de fusión en la matriz. Por ejemplo, altos niveles de humedad y bajas temperaturas de fusión tienden a producir productos más densos (Neder-Suárez *et al.*, 2023).

La introducción de agentes de soplado físico, como el gas N<sub>2</sub>, puede aumentar la expansión de los alimentos y resultar en una estructura celular más pequeña y uniforme (Luo *et al.*, 2020).

## **2.5.2. PRODUCCIÓN DE SNACKS EXTRUIDOS A PARTIR DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN**

La elaboración de snacks extruidos se basa en la aplicación de la tecnología de extrusión, este proceso consiste en la mezcla homogénea de los ingredientes, que posteriormente es sometida a condiciones controladas de alta presión, elevadas temperaturas y cizallamiento mecánico dentro de un extrusor. En estas condiciones, ocurren procesos como la gelatinización del almidón, la desnaturalización de las proteínas y la formación de una masa de carácter viscoelástico que, al ser expulsada a través de la boquilla del extrusor, experimenta una rápida expansión debido al cambio repentino de presión (Guzmán Esteban & Puente Barrios, 2024).

Una de las principales ventajas de este método es su eficiencia energética y operativa, ya que emplea un tratamiento térmico de corta duración y alta temperatura, lo que permite una cocción rápida que minimiza la pérdida de nutrientes termoestables, preservando al mismo tiempo la calidad sensorial del producto final y permitiendo el diseño de productos con formas, colores, texturas y sabores diversos, adaptables a las preferencias del consumidor (Ortiz Suárez, 2023).

En la actualidad, la extrusión se ha consolidado como una de las tecnologías más empleadas en la industria alimentaria para la elaboración de diversos productos tipo snack, debido a su versatilidad, facilidad de automatización y costos operativos relativamente bajos. Asimismo, posibilita la incorporación de ingredientes no convencionales o subproductos agroindustriales, favoreciendo la innovación y la sostenibilidad en el desarrollo de alimentos funcionales y saludables (Velasquez Meza & Florez Huillca, 2024).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN**

El desarrollo de la presente investigación se realizó en distintas instalaciones especializadas de la Universidad Nacional del Santa, incluyendo la Escuela de Ingeniería Agroindustrial, el Instituto de Investigación Tecnológica de Agroindustria y la Planta Piloto Agroindustrial. Estos ambientes cuentan con la infraestructura, equipamiento y condiciones necesarias para la ejecución de trabajos experimentales en el área de alimentos, lo cual permitió llevar a cabo adecuadamente cada una de las etapas del estudio.

Para la ejecución de los ensayos y análisis correspondientes, se utilizaron los siguientes espacios:

- **Instituto de Investigación Tecnológica de Agroindustria**
  - Laboratorio de Análisis y Composición de Productos Agroindustriales
- **Escuela de Ingeniería Agroindustrial**
  - Laboratorio de Microbiología y Toxicología
- **Planta Piloto Agroindustrial**
  - Ambiente acondicionado para la realización de pruebas sensoriales

#### **3.2. MATERIALES Y EQUIPOS**

##### **3.2.1. MATERIA PRIMA**

Para el desarrollo experimental se utilizaron como insumos principales arroz, quinua y ajonjolí, en cantidades de 15 kg, 13 kg y 9 kg, respectivamente. La selección de estas materias primas se realizó considerando criterios de calidad y disponibilidad, con la finalidad de elaborar las distintas formulaciones del snack extruido.

Las características de cada materia prima fueron las siguientes:

- **Arroz (*Oryza sativa*):** Se utilizó arroz pulido del cultivar IR 43 (comercialmente conocido como NIR), clasificado como grano mediano de calidad grado 2 superior, procedente del Valle del Santa, en la región Áncash.
- **Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*):** Se utilizó quinoa perlada previamente desaponificada, perteneciente a la variedad Rosada de Junín, proveniente del distrito de Caraz, provincia de Huaylas, Áncash.
- **Ajonjolí (*Sesamum indicum*):** Se emplearon semillas de ajonjolí blanco descascarado, procedentes del Valle del Santa, Áncash.

En el Perú, el cultivo de ajonjolí no solo se desarrolla en zonas de la costa, sino también en algunas regiones de la sierra, donde las condiciones climáticas permiten su producción y aprovechamiento agroindustrial.

### 3.2.2. MIEL DE ABEJA

Como insumo complementario en el proceso de elaboración del snack extruido, se empleó miel de abeja comercial marca Huerto Mágico, utilizada con la finalidad de aportar dulzor, mejorar la aceptabilidad sensorial y favorecer las características organolépticas del producto final.

La caracterización fisicoquímica básica de la miel fue realizada en el Laboratorio de Investigación del Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial (IITA). El contenido de sólidos solubles (°Brix) fue determinado experimentalmente mediante el uso de un refractómetro portátil, obteniéndose un valor de 70.2 °Bx. El registro fotográfico del procedimiento y del equipo utilizado se presenta en el **Anexo 15**.

A partir del valor experimental de °Brix, se procedió al cálculo teórico de la densidad de la miel mediante la siguiente relación:

$$\rho = 0.0039 (^\circ\text{Brix}) + 0.998$$

**Donde:**

- $\rho$  = densidad de la miel (g/mL)

- $^{\circ}\text{Brix}$  = sólidos solubles de la miel

**Reemplazando:**

$$\rho = 0.0039 (70.2) + 0.998$$

$$\rho = 1.27 \text{ g/mL}$$

Los valores obtenidos fueron posteriormente contrastados con la ficha técnica de la miel de abeja comercial utilizada en la investigación, presentada en el **Anexo 14**.

**Tabla 8.**

*Características fisicoquímicas de la miel de abeja utilizada en la investigación.*

| <b>Parámetro</b>   | <b>Valor</b>                |
|--|-----------------------------|
| <b><math>^{\circ}\text{Brix}</math> (sólidos solubles)</b> | 70.2 $^{\circ}\text{Bx}$    |
| <b>Densidad</b>  | 1.27 g/mL                   |
| <b>Color</b>   | Ámbar claro                 |
| <b>Olor</b>  | Dulce                       |
| <b>Apariencia</b>  | Líquido viscoso y homogéneo |
| <b>Transparencia</b>                                       | Libre de impurezas visibles |

Nota. El contenido de sólidos solubles fue determinado experimentalmente en el IITA mediante refractometría, mientras que la densidad fue calculada teóricamente a partir del valor de  $^{\circ}\text{Brix}$  y contrastada con la ficha técnica de la miel de abeja comercial utilizada en la investigación (**Anexo 14**). Las características organolépticas fueron determinadas mediante observación directa.

### **3.2.3. MATERIALES DE LABORATORIO**

Para el desarrollo de las diferentes actividades experimentales se utilizaron diversos materiales de uso común en laboratorio, los cuales facilitaron la ejecución de los análisis y procedimientos:

- Placas de Petri
- Mortero de laboratorio
- Vasos de precipitación (50 y 100 mL)
- Matraces aforados (250 y 1000 mL)
- Probetas graduadas (50 y 100 mL)
- Pipetas volumétricas (1 y 10 mL)
- Frascos lavadores (pizetas)
- Pinzas metálicas de sujeción
- Coladores
- Crisoles
- Embudos de vidrio
- Matraces tipo Erlenmeyer (250 y 500 mL)
- Termómetro

### **3.2.4. OTROS MATERIALES**

Adicionalmente, se emplearon materiales auxiliares necesarios para la manipulación, registro y acondicionamiento de las muestras:

- Papel de filtro
- Toallas de papel
- Láminas de aluminio

- Marcadores indelebles
- Fichas para evaluación sensorial
- Vasos desechables

### 3.2.5. REACTIVOS

En los análisis fisicoquímicos y demás determinaciones de laboratorio se utilizaron reactivos de grado analítico, entre los cuales se incluyen:

- Ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ , 98 %)
- Ácido clorhídrico (HCl 0.1 N)
- Ácido bórico ( $H_3BO_3$  al 4 %)
- Hexano ( $C_6H_{14}$ , 95 %)
- Hidróxido de sodio (NaOH 0.1 N)

### 3.2.5. EQUIPOS

#### 3.2.5.1. OBTENCIÓN DE HARINAS

Para la preparación de las harinas se utilizaron los siguientes equipos:

- **Secador de bandejas:** marca TORRH, modelo SBT-10X10, serie JP0010113, de procedencia peruana.
- **Sistema de molienda y tamizado:** marca TORRH, modelo MDMT60XL, serie JP0011112, de origen peruano.
- **Molino ultracentrífugo:** marca RETSCH, modelo ZM200, procedente de Alemania.
- **Tamiz vibratorio:** marca RETSCH, modelo AS 200 basic, de procedencia estadounidense.

#### 3.2.5.2. ELABORACIÓN DE SNACKS

Para la producción de los snacks extruidos se emplearon los siguientes equipos:

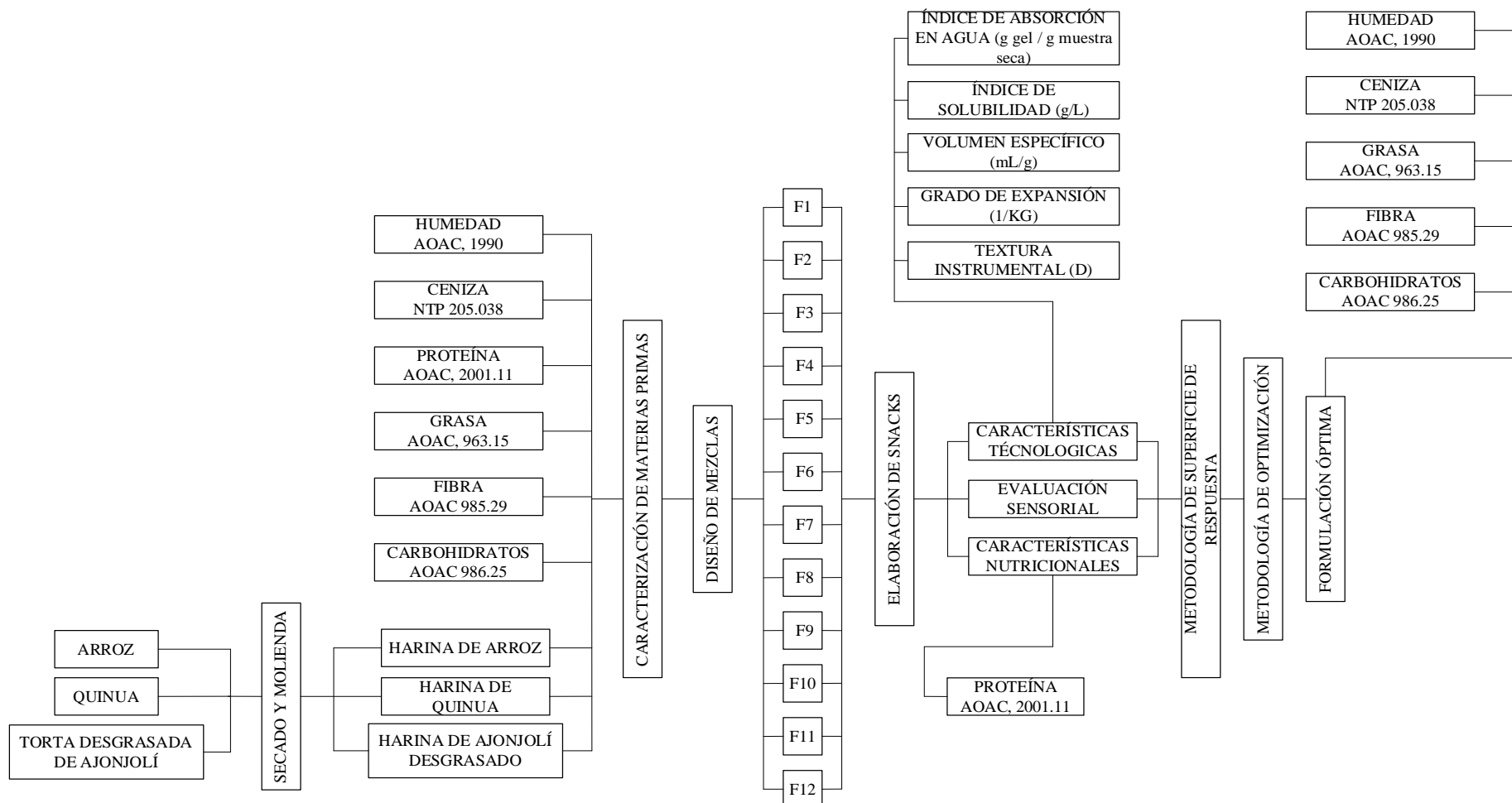
- **Extrusor de doble tornillo:** marca INBRAMAQ, modelo PQ DRX-50, de procedencia brasileña.
- **Balanza gramera:** marca PRECISA, modelo XB4200C, con precisión de 0.01 g, de origen suizo.
- **Selladora:** marca TEW, modelo 207-MCSX, serie 20460047, de procedencia china.

### **3.3. METODOLOGÍA**

En la **Figura 4** se presenta el diagrama del diseño experimental utilizado en el desarrollo de la investigación.

**Figura 4.**

*Diagrama experimental del snack extruido.*



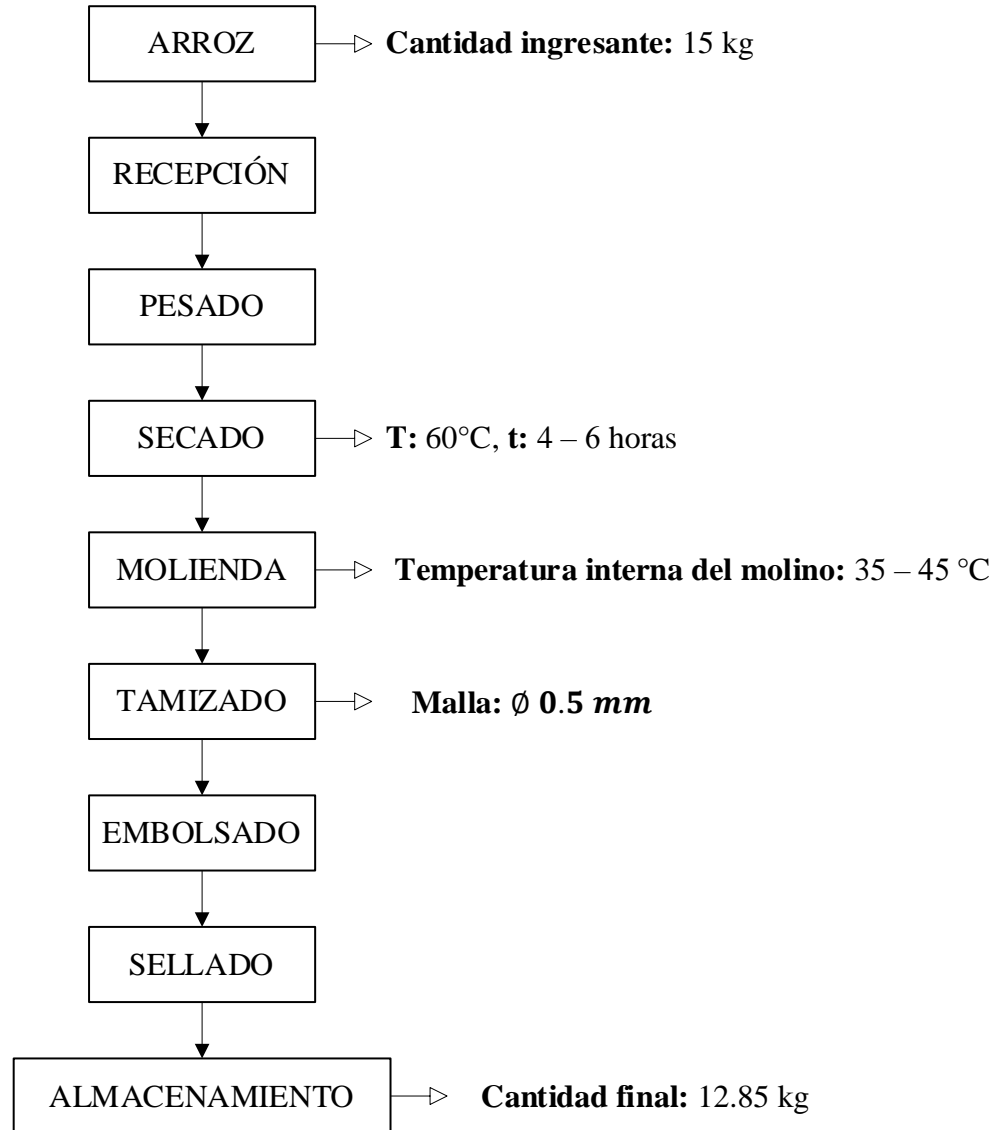
**Nota.** Elaboración propia, basada en el diseño experimental y las etapas del proceso de extrusión.

### 3.3.1. PROCESO DE OBTENCIÓN DE HARINAS A PARTIR DE MATERIAS PRIMAS

#### 3.3.1.1. HARINA DE ARROZ

**Figura 5.**

*Diagrama de flujo para la obtención de harina de arroz.*



**Nota.** Elaboración propia, basada en las etapas de procesamiento del arroz para la obtención de harina.

## **DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE HARINA DE ARROZ**

**Recepción de la materia prima:** El proceso se inició con la recepción del arroz (*Oryza sativa*), el cual fue sometido a una evaluación visual con el propósito de comprobar su calidad, verificando la ausencia de impurezas, infestaciones o evidencias de deterioro.

**Pesado:** Posteriormente, se procedió a pesar la materia prima utilizando una balanza gramera con una precisión de  $\pm 0.01$  g, registrándose un total de 15 kg de arroz como cantidad base para el procesamiento.

**Secado:** El grano fue sometido a un tratamiento de secado en un equipo de bandejas, operando a una temperatura de 60 °C durante aproximadamente 6 horas. Este paso permitió disminuir el contenido de humedad hasta niveles adecuados, favoreciendo su estabilidad y facilitando la etapa de molienda.

**Molienda:** Una vez finalizado el secado, el arroz fue procesado en un molino de martillos, obteniéndose una harina de granulometría fina. Esta operación permitió transformar el grano en un material más uniforme, adecuado para su posterior aplicación en procesos como la extrusión.

**Tamizado:** La harina obtenida fue sometida a un proceso de tamizado utilizando una malla de 0.5 mm, con el objetivo de eliminar partículas de mayor tamaño y obtener una textura uniforme en el producto final.

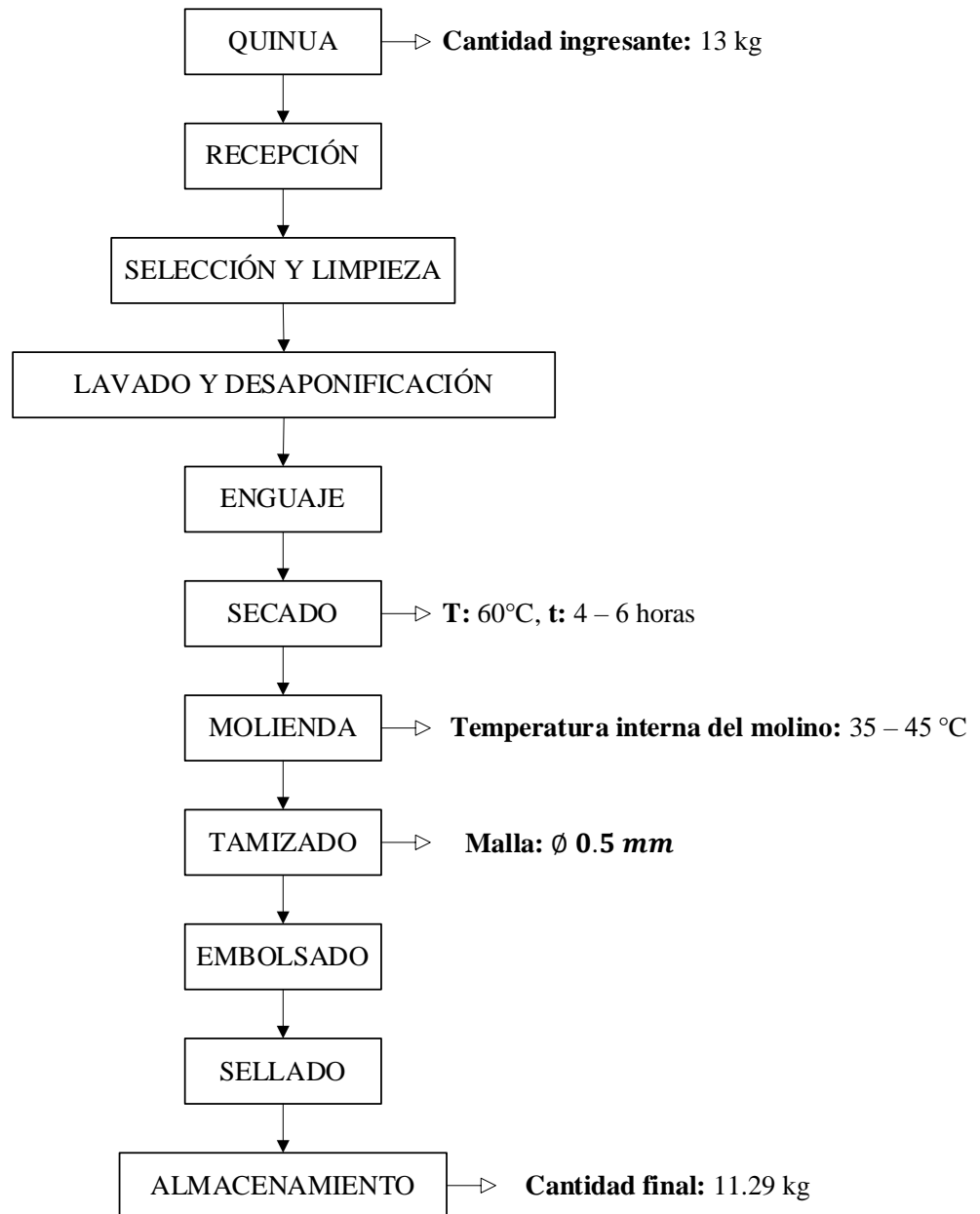
**Envasado:** Seguidamente, la harina fue colocada en bolsas de polietileno, las cuales fueron selladas mediante un equipo térmico para evitar la absorción de humedad del ambiente.

**Almacenamiento:** Finalmente, las muestras se almacenaron bajo condiciones controladas, a temperatura ambiente comprendida entre 20 y 25 °C y con una humedad relativa menor al 65 %, hasta su empleo en las etapas de formulación y elaboración del snack extruido.

### 3.3.1.2. HARINA DE QUINUA

**Figura 6.**

*Diagrama de flujo para la obtención de harina de quinua.*



**Nota.** Elaboración propia, basada en las etapas de procesamiento de la quinua para la obtención de harina.

## DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE HARINA DE QUINUA

**Recepción de la materia prima:** El proceso se inició con la recepción de granos de quinua (*Chenopodium quinoa*), los cuales fueron sometidos a una evaluación visual con el fin de verificar su calidad, asegurando la ausencia de impurezas, humedad excesiva, presencia de plagas y cualquier indicio de deterioro.

**Selección y limpieza:** Los granos de quinua fueron seleccionados manualmente con la finalidad de retirar impurezas, partículas extrañas y granos deteriorados que pudieran afectar la calidad de la harina obtenida.

**Lavado y desaponificación:** Posteriormente, la quinua fue sometida a un proceso de lavado con agua potable para eliminar las saponinas presentes en la superficie del grano, compuestos responsables del sabor amargo característico. El lavado se realizó hasta obtener agua de enjuague sin presencia de espuma visible.

**Enjuague:** Luego del proceso de desaponificación, los granos fueron enjuagados con abundante agua potable para retirar residuos de saponinas y garantizar condiciones adecuadas para el procesamiento posterior.

**Secado:** Los granos fueron sometidos a secado en un equipo de bandejas, operando a una temperatura constante de 60 °C durante un intervalo aproximado de 4 a 6 horas. Este tratamiento permitió reducir el contenido de humedad, favoreciendo las condiciones necesarias para una molienda eficiente.

**Molienda:** Posteriormente, la quinua seca fue procesada en un molino de martillos. Durante esta operación, la temperatura interna del equipo se mantuvo entre 35 y 45 °C, obteniéndose una harina de granulometría fina, homogénea y adecuada para su uso en procesos tecnológicos como la extrusión.

**Tamizado:** La harina resultante fue sometida a un proceso de tamizado mediante una malla de 0.5 mm, con la finalidad de eliminar partículas de mayor tamaño y asegurar una textura uniforme.

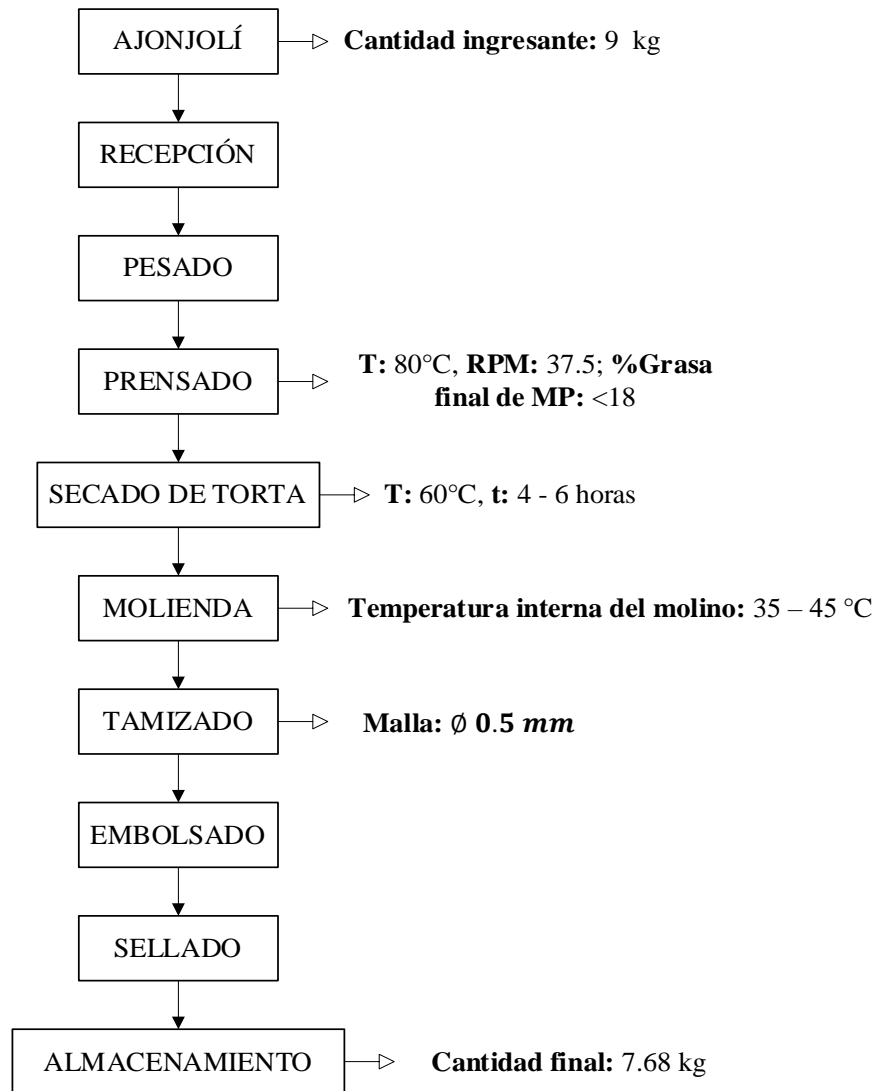
**Envasado:** Posteriormente, el producto fue envasado en bolsas de polietileno aptas para uso alimentario, las cuales fueron selladas mediante calor con el fin de evitar la absorción de humedad del ambiente y preservar sus propiedades fisicoquímicas.

**Almacenamiento:** Finalmente, la harina de quinua fue almacenada bajo condiciones controladas, a temperatura ambiente entre 20 y 25 °C y con humedad relativa menor al 65%, hasta su utilización en la elaboración del snack extruido. El rendimiento final obtenido fue aproximadamente de 11.29 kg.

### 3.3.1.3. HARINA DE AJONJOLÍ DESGRASADO

**Figura 7.**

*Diagrama de flujo para la obtención de harina de ajonjolí desgrasado.*



**Nota.** Elaboración propia, basada en las etapas de procesamiento del ajonjolí para la obtención de harina.

## **DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE HARINA DE AJONJOLÍ DESGRASADO**

**Recepción de la materia prima:** El procedimiento se inició con la recepción de semillas de ajonjolí (*Sesamum indicum*), las cuales fueron evaluadas visualmente para verificar su estado.

**Pesado** Seguidamente, se realizó el pesaje de la materia prima utilizando una balanza gramera con precisión de  $\pm 0.01$  g, registrándose una cantidad inicial de 9 kg, que sirvió como base para las etapas posteriores.

**Prensado:** Las semillas fueron sometidas a un proceso de prensado mecánico a una temperatura de 80 °C y una velocidad de 37.5 rpm, con el objetivo de extraer parcialmente el aceite presente. Como resultado de esta operación, se obtuvo una torta con un contenido graso inferior al 18 %, apta para su posterior transformación en harina.

**Secado de la torta:** La torta obtenida fue llevada a un secador de bandejas, donde se mantuvo a 60 °C durante un periodo aproximado de 4 a 6 horas. Este tratamiento permitió reducir el contenido de humedad y facilitar la etapa de molienda.

**Molienda:** Una vez seco el material, se procedió a su molienda mediante un molino de martillos. Durante esta operación, la temperatura interna del equipo se controló entre 35 °C y 45 °C. Como resultado, se obtuvo una harina fina.

**Tamizado:** Posteriormente, la harina fue sometida a tamizado empleando una malla de 0.5 mm, lo que permitió retirar fracciones gruesas y obtener un producto con granulometría uniforme.

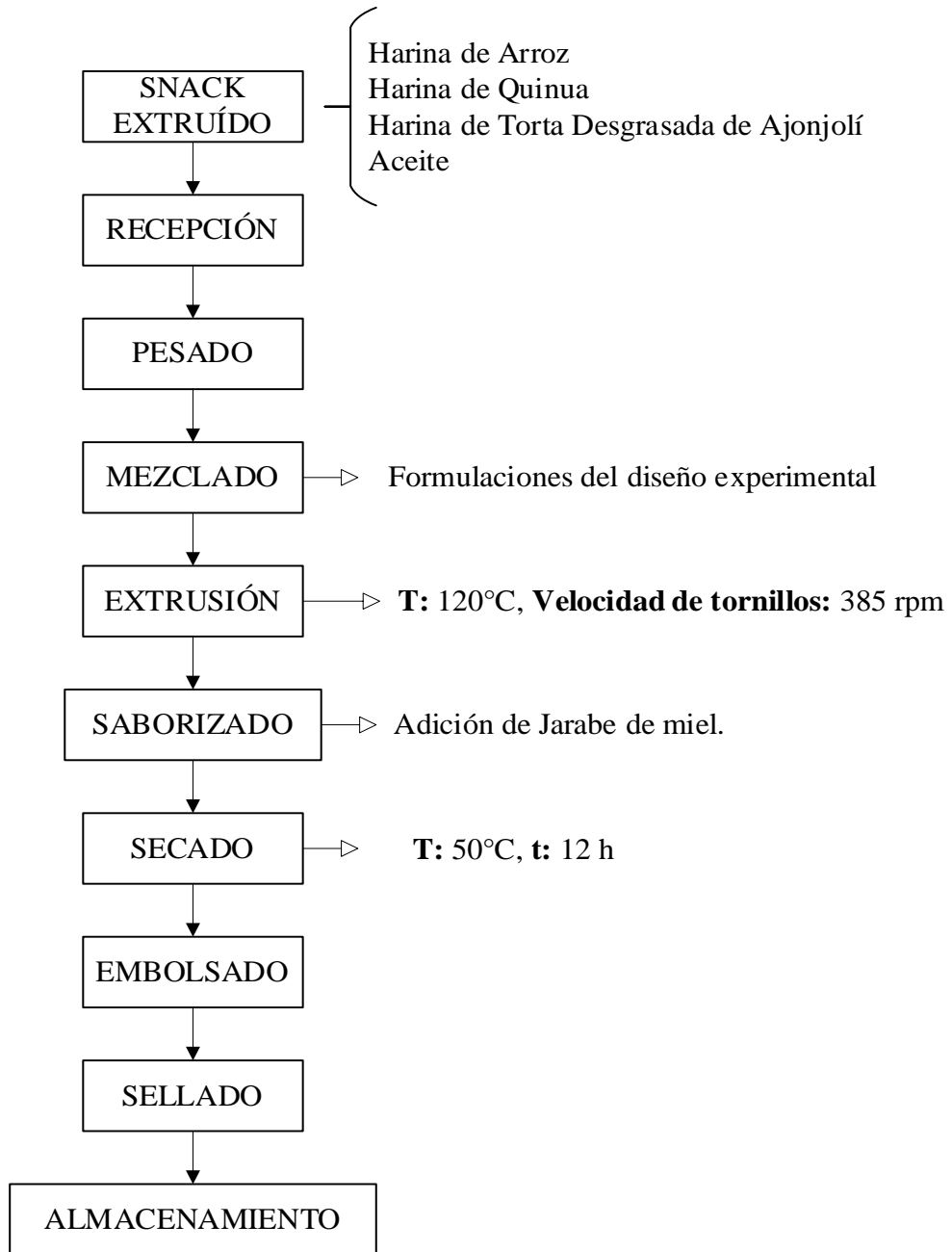
**Envasado:** El producto final se colocó en bolsas de polietileno aptas para uso alimentario, las cuales fueron selladas mediante calor con el fin de evitar la absorción de humedad y conservar sus características fisicoquímicas.

**Almacenamiento:** Finalmente, la harina de ajonjolí desgrasado se conservó en condiciones controladas, a temperatura ambiente entre 20 y 25 °C y con humedad relativa menor al 65 %, hasta su utilización en la elaboración del snack extruido. El rendimiento final obtenido fue de aproximadamente 7.68 kg.

### 3.3.2. PROCESO TECNOLÓGICO PARA LA ELABORACIÓN DE SNACK EXTRUIDO

**Figura 8.**

*Diagrama de flujo del proceso de elaboración del snack extruido.*



**Nota.** Elaboración propia, basada en las etapas del proceso de extrusión y formulaciones evaluadas en el presente estudio.

## **DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE SNACK EXTRUIDO**

**Recepción de insumos:** El proceso comienza con la recepción de las materias primas, que incluyen harina de arroz, harina de quinua, harina de ajonjolí desgrasado y aceite vegetal.

**Pesado:** Cada componente es dosificado de manera individual empleando una balanza digital de alta precisión, conforme a las proporciones definidas en el diseño experimental. Esta etapa permite garantizar la exactitud en la formulación de las mezclas.

**Mezclado:** Los ingredientes previamente pesados se someten a un proceso de mezcla, con el objetivo de lograr una distribución homogénea de todos los componentes, asegurando uniformidad antes de la extrusión.

**Extrusión:** La mezcla obtenida es alimentada a un extrusor, donde es sometida a condiciones controladas de temperatura y esfuerzo mecánico. El proceso se lleva a cabo a 120 °C y con una velocidad de tornillos de 385 rpm. Bajo estas condiciones, la masa experimenta transformaciones fisicoquímicas debido al calor, la presión y el cizallamiento, generando una estructura expandida característica del producto.

**Saborizado:** Los productos extruidos son posteriormente acondicionados mediante la aplicación superficial de miel de abeja, lo que contribuye a mejorar sus propiedades sensoriales, aportando dulzor y apariencia atractiva.

**Secado:** Luego del saborizado, los snacks son sometidos a un proceso de secado en horno a 50 °C durante 12 horas, con el fin de disminuir el contenido de humedad, mejorar la estabilidad del producto y lograr una textura crujiente.

**Envasado:** Una vez finalizado el secado, los productos se colocan en envases plásticos, ya sea en presentaciones individuales o familiares, y se sellan térmicamente para evitar la absorción de humedad y protegerlos de contaminantes externos.

**Almacenamiento:** Finalmente, los snacks extruidos son conservados en un ambiente fresco y seco, bajo condiciones controladas de temperatura y humedad, hasta su posterior distribución o consumo.

### 3.3.3. METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

Las materias primas empleadas en la elaboración del snack extruido, harina de quinua, harina de arroz y harina de ajonjolí desgrasado, fueron sometidas a un análisis químico proximal con la finalidad de establecer su composición nutricional básica.

Dichas determinaciones se llevaron a cabo empleando métodos oficiales reconocidos, conforme a los lineamientos de la AOAC y la Norma Técnica Peruana (NTP), tal como se detalla a continuación.

#### - **Humedad**

**Método:** AOAC, 1990

**Principio:** Consiste en la desecación de la muestra a 105 °C hasta alcanzar un peso constante. La pérdida de peso representa el contenido de humedad.

**Fórmula:**

$$\%Humedad = \left( \frac{P_i - P_f}{P_i} \right) \times 100$$

**Donde:**

- $P_i$  = peso inicial de la muestra (g).
- $P_f$  = peso final después del secado (g).

#### - **Ceniza**

**Método:** NTP 205.038

**Principio:** Se incinera la muestra en un horno mufla a 550 °C hasta peso constante. El residuo inorgánico representa las cenizas o contenido mineral.

**Fórmula:**

$$\%Ceniza = \left( \frac{P_c}{P_m} \right) \times 100$$

**Donde:**

- $P_c$  = peso del residuo después de la incineración (g).
- $P_m$  = peso de la muestra seca (g).

- **Proteína**

**Método:** AOAC 2001.11

**Principio:** Se determina el contenido de nitrógeno por el método Kjeldahl, y se multiplica por un factor de conversión (generalmente 6.25) para estimar la proteína total.

**Fórmula:**

$$\%Proteína = \%Nitrógeno \times F$$

**Donde:**

- $\%Nitrógeno$  = resultado del análisis Kjeldahl.
- $F$  = factor de conversión (6.25).

- **Grasa**

**Método:** AOAC 963.15

**Principio:** Se realiza una extracción con solvente (éter etílico o petróleo) mediante un equipo Soxhlet. La grasa es separada por evaporación del solvente y pesada.

**Fórmula:**

$$\%Grasa = \left( \frac{P_g}{P_m} \right) \times 100$$

**Donde:**

- $P_g$  = peso de la grasa extraída (g).

- $P_m$  = peso de la muestra seca (g).

- **Fibra**

**Método:** AOAC 985.29

**Principio:** Se determina la fracción insoluble (celulosa y lignina) mediante digestiones secuenciales con ácido y álcali, seguido de incineración para eliminar los minerales.

**Fórmula:**

$$\%Fibra = \left( \frac{P_d - P_c}{P_m} \right) \times 100$$

**Donde:**

- $P_d$  = peso del residuo después de digestión (g)
- $P_c$  = peso del residuo inorgánico después de incineración (g)
- $P_m$  = peso de la muestra seca (g)

- **Carbohidratos totales**

**Método:** AOAC, 986.25 (por diferencia)

**Principio:**

El contenido de carbohidratos totales se determina por diferencia, es decir, restando del 100 % los porcentajes de los demás componentes analizados en la muestra: humedad, proteína, grasa, cenizas y fibra dietética. Este método se basa en la suposición de que el resto de los componentes corresponden a carbohidratos.

**Fórmula:**

***%Carbohidratos***

$$= 100 - (\%Humedad + \%Proteína + \%Grasa + \%Cenizas + \%Fibra\ dietetica)$$

**Referencia:** AOAC Official Method 986.25 — *Nutrient Calculation by Difference.*

### 3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

#### 3.4.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

En el presente estudio, las variables independientes estuvieron representadas por las proporciones de las materias primas empleadas en la formulación del snack extruido. Estas se definieron de la siguiente manera:

- **X<sub>1</sub>:** Contenido de harina de quinua (*Chenopodium quinoa*)
- **X<sub>2</sub>:** Contenido de harina de ajonjolí desgrasado (*Sesamum indicum*)
- **X<sub>3</sub>:** Contenido de harina de arroz (*Oryza sativa*)

La selección de estas variables se fundamentó en sus aportes nutricionales y propiedades funcionales, así como en su posible efecto sobre las características tecnológicas, sensoriales y composicionales del producto final.

#### 3.4.2. VARIABLES DEPENDIENTES

Las variables dependientes se clasificaron en tres grupos, de acuerdo con los objetivos planteados y los análisis considerados en el desarrollo metodológico:

- **Características tecnológicas:**
  - Índice de absorción de agua (IAA)
  - Índice de solubilidad en agua (ISA)
  - Volumen específico (mL/g)
  - Índice de expansión (–)
  - Textura instrumental, expresada como fuerza de compresión (N)
- **Características sensoriales:**
  - Olor
  - Sabor
  - Color
  - Textura

- Aceptabilidad general (intención de compra)
- **Características nutricionales:**
  - Contenido de proteína total (AOAC 2001.11)

### **3.4.3. DISEÑO ESTADÍSTICO**

Con la finalidad de determinar la formulación óptima del snack extruido, se empleó la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) como herramienta de optimización. Específicamente, se utilizó un diseño D-óptimo, en el cual se evaluaron tres factores correspondientes a las proporciones de harina de quinua, harina de arroz y harina de ajonjolí desgrasado, considerando distintos niveles de variación.

Este tipo de diseño permitió modelar el comportamiento de las variables de respuesta mediante funciones cuadráticas, así como analizar los efectos individuales y las interacciones entre los factores estudiados.

### **3.4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Los datos obtenidos a partir de las evaluaciones experimentales fueron procesados mediante un análisis de varianza (ANOVA), utilizando el software Design Expert versión 7.0.0.

Este análisis permitió identificar la significancia estadística de los efectos de las variables independientes, tanto de manera individual como en sus interacciones, sobre las variables de respuesta. Para la interpretación de los resultados, se consideró un nivel de significancia de  $p < 0.05$ .

### **3.4.5. FORMULACIÓN DE PRUEBA PARA EXTRUSIÓN**

La formulación base para la elaboración del snack extruido se estableció a partir de una mezcla sólida total de 1000 g, conformada por harina de quinua (*Chenopodium quinoa*), harina de arroz (*Oryza sativa*) y harina de ajonjolí desgrasado (*Sesamum indicum*).

Las proporciones de cada componente fueron definidas en función de los niveles establecidos en el diseño experimental tipo D-óptimo, lo que permitió evaluar distintas combinaciones de las variables independientes.

En la **Tabla 9** se presentan los niveles codificados de los factores considerados en el estudio.

**Tabla 9.**

*Niveles de los factores del diseño experimental.*

| <b>Variables independientes</b>            | <b>-1</b> | <b>0</b> | <b>+1</b> |
|--|-----------|----------|-----------|
| Harina de Quinoa (%)                       | 60        | 67.5     | 75        |
| Harina de Arroz (%)                        | 20        | 25       | 30        |
| Harina de Torta desgrasada de Ajonjolí (%) | 5         | 7.5      | 10        |

**Nota.** Los niveles -1, 0 y +1 representan los valores codificados de las variables independientes (harina de quinua, harina de arroz y harina de torta desgrasada de ajonjolí) empleados en el diseño experimental.

Cada tratamiento fue formulado de manera que la suma de las proporciones de las tres harinas correspondiera al 100 % de la mezcla sólida. Asimismo, se incorporó agua en cantidad suficiente para alcanzar un contenido de humedad de acondicionamiento del 14 % en base húmeda, condición necesaria para favorecer el proceso de extrusión.

Posteriormente, las mezclas fueron homogeneizadas manualmente, envasadas y almacenadas en refrigeración durante 12 horas, con la finalidad de permitir una adecuada distribución de la humedad en la matriz antes de su procesamiento. En la **Tabla 10** se muestra el diseño D-óptimo aplicado, incluyendo las combinaciones de las materias primas para cada tratamiento, así como las variables de respuesta evaluadas, correspondientes a las propiedades tecnológicas, sensoriales y nutricionales.

**Tabla 10.***Matriz D-óptima aplicada a la formulación del snack extruido.*

| Std | Run | Block   | A:<br>Harina<br>de<br>Quinua<br>(%) | B:<br>Harina<br>de<br>Arroz<br>(%) | C: Harina de<br>Torta<br>desgrasada<br>de Ajonjolí<br>(%) | Índice de<br>Absorción<br>en agua (g<br>gel / g<br>muestra<br>seca) | Índice de<br>Solubilidad<br>(g/L) | Volumen<br>Especifico<br>(mL/g) | Índice de<br>expansión<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Textura<br>Instrumental<br>(D) | Color | Olor | Sabor | Textura | Aceptabilidad<br>General | Proteína<br>(%) |
|-----|-----|---------|-------------------------------------|------------------------------------|---|---|-----------------------------------|---------------------------------|--|--------------------------------|-------|------|-------|---------|--------------------------|-----------------|
| 2   | 1   | Block 1 | 20.174                              | 69.826                             | 10  | 4.677   | 12.21                             | 10.676                          | 1.348  | 14.2                           | 7.2   | 7    | 7.5   | 7.1     | 7.3                      | 11.046          |
| 1   | 2   | Block 1 | 20                                  | 74.997                             | 5.003   | 4.921   | 12.87                             | 9.454                           | 1.515  | 15                             | 7.5   | 7.3  | 7.8   | 7.4     | 7.6                      | 12.823          |
| 7   | 3   | Block 1 | 26.136                              | 63.869                             | 9.996   | 4.559   | 13.01                             | 11.85                           | 1.506  | 16.3                           | 7.8   | 7.6  | 8     | 7.7     | 7.9                      | 12.876          |
| 6   | 4   | Block 1 | 25.492                              | 69.508                             | 5   | 4.362   | 11.31                             | 12.161                          | 1.593  | 17.5                           | 8     | 7.9  | 8.3   | 8       | 8.2                      | 11.64           |
| 4   | 5   | Block 1 | 30                                  | 63.476                             | 6.524   | 4.715   | 13.67                             | 11.651                          | 1.362  | 18.8                           | 8.3   | 8.1  | 8.5   | 8.2     | 8.4                      | 12.246          |
| 11  | 6   | Block 1 | 20                                  | 74.997                             | 5.003   | 5.553   | 11.48                             | 9.911                           | 1.562  | 20.2                           | 8.6   | 8.4  | 8.8   | 8.5     | 8.7                      | 11.282          |
| 5   | 7   | Block 1 | 24.059                              | 68.148                             | 7.792   | 5.358   | 9.2                               | 11.355                          | 1.387  | 21.5                           | 8.7   | 8.5  | 8.9   | 8.6     | 8.8                      | 11.792          |
| 8   | 8   | Block 1 | 22.001                              | 71.559                             | 6.439   | 5.589   | 16.94                             | 11.671                          | 1.377  | 22.8                           | 8.5   | 8.3  | 8.7   | 8.4     | 8.6                      | 11.885          |
| 9   | 9   | Block 1 | 27.333                              | 66.323                             | 6.344   | 5.933   | 9.24                              | 9.714                           | 1.498  | 19.6                           | 8.2   | 8    | 8.4   | 8.1     | 8.3                      | 12.207          |
| 3   | 10  | Block 1 | 29.994                              | 60.006                             | 10  | 5.765   | 9.01                              | 11.269                          | 1.418  | 17                             | 7.9   | 7.7  | 8.1   | 7.8     | 8                        | 13.149          |
| 10  | 11  | Block 1 | 20.174                              | 69.826                             | 10  | 5.09  | 9.29                              | 10.09                           | 1.443  | 15.8                           | 7.6   | 7.4  | 7.9   | 7.5     | 7.7                      | 13.025          |
| 12  | 12  | Block 1 | 25.492                              | 69.508                             | 5   | 6.331   | 8.85                              | 11.668                          | 1.501  | 14.5                           | 7.3   | 7.1  | 7.6   | 7.2     | 7.4                      | 10.98           |

**Nota.** A: harina de quinua; B: harina de arroz; C: harina de torta desgrasada de ajonjolí. La matriz corresponde a un diseño experimental D-óptimo, donde se presentan las combinaciones de los factores y las respuestas evaluadas, incluyendo parámetros tecnológicos, sensoriales y contenido de proteína.

**Tabla 11.**

*Formulación control planteada para la elaboración del snack extruido.*

| <b>Ingredientes</b>                         | <b>Cantidad (g) / Volumen (mL)</b> |
|---|------------------------------------|
| Mezcla de harinas (quinua, arroz, ajonjolí) | 1000 g                             |
| Aceite vegetal (para mezclado)              | 30 mL                              |
| Miel de abeja (rociado post-extrusión)      | 1800 mL                            |

**Nota.** La formulación presentada corresponde al tratamiento control empleado como referencia en la elaboración del snack extruido.

La **Tabla 11** muestra la formulación control utilizada como base para la elaboración del snack extruido a partir de harinas de quinua, arroz y ajonjolí desgrasado. Esta formulación consistió en 1000 g de mezcla sólida, cuyas proporciones fueron determinadas por el diseño experimental D-óptimo.

Durante el proceso, se incorporó 30 mL de aceite vegetal, el cual fue mezclado directamente con la masa antes del acondicionamiento. Posteriormente, tras el proceso de extrusión y enfriamiento, se procedió a rociar 1.8 litros de miel de abeja sobre los snacks extruidos. Esta etapa tuvo como finalidad mejorar la palatabilidad y aceptabilidad sensorial del producto final, otorgándole un sabor dulce y una textura superficial más atractiva.

Esta formulación fue utilizada como referencia para evaluar los efectos de las variaciones en las proporciones de harinas sobre las propiedades tecnológicas, nutricionales y sensoriales del producto.

### **3.5. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SNACK EXTRUIDO**

#### **3.5.1. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LAS MATERIAS PRIMAS**

Las harinas obtenidas a partir de quinua (*Chenopodium quinoa*), arroz (*Oryza sativa*) y torta desgrasada de ajonjolí (*Sesamum indicum*) fueron caracterizadas fisicoquímicamente mediante los siguientes análisis, todos realizados en base seca, salvo que se indique lo contrario:

- **Humedad:** Se determinó por el método gravimétrico de secado en estufa a 105°C hasta peso constante, según AOAC 2001.11.

$$\%Humedad = \frac{P_i - (P_f - P_p)}{P_i} \times 100$$

**Donde:**

- $P_i$  = Peso inicial de la muestra.
  - $P_f$  = Peso final (seco) de la muestra.
  - $P_p$  = Peso de la placa Petri.
- **Ceniza:** Se determinó por incineración en mufla a 550 °C, según la norma técnica peruana NTP 205.038.

$$\%Ceniza = \frac{P_c - P_v}{P_m} \times 100$$

**Donde:**

- $P_c$  = Peso del crisol con ceniza.
  - $P_v$  = Peso del crisol vacío.
  - $P_m$  = Peso de la muestra.
- **Proteína:** Se analizó por el método Kjeldahl, con el factor de conversión 6.25, según AOAC 2001.11.

$$Proteína (\%) = N \times 6.25$$

**Donde:**

- **%N:** Porcentaje de nitrógeno
  - **6.25:** Factor de conversión
- **Grasa:** Se cuantificó mediante extracción Soxhlet utilizando éter de petróleo como disolvente, conforme al método AOAC 963.15.
  - **Fibra:** Se analizó por digestión con ácido y álcali bajo el método AOAC 985.29.

### 3.5.2. EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DEL SNACK EXTRUIDO

Se evaluaron las propiedades físico-funcionales de los snacks elaborados, relevantes para la textura, hidratación y expansión del producto:

- **Índice de absorción de agua (IAA):** Se determinó como el peso del gel formado por una muestra en contacto con agua a temperatura elevada.

$$IAA (g/g) = \frac{\text{Peso de gel}}{\text{Peso de muestra seca}}$$

- **Peso del gel** = (Peso tubo + muestra) – (Peso tubo vacío)

**Donde:**

- **IAA:** Índice de absorción de agua (g/g).
  - **Peso del gel:** Peso del sedimento después de centrifugación (g).
  - **Peso de la muestra seca:** Peso inicial de la muestra (g).
- **Índice de solubilidad en agua (ISA):** Se obtuvo tras centrifugar la mezcla y evaporar el sobrenadante.

$$ISA (\%) = \frac{\text{Peso del soluble}}{\text{Peso de muestra seca}} \times 100$$

- **Peso del soluble** = (peso placa petri con residuo) – (peso de placa petri vacía)

**Donde:**

- **ISA:** Índice de solubilidad en agua (%).
  - **Sólidos disueltos:** Material soluble recuperado tras evaporación.
  - **Peso de la muestra seca:** Peso inicial (g).
- **Volumen específico (ml/g):** El volumen específico se obtuvo mediante el método de desplazamiento de semillas propuesto por Bravo y Ortega (2017). El procedimiento fue el siguiente: primero, se llenó un recipiente vacío de PVC con semillas de alpiste hasta el ras, retirando el exceso.

Luego, se transfirieron las semillas a una probeta para registrar su volumen inicial. A continuación, en el mismo recipiente vacío se colocó el snack y se volvió a llenar con las semillas de alpiste provenientes de la probeta, nuevamente hasta el ras. Después, el contenido del recipiente se vertió en la probeta para medir el volumen final de las semillas. El volumen del snack se calculó por diferencia entre los volúmenes inicial y final de las semillas de alpiste. La masa del extruido se determinó utilizando una balanza analítica.

$$\text{Volumen específico (ml. g}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Volumen del extruido (ml)}}{\text{Masa del extruido (g)}}$$

**Donde:**

**Volumen del extruido (ml)**

$$= V_{\text{inicial de las semillas}} - V_{\text{final de las semillas}}$$

- **Índice de expansión:** Para determinar el índice de expansión de los extruidos, se aplicó la metodología propuesta por Meza et al. (2019), citada por Bravo y Ortega (2017). Este método consiste en calcular la relación entre el diámetro promedio de los extruidos y el diámetro de la boquilla del extrusor, que es de 5 mm.

$$\text{índice de Expansión (IE)} = \frac{D_e}{D_b}$$

**Donde:**

- **IE:** Índice de expansión (adimensional).
- $D_e$  = diámetro del extruido.
- $D_b$  = diámetro de la boquilla.
- **Textura instrumental (Dureza):** Se determinó mediante ensayo de compresión con texturómetro, obteniendo la fuerza máxima (N) necesaria para romper el snack.

### 3.5.3. EVALUACIÓN SENSORIAL

La evaluación sensorial se realizó con 40 panelistas no entrenados, seleccionados de la comunidad universitaria. Se aplicó una escala hedónica de 10 puntos para valorar los siguientes atributos:

- Color
- Olor
- Textura
- Sabor
- Aceptabilidad global
- Intención de compra

Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente para determinar diferencias significativas entre formulaciones.

### 3.5.4. EVALUACIÓN NUTRICIONAL DEL SNACK EXTRUIDO

Las muestras seleccionadas fueron sometidas a análisis nutricional para evaluar su aporte proteico:

- **Proteína:** Determinada por el método Kjeldahl (AOAC 2001.11), aplicando el mismo procedimiento utilizado en las materias primas.

### 3.5.5. OPTIMIZACIÓN DE RESPUESTAS

Se empleó la metodología de superficie de respuesta (MSR) con un diseño D-óptimo para modelar y optimizar la formulación del snack extruido. Las variables independientes fueron los porcentajes de harina de quinua, harina de arroz y harina de ajonjolí desgrasado. Las respuestas consideradas para la optimización fueron:

- Índice de absorción de agua (IAA)
- Índice de solubilidad en agua (ISA)
- Volumen Especifico (mL/g)

- Índice de expansión ( $\text{g/cm}^3$ )
- Textura instrumental (N)
- Olor
- Sabor
- Color
- Textura
- Aceptabilidad general (intención de compra)
- Proteína

Se seleccionó la formulación óptima mediante maximización simultánea de estas respuestas, utilizando el criterio de deseabilidad global.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

#### 4.1.1. COMPOSICIÓN PROXIMAL

##### 4.1.1.1. HARINA DE QUINUA

Los resultados de los análisis efectuados a la harina de quinua se presentan en la **Tabla 12**.

**Tabla 12.**

*Composición proximal de la harina de quinua (base seca, 100 g).*

| <b>Composición</b> | <b>Valores obtenidos (%)</b> |
|--------------------|------------------------------|
| Humedad            | 10.25 ± 0.20                 |
| Cenizas            | 2.39 ± 0.01                  |
| Proteínas          | 13.00 ± 0.15                 |
| Grasa              | 2.668 ± 0.017                |
| Fibra              | 12.98 ± 0.27                 |
| Carbohidratos      | 68.96 ± 0.31                 |

**Nota:** Media de 3 repeticiones ± DS.

La harina de quinua presentó una humedad de 10.25 ± 0.20%, adecuada para almacenamiento, y un contenido de cenizas de 2.39 ± 0.01%, reflejando minerales esenciales. Su proteína fue de 13.00 ± 0.15%, aportando un nivel moderado de este macronutriente, mientras que la grasa se encontró en 2.668 ± 0.017%.

La fibra dietética alcanzó 12.98 ± 0.27%, lo que sugiere beneficios para la salud digestiva. Los carbohidratos, calculados por diferencia, representaron 68.96 ± 0.31%, constituyendo la fracción más abundante y contribuyendo a un contenido energético de 381.5 Kcal/100 g. Estos resultados indican que la harina de quinua es un ingrediente equilibrado, rico en carbohidratos, proteínas y fibra, con potencial nutricional y funcional para el desarrollo de productos alimentarios.

#### 4.1.1.2. HARINA DE ARROZ

Los resultados de los análisis efectuados a la harina de arroz se presentan en la **Tabla 13**.

**Tabla 13.**

*Composición proximal de la harina de arroz (base seca, 100 g).*

| <b>Composición</b> | <b>Valores obtenidos (%)</b> |
|--------------------|------------------------------|
| Humedad            | 11.16 ± 0.10                 |
| Cenizas            | 0.22 ± 0.03                  |
| Proteínas          | 8.78 ± 0.12                  |
| Grasa              | 0.825 ± 0.015                |
| Fibra              | 5.44 ± 0.00                  |
| Carbohidratos      | 84.74 ± 0.12                 |

**Nota:** Media de 3 repeticiones ± DS.

Los análisis de la harina de arroz revelaron una humedad de 11.16 ± 0.10%, lo que indica una buena estabilidad para almacenamiento y procesamiento. La ceniza se situó en 0.22 ± 0.03%, evidenciando un bajo contenido mineral, característico de esta harina refinada. En términos de macronutrientes, la harina presentó proteínas moderadas (8.78 ± 0.12%) y grasas bajas (0.825 ± 0.015%), mientras que la fibra dietética fue de 5.44 ± 0.00%, sugiriendo un aporte limitado de componentes no digeribles.

Los carbohidratos, calculados por diferencia, alcanzaron 84.74 ± 0.12%, representando la fracción predominante y situando a la harina de arroz como una fuente energética importante. Esta composición refleja un perfil nutricional principalmente energético, con menor contribución de proteínas y fibra, adecuado para productos donde se requiera un alto aporte calórico y bajo contenido lipídico.

#### 4.1.1.2. HARINA DE TORTA DESGRASADA DE AJONJOLÍ

Los resultados de los análisis efectuados a la harina de torta desgrasada de ajonjolí se presentan en la **Tabla 14**.

**Tabla 14.**

*Composición proximal de la harina de ajonjolí desgrasado (base seca, 100 g).*

| <b>Composición</b> | <b>Valores obtenidos (%)</b> |
|--------------------|------------------------------|
| Humedad            | 6.98 ± 0.08                  |
| Cenizas            | 8.69 ± 0.19                  |
| Proteínas          | 41.82 ± 0.04                 |
| Grasa              | 1.585 ± 0.752                |
| Fibra              | 28.10 ± 0.37                 |
| Carbohidratos      | 19.81 ± 0.86                 |

**Nota:** Media de 3 repeticiones ± DS.

La harina de torta desgrasada de ajonjolí presentó una humedad de 6.98 ± 0.08%, lo que asegura estabilidad durante almacenamiento. Su contenido de cenizas fue de 8.69 ± 0.19%, indicando un elevado aporte mineral, característico de los subproductos de semillas oleaginosas. En términos de macronutrientes, destaca su alta proteína (41.82 ± 0.04%), lo que la convierte en un ingrediente valioso para mejorar el contenido proteico de formulaciones alimentarias.

La grasa fue baja (1.585 ± 0.752%), reflejando el efecto del desgrasado, mientras que la fibra dietética alcanzó 28.10 ± 0.37%, aportando una fracción importante de compuestos no digeribles con beneficios para la salud digestiva. Los carbohidratos, calculados por diferencia, se encontraron en 19.81 ± 0.86%, representando la fracción menor, lo que confirma que esta harina es predominantemente proteica y fibrosa, adecuada como ingrediente funcional y nutricional en productos de alto valor proteico y bajo contenido energético.

## 4.2. EVALUACIÓN TECNOLÓGICA DE FORMULACIONES

### 4.2.1. ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA (IAA)

**Tabla 15.**

*Índice de absorción de agua en los tratamientos evaluados.*

| <b>Tratamiento</b> | <b>A: Harina de Quinua (%)</b> | <b>B: Harina de Arroz (%)</b> | <b>C: Harina de Torta Desgrasada de Ajonjolí (%)</b> | <b>Índice de Absorción en Agua (IAA) (g gel / g muestra seca)</b> |
|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|--|---|
| <b>T1</b>          | 20                             | 70                            | 10   | 4.677   |
| <b>T2</b>          | 20                             | 75                            | 5  | 4.921   |
| <b>T3</b>          | 26                             | 64                            | 10   | 4.559   |
| <b>T4</b>          | 25                             | 70                            | 5  | 4.362   |
| <b>T5</b>          | 30                             | 63                            | 7  | 4.715   |
| <b>T6</b>          | 20                             | 75                            | 5  | 5.553   |
| <b>T7</b>          | 24                             | 68                            | 8  | 5.358   |
| <b>T8</b>          | 22                             | 72                            | 6  | 5.589   |
| <b>T9</b>          | 27                             | 66                            | 6  | 5.933   |
| <b>T10</b>         | 30                             | 60                            | 10   | 5.765   |
| <b>T11</b>         | 20                             | 70                            | 10   | 5.09  |
| <b>T12</b>         | 25                             | 70                            | 5  | 6.331   |

**Nota.** El IAA se expresa como g de gel por g de muestra seca; A: harina de quinua, B: harina de arroz, C: harina de torta desgrasada de ajonjolí.

Los resultados del índice de absorción de agua (IAA) de los tratamientos evaluados mostraron diferencias, con valores que oscilaron entre 4.362 y 6.331 g gel/g muestra seca. El tratamiento T12 presentó el valor más alto (6.331 g/g), seguido de T9 (5.933 g/g) y T10 (5.765 g/g), mientras que los valores más bajos se registraron en T4 (4.362 g/g), T3 (4.559 g/g) y T1 (4.677 g/g). Dichos resultados evidencian que las formulaciones con mayor proporción de quinua y ajonjolí desgrasado presentan mayor capacidad de absorción de agua, en comparación con aquellas con mayor contenido de harina de arroz.

En ese sentido, Sanusi *et al.* (2023) han demostrado que valores de IAA entre 4.0 y 6.5 g/g son característicos de productos extruidos con adecuada interacción entre almidón y proteínas, lo cual coincide con el rango obtenido en este estudio.

Mientras que Delgado Laime *et al.* (2024) aportan que el incremento del contenido proteico y de fibra favorece la retención de agua debido a la formación de estructuras más porosas e hidrofílicas. En concordancia con estos autores, los mayores valores observados en T12 (6.331 g/g) y T9 (5.933 g/g) estarían asociados a una mayor presencia de componentes proteicos y fibrosos, mientras que los menores valores, como en T4 (4.362 g/g), se relacionan con formulaciones con predominio de almidón.

**Tabla 16.**

*Resultados del análisis ANOVA para el índice de absorción de agua.*

| Fuente de variación    | Suma de cuadrados | gl | Cuadrado medio | Valor F | p-valor | Significancia    |
|------------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|------------------|
| <b>Modelo</b>          | 2.86              | 5  | 0.57           | 2.70    | 0.1296  | No significativo |
| <b>Mezcla lineal</b>   | 0.71              | 2  | 0.36           | 1.68    | 0.2627  | —                |
| <b>AB</b>              | 1.26              | 1  | 1.26           | 5.95    | 0.0506  | —                |
| <b>AC</b>              | 0.24              | 1  | 0.24           | 1.15    | 0.3243  | —                |
| <b>BC</b>              | 0.21              | 1  | 0.21           | 1.01    | 0.3537  | —                |
| <b>Residual</b>        | 1.27              | 6  | 0.21           | —       | —       | —                |
| <b>Falta de ajuste</b> | 1.19              | 4  | 0.30           | 7.11    | 0.1270  | No significativo |
| <b>Error puro</b>      | 0.084             | 2  | 0.042          | —       | —       | —                |
| <b>Total corregido</b> | 4.13              | 11 | —              | —       | —       | —                |

**Nota.** ANOVA: análisis de varianza; gl: grados de libertad;  $p < 0.05$  indica significancia estadística.

El análisis de varianza (ANOVA) para el índice de absorción de agua (IAA) mostró que el modelo no fue significativo ( $p = 0.1296$ ), a pesar de presentar

un valor F de 2.70, lo que indica que el modelo de regresión no explica de manera adecuada la variabilidad de la respuesta.

Asimismo, los efectos de la mezcla lineal no fueron significativos ( $p = 0.2627$ ), evidenciando una limitada influencia individual de los componentes. Sin embargo, la interacción AB presentó un valor cercano a la significancia ( $p = 0.0506$ ;  $F = 5.95$ ), sugiriendo una posible influencia conjunta entre estos factores sobre el IAA, mientras que las interacciones AC ( $p = 0.3243$ ) y BC ( $p = 0.3537$ ) no mostraron efectos significativos. Por otro lado, la falta de ajuste tampoco fue significativa ( $p = 0.1270$ ), lo que indica que el modelo, aunque no significativo, se ajusta adecuadamente a los datos experimentales.

**Tabla 17.**

*Parámetros del modelo matemático para el índice de absorción de agua.*

| Componente                                       | Estimación del coeficiente | gl | Error estándar | IC 95% (Límite inferior) | IC 95% (Límite superior) | VIF    |
|--|----------------------------|----|----------------|--------------------------|--------------------------|--------|
| <b>A: Harina de Quinua</b>                       | 6.17                       | 1  | 0.41           | 5.17                     | 7.17                     | 2.72   |
| <b>B: Harina de Arroz</b>                        | 6.31                       | 1  | 1.09           | 3.64                     | 8.97                     | 15.10  |
| <b>C: Harina de Torta Desgrasada de Ajonjolí</b> | -4.11                      | 1  | 7.59           | -22.68                   | 14.45                    | 152.53 |
| <b>AB</b>  | -6.68                      | 1  | 2.74           | -13.38                   | 0.022                    | 8.04   |
| <b>AC</b>  | 11.76                      | 1  | 10.96          | -15.05                   | 38.57                    | 56.31  |
| <b>BC</b>  | 11.64                      | 1  | 11.58          | -16.70                   | 39.97                    | 81.16  |

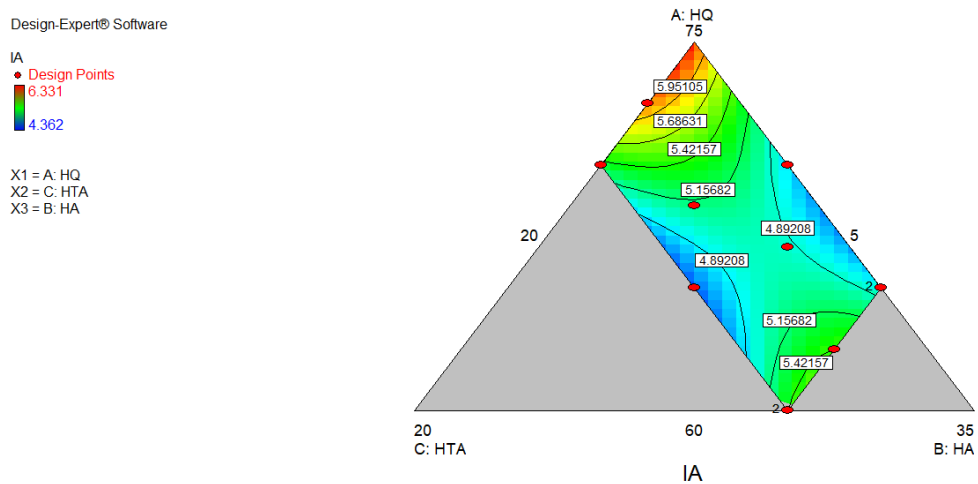
**Nota.** gl: grados de libertad; IC: intervalo de confianza al 95 %; VIF: factor de inflación de la varianza.

Los coeficientes del modelo matemático para el índice de absorción de agua (IAA) muestran que la harina de quinua ( $A = 6.17$ ) y la harina de arroz ( $B = 6.31$ ) presentan efectos positivos sobre la respuesta, indicando que su incremento favorece el IAA, mientras que la harina de torta desgrasada de ajonjolí presentó un coeficiente negativo ( $C = -4.11$ ), sugiriendo una tendencia

a disminuir la respuesta; sin embargo, este efecto presenta alta variabilidad (IC 95%: -22.68 a 14.45) y un elevado VIF (152.53), lo que indica colinealidad. Asimismo, la interacción AB mostró un efecto negativo (-6.68) con un intervalo cercano a la significancia (IC: -13.38 a 0.022), mientras que las interacciones AC (11.76) y BC (11.64) presentaron efectos positivos, aunque con amplios intervalos de confianza que incluyen el cero, evidenciando falta de significancia.

**Figura 9.**

*Diagrama de contorno del índice de absorción de agua.*



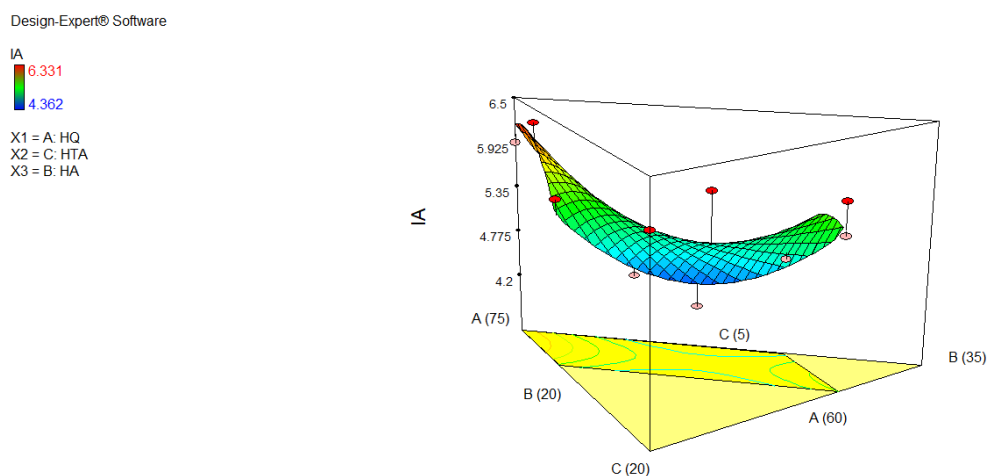
**Nota.** A: harina de quinua; B: harina de arroz; C: harina de torta desgrasada de ajonjolí. El IAA se expresa como g de gel por g de muestra seca. Gráfico generado mediante Design-Expert®.

La gráfica de contorno del índice de absorción de agua (IAA) muestra que los valores más elevados (5.8–6.3 g/g) se concentran en regiones donde la proporción de harina de quinua y torta desgrasada de ajonjolí es mayor, mientras que los valores más bajos (4.3–4.8 g/g) se presentan cuando predomina la harina de arroz. Este comportamiento evidencia una interacción directa entre los componentes de la mezcla, donde la variación en las proporciones modifica significativamente la capacidad de absorción de agua, reflejando una tendencia no lineal en la respuesta.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Neder-Suárez *et al.* (2023), quienes señalan que la interacción entre proteínas y polisacáridos en sistemas extruidos influye en la capacidad de retención de agua. Asimismo, Delgado Laime *et al.* (2024) indican que el incremento de componentes proteicos y fibrosos favorece la formación de estructuras más porosas, lo cual explica los mayores valores de IAA observados en las regiones con menor contenido de arroz.

### Figura 10.

*Superficie de respuesta del índice de absorción de agua.*



**Nota.** A: harina de quinua; B: harina de arroz; C: harina de torta desgrasada de ajonjolí. El índice de absorción de agua (IAA) se expresa como g de gel por g de muestra seca. Superficie generada mediante Design-Expert®.

La superficie de respuesta del IAA evidencia un incremento progresivo hasta alcanzar valores cercanos a 6.3 g/g conforme aumenta la proporción de harina de quinua y torta desgrasada de ajonjolí. En contraste, el incremento de la harina de arroz conduce a una disminución del IAA hasta valores próximos a 4.3 g/g. Esta tendencia confirma que el comportamiento del IAA depende del equilibrio entre los componentes de la formulación y de sus interacciones durante el proceso.

Lo observado es consistente con lo descrito por Sanusi *et al.* (2023), quienes reportan que valores de IAA entre 4.0 y 6.5 g/g son característicos de productos extruidos con adecuada interacción entre almidón y proteínas. De igual manera, Nevara *et al.* (2022) destacan que formulaciones con mayor contenido proteico generan estructuras más abiertas y con mayor capacidad de hidratación.

#### 4.2.2. ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA (ISA)

**Tabla 18.**

*Índice de solubilidad en agua de los tratamientos.*

| Tratamiento | A: Harina de Quinoa (%) | B: Harina de Arroz (%) | C: Harina de Torta Desgrasada de Ajonjolí (%) | Índice de Solubilidad en Agua (ISA) (%) |
|-------------|-------------------------|------------------------|---|---|
| T1          | 20                      | 70                     | 10  | 12.21                                   |
| T2          | 20                      | 75                     | 5   | 12.87                                   |
| T3          | 26                      | 64                     | 10  | 13.01                                   |
| T4          | 25                      | 70                     | 5   | 11.31                                   |
| T5          | 30                      | 63                     | 7   | 13.67                                   |
| T6          | 20                      | 75                     | 5   | 11.48                                   |
| T7          | 24                      | 68                     | 8   | 9.2                                     |
| T8          | 22                      | 72                     | 6   | 16.94                                   |
| T9          | 27                      | 66                     | 6   | 9.24                                    |
| T10         | 30                      | 60                     | 10  | 9.01                                    |
| T11         | 20                      | 70                     | 10  | 9.29                                    |
| T12         | 25                      | 70                     | 5   | 8.85                                    |

**Nota.** El índice de solubilidad en agua (ISA) se expresa en porcentaje (%); A: harina de quinua, B: harina de arroz, C: harina de torta desgrasada de ajonjolí.

Los resultados del índice de solubilidad en agua (ISA) de los 12 tratamientos mostraron una variabilidad considerable, con valores comprendidos entre 8.85 % y 16.94 %. El tratamiento T8 presentó el mayor valor (16.94 %), seguido de T5 (13.67 %), T3 (13.01 %) y T2 (12.87 %), mientras que los valores más bajos se registraron en T12 (8.85 %), T10 (9.01 %), T7 (9.20 %) y T9 (9.24 %).

Estos resultados evidencian que la solubilidad del producto depende de la proporción de los componentes en la formulación; por ejemplo, T8 (22 % quinua, 72 % arroz y 6 % ajonjolí) alcanzó el mayor ISA, lo que sugiere una mayor liberación de sólidos solubles, mientras que T10 (30 % quinua, 60 % arroz y 10 % ajonjolí) presentó menor solubilidad, indicando una estructura más estable del producto extruido.

Este comportamiento se relaciona con los cambios fisicoquímicos generados durante el proceso de extrusión. Al respecto, Luo *et al.* (2020) señalan que el incremento del ISA está asociado a una mayor degradación del almidón y formación de compuestos solubles, lo cual coincide con el alto valor observado en T8 (16.94 %).

Asimismo, Delgado Laime *et al.* (2024) indican que la composición de la mezcla influye directamente en las propiedades funcionales de snacks extruidos, especialmente en la solubilidad.

De manera complementaria, Espinoza *et al.* (2021) reportan que valores bajos de ISA están asociados a matrices más compactas y estructuralmente estables, lo cual explica los resultados obtenidos en tratamientos como T12 (8.85 %) y T10 (9.01 %). En conjunto, los resultados evidencian que el ISA está determinado por el equilibrio entre la degradación del almidón y la formación de la estructura del producto.

**Tabla 19.***Resultados del análisis ANOVA para el índice de solubilidad en agua.*

| <b>Fuente de variación</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>gl</b> | <b>Cuadrado medio</b> | <b>Valor F</b> | <b>p-valor</b> | <b>Significancia</b> |
|----------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|----------------------|
| <b>Modelo</b>              | 47.55                    | 5         | 9.51                  | 2.87           | 0.1159         | No significativo     |
| <b>Mezcla lineal</b>       | 8.91                     | 2         | 4.46                  | 1.34           | 0.3293         | —                    |
| <b>AB</b>                  | 23.88                    | 1         | 23.88                 | 7.21           | 0.0363         | Significativo        |
| <b>AC</b>                  | 0.10                     | 1         | 0.10                  | 0.030          | 0.8674         | —                    |
| <b>BC</b>                  | 0.15                     | 1         | 0.15                  | 0.044          | 0.8401         | —                    |
| <b>Residual</b>            | 19.88                    | 6         | 3.31                  | —              | —              | —                    |
| <b>Falta de ajuste</b>     | 18.80                    | 4         | 4.70                  | 8.67           | 0.1060         | No significativo     |
| <b>Error puro</b>          | 1.08                     | 2         | 0.54                  | —              | —              | —                    |
| <b>Total corregido</b>     | 67.43                    | 11        | —                     | —              | —              | —                    |

**Nota.** ANOVA: análisis de varianza; gl: grados de libertad. Se consideró un nivel de significancia de  $p < 0.05$ .

El análisis de varianza (ANOVA) del índice de solubilidad en agua (ISA) mostró que el modelo no fue significativo ( $p = 0.1159$ ), a pesar de presentar un valor F de 2.87, lo que indica una limitada capacidad para explicar la variabilidad de la respuesta.

Los efectos de la mezcla lineal tampoco resultaron significativos ( $p = 0.3293$ ), evidenciando que los componentes por sí solos no influyen de manera determinante en el ISA. Sin embargo, la interacción AB presentó significancia estadística ( $p = 0.0363$ ;  $F = 7.21$ ), indicando que la combinación entre estos dos componentes tiene un efecto importante sobre la solubilidad.

En contraste, las interacciones AC ( $p = 0.8674$ ) y BC ( $p = 0.8401$ ) no mostraron efectos significativos. Por otro lado, la falta de ajuste no fue significativa ( $p = 0.1060$ ), lo que sugiere que, aunque el modelo no es significativo, se ajusta adecuadamente a los datos experimentales.

**Tabla 20.***Parámetros del modelo matemático para el índice de solubilidad en agua.*

| <b>Componente</b>                                | <b>Estimación del coeficiente</b> | <b>gl</b> | <b>Error estándar</b> | <b>IC 95% (Límite inferior)</b> | <b>IC 95% (Límite superior)</b> | <b>VIF</b> |
|--|-----------------------------------|-----------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------|
| <b>A: Harina de Quinua</b>                       | 8.80                              | 1         | 1.62                  | 4.84                            | 12.76                           | 2.72       |
| <b>B: Harina de Arroz</b>                        | 5.26                              | 1         | 4.31                  | -5.29                           | 15.81                           | 15.10      |
| <b>C: Harina de Torta Desgrasada de Ajonjolí</b> | 8.98                              | 1         | 30.00                 | -64.42                          | 82.38                           | 152.53     |
| <b>AB</b>  | 29.07                             | 1         | 10.83                 | 2.57                            | 55.56                           | 8.04       |
| <b>AC</b>  | 7.55                              | 1         | 43.31                 | -98.44                          | 113.53                          | 56.31      |
| <b>BC</b>  | 9.64                              | 1         | 45.78                 | -102.38                         | 121.66                          | 81.16      |

**Nota.** gl: grados de libertad; IC: intervalo de confianza al 95 %; VIF: factor de inflación de la varianza.

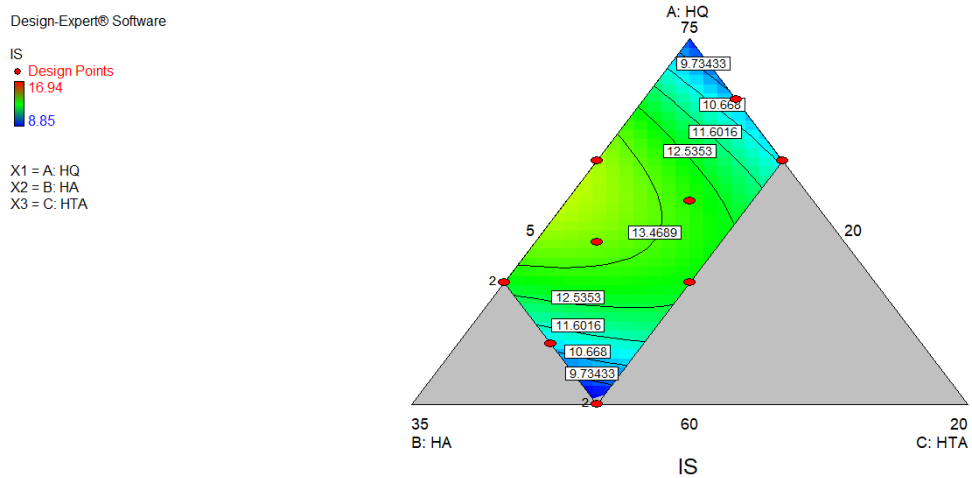
Los coeficientes del modelo matemático para el índice de solubilidad en agua (ISA) evidencian que la harina de quinua presentó un efecto positivo (A = 8.80) con un intervalo de confianza que no incluye el cero (4.84 a 12.76), indicando una influencia significativa en el incremento del ISA.

Por su parte, la harina de arroz (B = 5.26) también mostró un efecto positivo, aunque con un intervalo amplio (-5.29 a 15.81), lo que sugiere falta de significancia, mientras que la torta desgrasada de ajonjolí presentó un coeficiente positivo (C = 8.98) pero con alta variabilidad (IC: -64.42 a 82.38) y un VIF elevado (152.53), evidenciando problemas de colinealidad.

En cuanto a las interacciones, AB mostró un efecto positivo considerable (29.07) con intervalo significativo (2.57 a 55.56), confirmando su influencia sobre el ISA, mientras que AC (7.55) y BC (9.64) no fueron significativas debido a sus amplios intervalos de confianza que incluyen el cero.

**Figura 11.**

*Diagrama de contorno del índice de solubilidad en agua.*

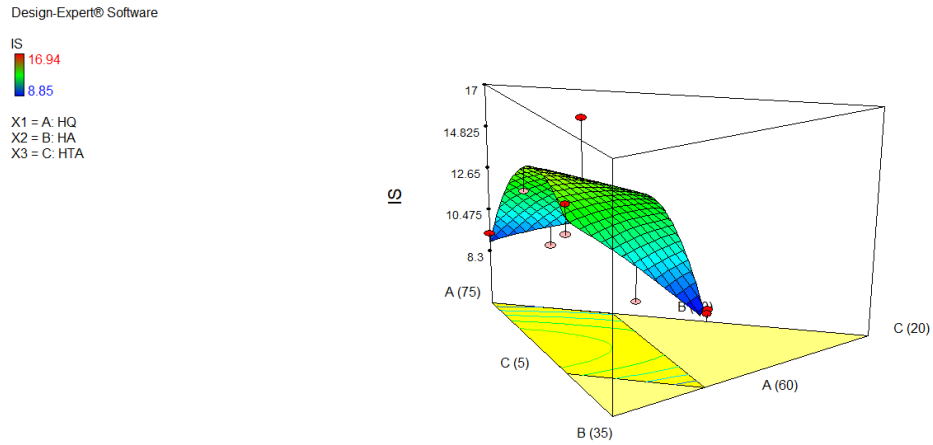


**Nota.** A: harina de quinua; B: harina de arroz; C: harina de torta desgrasada de ajonjolí. El índice de solubilidad en agua (ISA) se expresa en porcentaje (%). Gráfico generado mediante Design-Expert®.

La gráfica de contorno del índice de solubilidad en agua (ISA) muestra una distribución heterogénea de la respuesta, con valores que varían aproximadamente entre 8.85 % y 16.94 %. Las zonas de mayor solubilidad se concentran en regiones donde la proporción de harina de arroz y quinua es intermedia, alcanzando valores cercanos a 16.94 %, mientras que las regiones con menor ISA (8.85–9.50 %) se asocian a combinaciones con mayor contenido de ajonjolí o mayor proporción de quinua. Este comportamiento evidencia que la solubilidad no depende de un solo componente, sino de la interacción entre ellos, lo cual coincide con la significancia observada en la interacción AB en el modelo estadístico.

**Figura 12.**

*Superficie de respuesta del índice de solubilidad en agua.*



**Nota.** A: harina de quinua; B: harina de arroz; C: harina de torta desgrasada de ajonjolí. El índice de solubilidad en agua (ISA) se expresa en porcentaje (%). Superficie generada mediante Design-Expert®.

La superficie de respuesta del ISA evidencia un comportamiento no lineal, donde los valores máximos (16.94 %) se alcanzan en combinaciones específicas de los componentes, particularmente en niveles intermedios de quinua y arroz, mientras que los valores mínimos (8.85 %) se presentan en zonas donde predomina la torta desgrasada de ajonjolí o combinaciones con mayor proporción de quinua. Esta tendencia confirma que la respuesta depende del efecto combinado de los ingredientes, destacando la influencia de la interacción entre ellos en la solubilidad del producto.

#### 4.2.3. VOLUMEN ESPECÍFICO (mL/g)

**Tabla 21.**

*Volumen específico de las formulaciones evaluadas*

| <b>Tratamiento</b> | <b>A: Harina de Quinoa (%)</b> | <b>B: Harina de Arroz (%)</b> | <b>C: Harina de Torta Desgrasada de Ajonjolí (%)</b> | <b>Volumen Específico (ml/g)</b> |
|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|--|----------------------------------|
| <b>T1</b>          | 20                             | 70                            | 10   | 10.676 ± 0.224                   |
| <b>T2</b>          | 20                             | 75                            | 5  | 9.454 ± 0.556                    |
| <b>T3</b>          | 26                             | 64                            | 10   | 11.850 ± 0.791                   |
| <b>T4</b>          | 25                             | 70                            | 5  | 12.161 ± 0.915                   |
| <b>T5</b>          | 30                             | 63                            | 7  | 11.651 ± 0.865                   |
| <b>T6</b>          | 20                             | 75                            | 5  | 9.911 ± 0.543                    |
| <b>T7</b>          | 24                             | 68                            | 8  | 11.355 ± 0.632                   |
| <b>T8</b>          | 22                             | 72                            | 6  | 11.671 ± 0.724                   |
| <b>T9</b>          | 27                             | 66                            | 6  | 9.714 ± 0.720                    |
| <b>T10</b>         | 30                             | 60                            | 10   | 11.269 ± 0.747                   |
| <b>T11</b>         | 20                             | 70                            | 10   | 10.090 ± 0.768                   |
| <b>T12</b>         | 25                             | 70                            | 5  | 11.668 ± 0.582                   |

*Nota.* Los valores representan la media ± DS (n=3)

Los valores de volumen específico de las 12 formulaciones mostraron diferencias entre tratamientos, con un rango comprendido entre 9.454 y 12.161 mL/g. El tratamiento T4 presentó el mayor volumen específico (12.161 ± 0.915 mL/g), seguido de T3 (11.850 ± 0.791 mL/g), T8 (11.671 ± 0.724 mL/g) y T12 (11.668 ± 0.582 mL/g), mientras que los valores más bajos se registraron en T2 (9.454 ± 0.556 mL/g), T6 (9.911 ± 0.543 mL/g) y T9 (9.714 ± 0.720 mL/g).

Estos resultados evidencian que las formulaciones con proporciones equilibradas de quinua y arroz tienden a generar productos con mayor

expansión, mientras que un mayor contenido de arroz o ciertas combinaciones específicas reducen el volumen del extruido.

El comportamiento observado está relacionado con la capacidad de expansión durante el proceso de extrusión, la cual depende de la gelatinización del almidón y la formación de una estructura porosa. Al respecto, Velasquez Meza & Florez Huillca (2024) señalan que un mayor volumen específico está asociado a una mejor expansión y formación de estructuras ligeras en snacks extruidos.

Asimismo, Delgado Laime *et al.* (2024) indican que la proporción de los ingredientes influye directamente en la expansión del producto, especialmente por el equilibrio entre almidón y proteínas. En este contexto, los mayores valores observados en T4 y T3 reflejan una adecuada interacción de los componentes, mientras que los menores valores, como en T2, evidencian una menor capacidad de expansión del sistema.

**Tabla 22.**

*Resultados del análisis ANOVA para el volumen específico.*

| <b>Fuente de variación</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>gl</b> | <b>Cuadrado medio</b> | <b>Valor F</b> | <b>p-valor</b> | <b>Significancia</b> |
|----------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|----------------------|
| <b>Modelo</b>              | 1.73                     | 2         | 0.87                  | 0.98           | 0.4133         | No significativo     |
| <b>Mezcla lineal</b>       | 1.73                     | 2         | 0.87                  | 0.98           | 0.4133         | —                    |
| <b>Residual</b>            | 7.99                     | 9         | 0.89                  | —              | —              | —                    |
| <b>Falta de ajuste</b>     | 7.52                     | 7         | 1.07                  | 4.48           | 0.1945         | No significativo     |
| <b>Error puro</b>          | 0.48                     | 2         | 0.24                  | —              | —              | —                    |
| <b>Total corregido</b>     | 9.73                     | 11        | —                     | —              | —              | —                    |

**Nota.** ANOVA: análisis de varianza; gl: grados de libertad. Se consideró un nivel de significancia de  $p < 0.05$ .

El análisis de varianza (ANOVA) del volumen específico mostró que el modelo no fue significativo ( $p = 0.4133$ ), con un valor F de 0.98, lo que indica que la variabilidad de la respuesta no es explicada de manera adecuada por el modelo de regresión.

De igual forma, los efectos de la mezcla lineal tampoco resultaron significativos ( $p = 0.4133$ ), evidenciando que los componentes evaluados no presentan una influencia estadísticamente significativa sobre el volumen específico cuando se analizan de manera conjunta. P

Por otro lado, la falta de ajuste no fue significativa ( $p = 0.1945$ ), lo que sugiere que, a pesar de la no significancia del modelo, este presenta un ajuste aceptable a los datos experimentales. Estos resultados indican que el volumen específico presenta una baja sensibilidad a las variaciones en la proporción de los componentes dentro del rango evaluado, lo cual puede estar asociado a la estabilidad del proceso de expansión durante la extrusión.

**Tabla 23.**

*Parámetros del modelo matemático para el volumen específico.*

| Componente                                       | Estimación del coeficiente | gl | Error estándar | IC 95% (Límite inferior) | IC 95% (Límite superior) | VIF  |
|--|----------------------------|----|----------------|--------------------------|--------------------------|------|
| <b>A: Harina de Quinoa</b>                       | 10.28                      | 1  | 0.59           | 8.95                     | 11.60                    | 1.33 |
| <b>B: Harina de Arroz</b>                        | 10.99                      | 1  | 0.74           | 9.31                     | 12.66                    | 1.67 |
| <b>C: Harina de Torta Desgrasada de Ajonjolí</b> | 12.69                      | 1  | 1.70           | 8.85                     | 16.54                    | 1.83 |

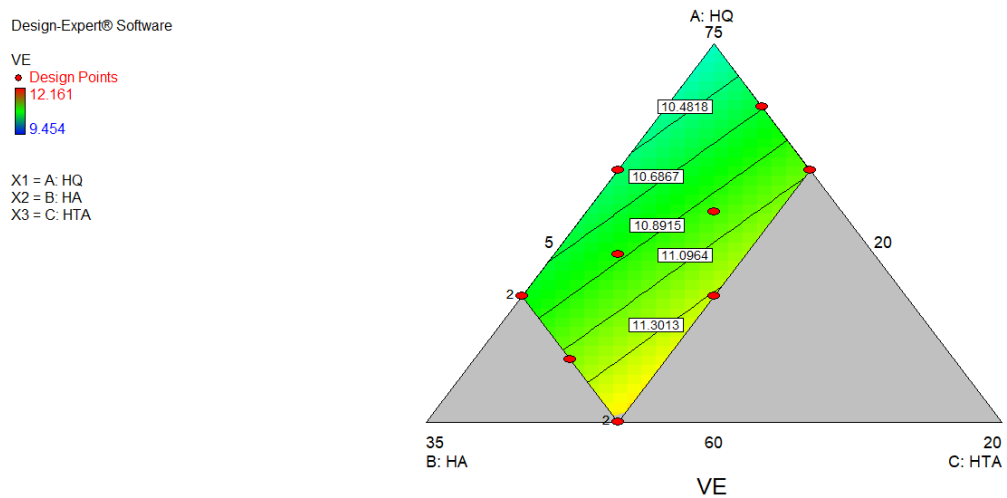
**Nota.** gl: grados de libertad; IC: intervalo de confianza al 95 %; VIF: factor de inflación de la varianza.

Los coeficientes del modelo matemático para el volumen específico evidencian que todos los componentes presentan efectos positivos sobre la respuesta, destacando la harina de torta desgrasada de ajonjolí ( $C = 12.69$ )

como el factor con mayor contribución, seguida de la harina de arroz (B = 10.99) y la harina de quinua (A = 10.28). Los intervalos de confianza al 95 % para los tres componentes no incluyen el cero (A: 8.95–11.60; B: 9.31–12.66; C: 8.85–16.54), lo que indica que sus efectos son consistentes dentro del modelo. Asimismo, los valores de VIF (1.33–1.83) evidencian ausencia de colinealidad, lo que permite una adecuada interpretación de los coeficientes. Estos resultados indican que el incremento en la proporción de cualquiera de los componentes tiende a aumentar el volumen específico del producto, siendo más notable el efecto del ajonjolí en la expansión del extruido.

**Figura 13.**

*Diagrama de contorno del volumen específico.*



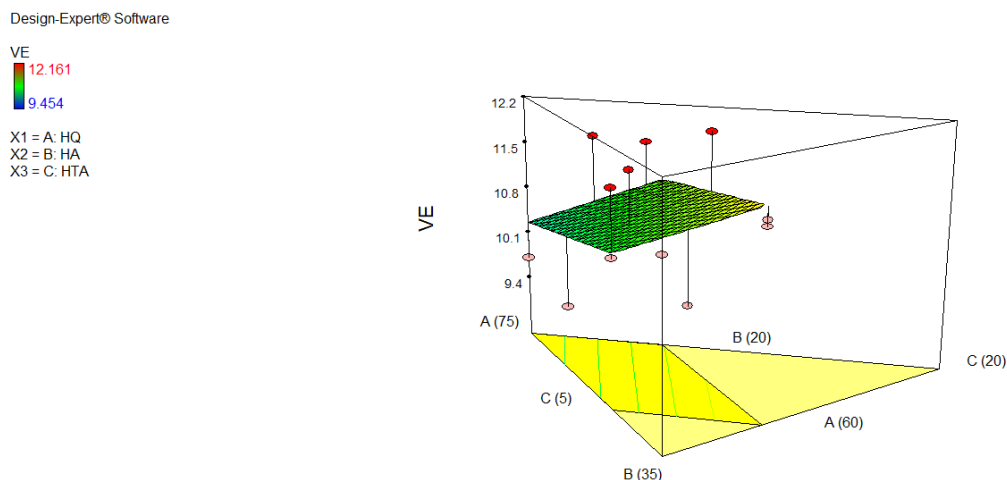
**Nota.** A: harina de quinua; B: harina de arroz; C: harina de torta desgrasada de ajonjolí. El volumen específico (VE) se expresa en mL/g. Gráfico generado mediante Design-Expert®.

La gráfica de contorno del volumen específico muestra una distribución relativamente uniforme, con valores que oscilan entre aproximadamente 9.45 y 12.16 mL/g. Las zonas de mayor volumen específico (11.8–12.2 mL/g) se concentran en regiones donde existe una proporción equilibrada de harina de quinua y arroz, como se observa en tratamientos cercanos a T4 (12.161 mL/g) y T3 (11.850 mL/g). En contraste, las zonas con menores valores ( $\approx 9.4$ –10.0

mL/g) se asocian a formulaciones con mayor contenido de arroz, como en T2 (9.454 mL/g) y T6 (9.911 mL/g). Esta distribución evidencia una ligera variación de la respuesta, lo cual coincide con la no significancia del modelo estadístico.

### Figura 14.

*Superficie de respuesta del volumen específico.*



**Nota.** A: harina de quinua; B: harina de arroz; C: harina de torta desgrasada de ajonjolí. El volumen específico (VE) se expresa en mL/g. Superficie generada mediante Design-Expert®.

La superficie de respuesta del volumen específico presenta una tendencia suavemente ondulada, donde los valores máximos (12.16 mL/g) se alcanzan en combinaciones intermedias de los componentes, mientras que los valores mínimos (9.45 mL/g) se ubican en zonas con mayor proporción de arroz. A diferencia de otras variables como el ISA, la superficie no muestra cambios abruptos, lo que confirma una baja sensibilidad del volumen específico frente a las variaciones en la formulación. Esta tendencia respalda los resultados del ANOVA, donde el modelo no resultó significativo ( $p = 0.4133$ ).

#### 4.2.4. ÍNDICE DE EXPANSIÓN (g/cm<sup>3</sup>)

**Tabla 24.**

*Índice de expansión de los tratamientos.*

| Tratamiento | A: Harina de Quinoa (%) | B: Harina de Arroz (%) | C: Harina de Torta Desgrasada de Ajonjolí (%) | Índice de expansión |
|-------------|-------------------------|------------------------|---|---------------------|
| <b>T1</b>   | 20                      | 70                     | 10  | 1.348 ± 0.320       |
| <b>T2</b>   | 20                      | 75                     | 5   | 1.515 ± 0.022       |
| <b>T3</b>   | 26                      | 64                     | 10  | 1.506 ± 0.028       |
| <b>T4</b>   | 25                      | 70                     | 5   | 1.593 ± 0.132       |
| <b>T5</b>   | 30                      | 63                     | 7   | 1.362 ± 0.174       |
| <b>T6</b>   | 20                      | 75                     | 5   | 1.562 ± 0.196       |
| <b>T7</b>   | 24                      | 68                     | 8   | 1.387 ± 0.086       |
| <b>T8</b>   | 22                      | 72                     | 6   | 1.377 ± 0.066       |
| <b>T9</b>   | 27                      | 66                     | 6   | 1.498 ± 0.061       |
| <b>T10</b>  | 30                      | 60                     | 10  | 1.418 ± 0.065       |
| <b>T11</b>  | 20                      | 70                     | 10  | 1.443 ± 0.011       |
| <b>T12</b>  | 25                      | 70                     | 5   | 1.501 ± 0.021       |

*Nota.* Los valores representan la media ± DS (n=3)

Los valores del índice de expansión de los 12 tratamientos mostraron una variabilidad moderada, con un rango comprendido entre 1.348 y 1.593 g/cm<sup>3</sup>. El tratamiento T4 presentó el mayor valor (1.593 ± 0.132), seguido de T6 (1.562 ± 0.196), T2 (1.515 ± 0.022), T3 (1.506 ± 0.028) y T12 (1.501 ± 0.021), mientras que los valores más bajos se registraron en T1 (1.348 ± 0.320), T5 (1.362 ± 0.174) y T8 (1.377 ± 0.066).

Estos resultados indican que las formulaciones con proporciones equilibradas de quinua y arroz favorecen una mayor expansión del producto, mientras que combinaciones con mayor contenido de quinua o ajonjolí tienden a reducir

ligeramente este parámetro.

El comportamiento observado está relacionado con la capacidad de expansión durante el proceso de extrusión, la cual depende de la gelatinización del almidón y la formación de estructuras internas porosas. Al respecto, Espinoza *et al.* (2021) señalan que un mayor índice de expansión está asociado a una adecuada formación de vapor y estructura durante la extrusión.

Asimismo, Guzman Esteban & Puente Barrios (2024) indican que la proporción de ingredientes influye directamente en la expansión del producto, particularmente por el equilibrio entre almidón y proteínas. En este contexto, los mayores valores observados en T4 y T6 reflejan una adecuada interacción de los componentes, mientras que los menores valores, como en T1, evidencian una menor capacidad de expansión del sistema.

**Tabla 25.**

*Resultados del análisis ANOVA para el índice de expansión.*

| <b>Fuente de variación</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>gl</b> | <b>Cuadrado medio</b> | <b>Valor F</b> | <b>p-valor</b> | <b>Significancia</b> |
|----------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|----------------------|
| <b>Modelo</b>              | 0.049                    | 2         | 0.024                 | 9.20           | 0.0067         | Significativo        |
| <b>Mezcla lineal</b>       | 0.049                    | 2         | 0.024                 | 9.20           | 0.0067         | —                    |
| <b>Residual</b>            | 0.024                    | 9         | 0.002657              | —              | —              | —                    |
| <b>Falta de ajuste</b>     | 0.023                    | 7         | 0.003333              | 11.52          | 0.0822         | No significativo     |
| <b>Error puro</b>          | 0.0005785                | 2         | 0.0002892             | —              | —              | —                    |
| <b>Total corregido</b>     | 0.073                    | 11        | —                     | —              | —              | —                    |

**Nota.** ANOVA: análisis de varianza; gl: grados de libertad. Se consideró un nivel de significancia de  $p < 0.05$ .

El análisis de varianza (ANOVA) del índice de expansión evidenció que el modelo fue estadísticamente significativo ( $p = 0.0067$ ), con un valor F de 9.20,

lo que indica que la variabilidad de la respuesta es explicada adecuadamente por el modelo de regresión. Asimismo, los efectos de la mezcla lineal resultaron significativos ( $p = 0.0067$ ), lo que demuestra que las proporciones de los componentes influyen de manera directa en el índice de expansión del producto.

Por otro lado, la falta de ajuste no fue significativa ( $p = 0.0822$ ), lo que confirma que el modelo presenta un buen ajuste a los datos experimentales. Estos resultados evidencian que el índice de expansión es una variable sensible a los cambios en la formulación, a diferencia de otras propiedades evaluadas previamente.

**Tabla 26.**

*Parámetros del modelo matemático para el índice de expansión.*

| Componente                                       | Estimación del coeficiente | gl | Error estándar | IC 95% (Límite inferior) | IC 95% (Límite superior) | VIF  |
|--|----------------------------|----|----------------|--------------------------|--------------------------|------|
| <b>A: Harina de Quinoa</b>                       | 1.51                       | 1  | 0.032          | 1.44                     | 1.58                     | 1.33 |
| <b>B: Harina de Arroz</b>                        | 1.30                       | 1  | 0.041          | 1.21                     | 1.39                     | 1.67 |
| <b>C: Harina de Torta Desgrasada de Ajonjolí</b> | 1.70                       | 1  | 0.093          | 1.49                     | 1.91                     | 1.83 |

**Nota.** gl: grados de libertad; IC: intervalo de confianza al 95 %; VIF: factor de inflación de la varianza.

Los coeficientes del modelo matemático para el índice de expansión muestran que todos los componentes presentan efectos positivos sobre la respuesta, destacando la harina de torta desgrasada de ajonjolí ( $C = 1.70$ ) como el factor con mayor influencia, seguida de la harina de quinua ( $A = 1.51$ ) y la harina de arroz ( $B = 1.30$ ).

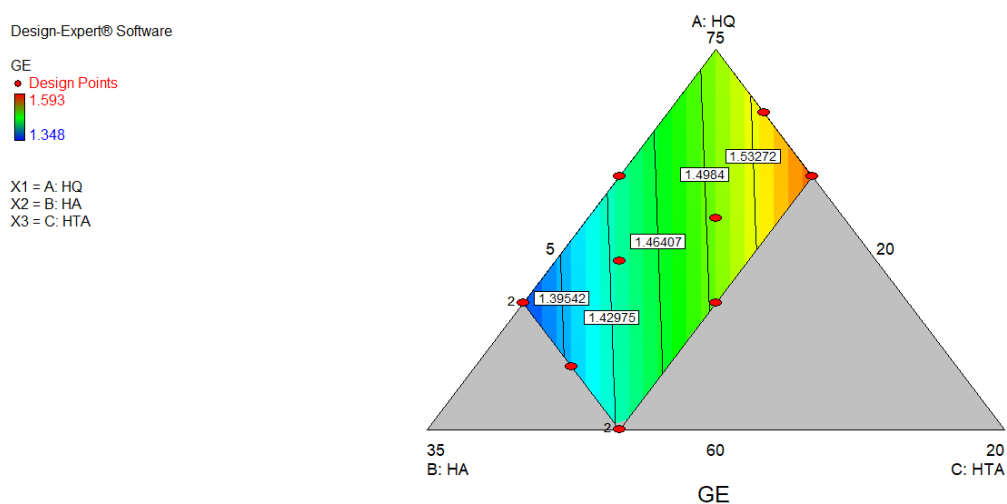
Los intervalos de confianza al 95 % para los tres componentes no incluyen el cero ( $A: 1.44-1.58$ ;  $B: 1.21-1.39$ ;  $C: 1.49-1.91$ ), lo que confirma la

significancia de sus efectos dentro del modelo. Asimismo, los valores de VIF (1.33–1.83) indican ausencia de colinealidad, permitiendo una interpretación confiable de los coeficientes.

Estos resultados evidencian que el incremento en la proporción de cualquiera de los componentes contribuye al aumento del índice de expansión, siendo más notable el efecto del ajonjolí en la formación de estructuras expandidas.

### Figura 15.

*Diagrama de contorno del índice de expansión.*



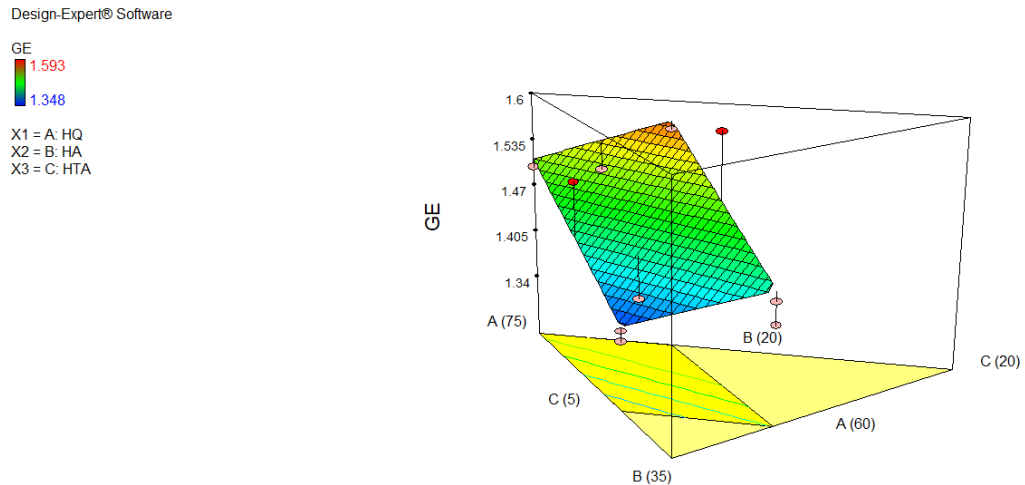
**Nota.** A: harina de quinua; B: harina de arroz; C: harina de torta desgrasada de ajonjolí. El índice de expansión (IE) se expresa en g/cm<sup>3</sup>. Gráfico generado mediante Design-Expert®.

La gráfica de contorno del índice de expansión muestra una distribución definida de la respuesta, con valores que oscilan entre aproximadamente 1.35 y 1.59 g/cm<sup>3</sup>. Las zonas de mayor expansión (1.55–1.59 g/cm<sup>3</sup>) se concentran en regiones donde existe una proporción equilibrada de harina de quinua y arroz, como se evidencia en tratamientos cercanos a T4 (1.593 g/cm<sup>3</sup>) y T6 (1.562 g/cm<sup>3</sup>). En contraste, las zonas con menor índice de expansión (1.35–1.40 g/cm<sup>3</sup>) se asocian a formulaciones con mayor contenido de ajonjolí o combinaciones específicas como T1 (1.348 g/cm<sup>3</sup>) y T5 (1.362 g/cm<sup>3</sup>). Esta

distribución confirma que la variable presenta cambios claros en función de la formulación, en concordancia con la significancia del modelo estadístico ( $p = 0.0067$ ).

**Figura 16.**

*Superficie de respuesta del índice de expansión.*



**Nota.** A: harina de quinua; B: harina de arroz; C: harina de torta desgrasada de ajonjolí. El índice de expansión (IE) se expresa en  $\text{g}/\text{cm}^3$ . Superficie generada mediante Design-Expert®.

La superficie de respuesta del índice de expansión presenta una tendencia marcada, donde los valores máximos ( $1.59 \text{ g}/\text{cm}^3$ ) se alcanzan en combinaciones intermedias de los componentes, mientras que los valores mínimos ( $1.35 \text{ g}/\text{cm}^3$ ) se ubican en zonas con mayor proporción de quinua o ajonjolí. A diferencia de variables como el volumen específico, esta superficie muestra variaciones más pronunciadas, evidenciando una mayor sensibilidad del índice de expansión frente a cambios en la formulación. Esta tendencia respalda los resultados del ANOVA, donde el modelo fue significativo ( $p = 0.0067$ ).

#### 4.2.5. TEXTURA INSTRUMENTAL (DUREZA, N)

**Tabla 27.**

*Resultados de dureza del snack extruido.*

| <b>Tratamiento</b> | <b>A: Harina de Quinoa (%)</b> | <b>B: Harina de Arroz (%)</b> | <b>C: Harina de Torta Desgrasada de Ajonjolí (%)</b> | <b>Dureza (N)</b> |
|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|--|-------------------|
| <b>T1</b>          | 20                             | 70                            | 10   | 14.2              |
| <b>T2</b>          | 20                             | 75                            | 5  | 15                |
| <b>T3</b>          | 26                             | 64                            | 10   | 16.3              |
| <b>T4</b>          | 25                             | 70                            | 5  | 17.5              |
| <b>T5</b>          | 30                             | 63                            | 7  | 18.8              |
| <b>T6</b>          | 20                             | 75                            | 5  | 20.2              |
| <b>T7</b>          | 24                             | 68                            | 8  | 21.5              |
| <b>T8</b>          | 22                             | 72                            | 6  | 22.8              |
| <b>T9</b>          | 27                             | 66                            | 6  | 19.6              |
| <b>T10</b>         | 30                             | 60                            | 10   | 17.0              |
| <b>T11</b>         | 20                             | 70                            | 10   | 15.8              |
| <b>T12</b>         | 25                             | 70                            | 5  | 14.5              |

**Nota.** La dureza (textura instrumental) se expresa en Newtons (N); A: harina de quinua, B: harina de arroz, C: harina de torta desgrasada de ajonjolí.

Los valores de dureza de los 12 tratamientos mostraron una variabilidad considerable, con un rango comprendido entre 14.2 y 22.8 N. El tratamiento T8 presentó la mayor dureza (22.8 N), seguido de T7 (21.5 N), T6 (20.2 N) y T9 (19.6 N), mientras que los valores más bajos se registraron en T1 (14.2 N), T12 (14.5 N) y T2 (15.0 N). Estos resultados evidencian que las formulaciones con mayor proporción de arroz y combinaciones intermedias de los componentes tienden a generar productos más duros, mientras que aquellas con menor contenido de arroz presentan una textura más suave.

Este comportamiento está directamente relacionado con la estructura interna del producto extruido, ya que una menor expansión suele generar matrices más compactas y, por tanto, mayor dureza. Al respecto, Espinoza *et al.* (2021) señalan que la dureza está asociada a la densidad y a la estructura del producto, siendo mayor en sistemas menos expandidos. Asimismo, Delgado Laime *et al.*

(2024) indican que la composición de la mezcla influye significativamente en la textura, especialmente por el balance entre almidón y proteínas. En este contexto, los mayores valores observados en T8 y T7 reflejan una estructura más compacta, mientras que los menores valores, como en T1, evidencian productos más porosos y menos resistentes a la fractura.

**Tabla 28.**

*Resultados del análisis ANOVA para la dureza.*

| <b>Fuente de variación</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>gl</b> | <b>Cuadrado medio</b> | <b>Valor F</b> | <b>p-valor</b> | <b>Significancia</b> |
|----------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|----------------------|
| <b>Modelo</b>              | 5.04                     | 2         | 2.52                  | 0.28           | 0.7654         | No significativo     |
| <b>Mezcla lineal</b>       | 5.04                     | 2         | 2.52                  | 0.28           | 0.7654         | —                    |
| <b>Residual</b>            | 82.31                    | 9         | 9.15                  | —              | —              | —                    |
| <b>Falta de ajuste</b>     | 61.60                    | 7         | 8.80                  | 0.85           | 0.6373         | No significativo     |
| <b>Error puro</b>          | 20.71                    | 2         | 10.35                 | —              | —              | —                    |
| <b>Total corregido</b>     | 87.35                    | 11        | —                     | —              | —              | —                    |

**Nota.** ANOVA: análisis de varianza; gl: grados de libertad. Se consideró un nivel de significancia de  $p < 0.05$ .

El análisis de varianza (ANOVA) evidenció que el modelo no fue estadísticamente significativo ( $p = 0.7654$ ), con un valor F de 0.28, lo que indica que la variabilidad en la percepción de la dureza no es explicada de manera significativa por el modelo de regresión. Asimismo, los efectos de la mezcla lineal tampoco resultaron significativos ( $p = 0.7654$ ), lo que sugiere que las proporciones de quinua, arroz y ajonjolí no influyen de forma determinante.

Por otro lado, la falta de ajuste no fue significativa ( $p = 0.6373$ ), lo que confirma que el modelo presenta un ajuste adecuado a los datos experimentales, aunque con baja capacidad explicativa.

**Tabla 29.***Parámetros del modelo matemático para la dureza.*

| <b>Componente</b>                                | <b>Estimación del coeficiente</b> | <b>gl</b> | <b>Error estándar</b> | <b>IC 95% (Límite inferior)</b> | <b>IC 95% (Límite superior)</b> | <b>VIF</b> |
|--|-----------------------------------|-----------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------|
| <b>A: Harina de Quinoa</b>                       | 17.01                             | 1         | 1.88                  | 12.76                           | 21.26                           | 1.33       |
| <b>B: Harina de Arroz</b>                        | 16.94                             | 1         | 2.38                  | 11.56                           | 22.32                           | 1.67       |
| <b>C: Harina de Torta Desgrasada de Ajonjolí</b> | 21.70                             | 1         | 5.46                  | 9.35                            | 34.05                           | 1.83       |

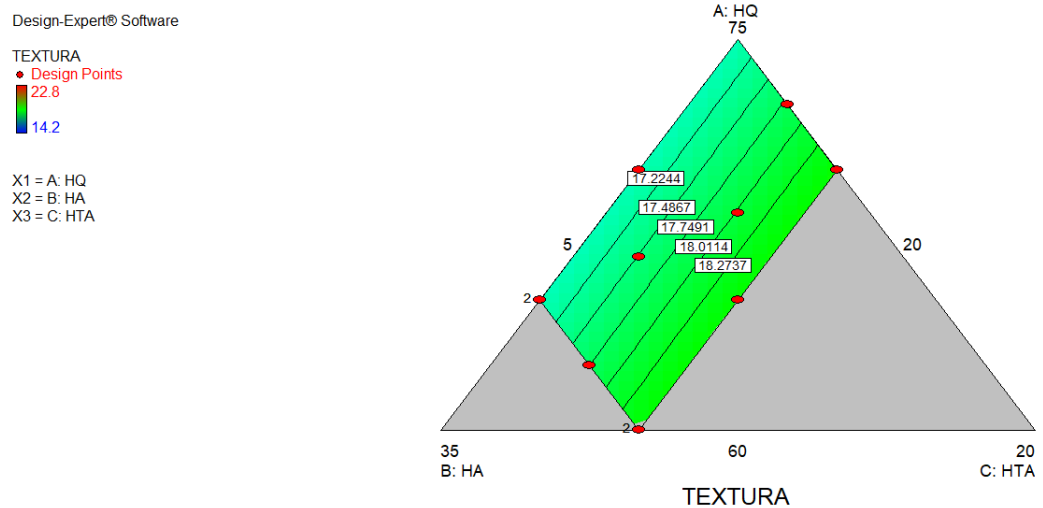
**Nota.** gl: grados de libertad; IC: intervalo de confianza al 95 %; VIF: factor de inflación de la varianza.

Los coeficientes del modelo matemático para la dureza evidencian que todos los componentes presentan efectos positivos sobre la respuesta, destacando la harina de torta desgrasada de ajonjolí (C = 21.70) como el factor con mayor contribución, seguida de la harina de quinoa (A = 17.01) y la harina de arroz (B = 16.94).

Los intervalos de confianza al 95 % no incluyen el cero (A: 12.76–21.26; B: 11.56–22.32; C: 9.35–34.05), lo que indica consistencia en las estimaciones dentro del modelo. Asimismo, los valores de VIF (1.33–1.83) muestran ausencia de colinealidad entre los factores, permitiendo una adecuada interpretación de los coeficientes. Sin embargo, a pesar de estos efectos positivos, el modelo global no fue significativo, lo que sugiere que la influencia de los componentes sobre la dureza es limitada en el rango evaluado.

**Figura 17.**

*Diagrama de contorno de la dureza.*



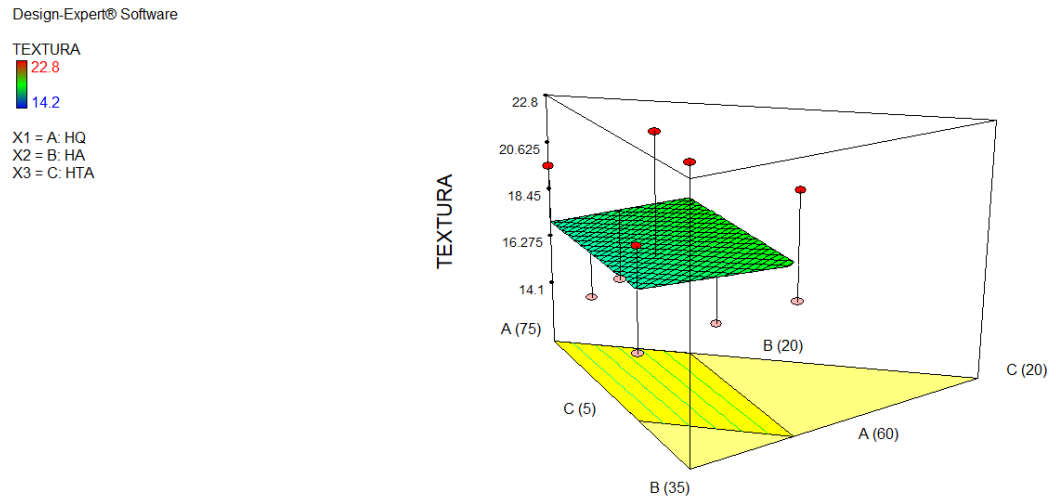
**Nota.** A: harina de quinua; B: harina de arroz; C: harina de torta desgrasada de ajonjolí. La dureza (textura instrumental) se expresa en Newtons (N). Gráfico generado mediante Design-Expert®.

La gráfica de contorno de la dureza muestra una distribución relativamente homogénea, con valores que oscilan entre aproximadamente 14.2 y 22.8 N. Las zonas de mayor dureza (20–23 N) se concentran en formulaciones con proporciones intermedias de los componentes, especialmente con mayor presencia de arroz, como se observa en T8 (22.8 N), T7 (21.5 N) y T6 (20.2 N).

En contraste, las zonas de menor dureza (14–16 N) se asocian a tratamientos como T1 (14.2 N), T12 (14.5 N) y T2 (15.0 N), caracterizados por combinaciones con menor compactación estructural. Sin embargo, la distribución no presenta gradientes definidos, lo que evidencia una baja variabilidad de la respuesta.

**Figura 18.**

*Superficie de respuesta de la dureza*



**Nota.** A: harina de quinua; B: harina de arroz; C: harina de torta desgrasada de ajonjolí. La dureza (textura instrumental) se expresa en Newtons (N). Gráfico generado mediante Design-Expert®.

La superficie de respuesta de la dureza presenta una tendencia suave y poco pronunciada, donde los valores más altos (22.8 N) se localizan en zonas específicas de la formulación, mientras que los valores más bajos (14.2 N) se distribuyen en regiones opuestas.

No obstante, la superficie no muestra cambios abruptos ni una dirección clara de incremento o disminución, lo que evidencia una baja sensibilidad de la variable frente a las proporciones de los componentes evaluados. Esta característica respalda los resultados del ANOVA, donde el modelo no fue significativo.

### 4.3. EVALUACIÓN SENSORIAL

#### 4.3.1. SABOR ORGANOLÉPTICO

**Tabla 30.**

*Evaluación sensorial del atributo sabor.*

| <b>Tratamiento</b> | <b>A: Harina de Quinoa (%)</b> | <b>B: Harina de Arroz (%)</b> | <b>C: Harina de Torta Desgrasada de Ajonjolí (%)</b> | <b>Sabor Organoléptico</b> |
|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|--|----------------------------|
| <b>T1</b>          | 20                             | 70                            | 10   | 7.5 ± 0.42                 |
| <b>T2</b>          | 20                             | 75                            | 5  | 7.8 ± 0.38                 |
| <b>T3</b>          | 26                             | 64                            | 10   | 8.0 ± 0.35                 |
| <b>T4</b>          | 25                             | 70                            | 5  | 8.3 ± 0.33                 |
| <b>T5</b>          | 30                             | 63                            | 7  | 8.5 ± 0.30                 |
| <b>T6</b>          | 20                             | 75                            | 5  | 8.8 ± 0.28                 |
| <b>T7</b>          | 24                             | 68                            | 8  | 8.9 ± 0.25                 |
| <b>T8</b>          | 22                             | 72                            | 6  | 8.7 ± 0.27                 |
| <b>T9</b>          | 27                             | 66                            | 6  | 8.4 ± 0.31                 |
| <b>T10</b>         | 30                             | 60                            | 10   | 8.1 ± 0.34                 |
| <b>T11</b>         | 20                             | 70                            | 10   | 7.9 ± 0.36                 |
| <b>T12</b>         | 25                             | 70                            | 5  | 7.6 ± 0.40                 |

*Nota.* Los valores representan la media ± DS (n=40)

Los resultados del sabor organoléptico de los 12 tratamientos mostraron una aceptabilidad general alta, con valores comprendidos entre 7.5 y 8.9 en la escala hedónica. El tratamiento T7 presentó la mayor puntuación (8.9 ± 0.25), seguido de T6 (8.8 ± 0.28), T8 (8.7 ± 0.27) y T5 (8.5 ± 0.30), lo que evidencia una alta preferencia por parte de los evaluadores.

En contraste, los valores más bajos se registraron en T1 (7.5 ± 0.42), T12 (7.6 ± 0.40) y T2 (7.8 ± 0.38), aunque todos los tratamientos se ubicaron dentro del rango de aceptabilidad sensorial. Estos resultados indican que las formulaciones con proporciones equilibradas de quinua, arroz y ajonjolí tienden a generar

mejores características de sabor.

El comportamiento observado puede atribuirse a la interacción de los ingredientes en la percepción sensorial del producto final. En este sentido, Delgado Laime *et al.* (2024) señalan que la formulación influye directamente en la aceptabilidad sensorial, especialmente en atributos como el sabor.

Asimismo, Barranzuela Beltrán & Ariza Velasco (2024) indican que los consumidores tienden a preferir productos con perfiles balanceados de sabor, evitando formulaciones con predominio excesivo de un solo componente. En este contexto, los mayores valores observados en T7 y T6 reflejan una adecuada combinación de ingredientes, mientras que los menores valores evidencian ligeras limitaciones en la percepción del sabor.

**Tabla 31.**

*Resultados del análisis ANOVA para el atributo sabor.*

| <b>Fuente de variación</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>gl</b> | <b>Cuadrado medio</b> | <b>Valor F</b> | <b>p-valor</b> | <b>Significancia</b> |
|----------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|----------------------|
| <b>Modelo</b>              | 0.34                     | 2         | 0.17                  | 0.74           | 0.5034         | No significativo     |
| <b>Mezcla lineal</b>       | 0.34                     | 2         | 0.17                  | 0.74           | 0.5034         | —                    |
| <b>Residual</b>            | 2.05                     | 9         | 0.23                  | —              | —              | —                    |
| <b>Falta de ajuste</b>     | 1.23                     | 7         | 0.18                  | 0.43           | 0.8325         | No significativo     |
| <b>Error puro</b>          | 0.82                     | 2         | 0.41                  | —              | —              | —                    |
| <b>Total corregido</b>     | 2.39                     | 11        | —                     | —              | —              | —                    |

**Nota.** ANOVA: análisis de varianza; gl: grados de libertad. Se consideró un nivel de significancia de  $p < 0.05$ .

El análisis de varianza (ANOVA) para el sabor organoléptico evidenció que el modelo no fue estadísticamente significativo ( $p = 0.5034$ ), con un valor F de 0.74, lo que indica que la variabilidad en la aceptabilidad del sabor no es explicada de manera significativa por el modelo de regresión. Asimismo, los

efectos de la mezcla lineal tampoco resultaron significativos ( $p = 0.5034$ ), lo que sugiere que las proporciones de quinua, arroz y ajonjolí no influyen de forma determinante sobre la percepción del sabor dentro del rango evaluado.

Por otro lado, la falta de ajuste no fue significativa ( $p = 0.8325$ ), lo que confirma que el modelo presenta un ajuste adecuado a los datos experimentales, aunque con baja capacidad explicativa. Estos resultados indican que el sabor es una variable con baja sensibilidad frente a los cambios en la formulación.

**Tabla 32.**

*Parámetros del modelo matemático para el atributo sabor.*

| Componente                                       | Estimación del coeficiente | gl | Error estándar | IC 95% (Límite inferior) | IC 95% (Límite superior) | VIF  |
|--|----------------------------|----|----------------|--------------------------|--------------------------|------|
| <b>A: Harina de Quinua</b>                       | 8.01                       | 1  | 0.30           | 7.34                     | 8.68                     | 1.33 |
| <b>B: Harina de Arroz</b>                        | 8.00                       | 1  | 0.38           | 7.15                     | 8.85                     | 1.67 |
| <b>C: Harina de Torta Desgrasada de Ajonjolí</b> | 9.23                       | 1  | 0.86           | 7.28                     | 11.18                    | 1.83 |

**Nota.** gl: grados de libertad; IC: intervalo de confianza al 95 %; VIF: factor de inflación de la varianza.

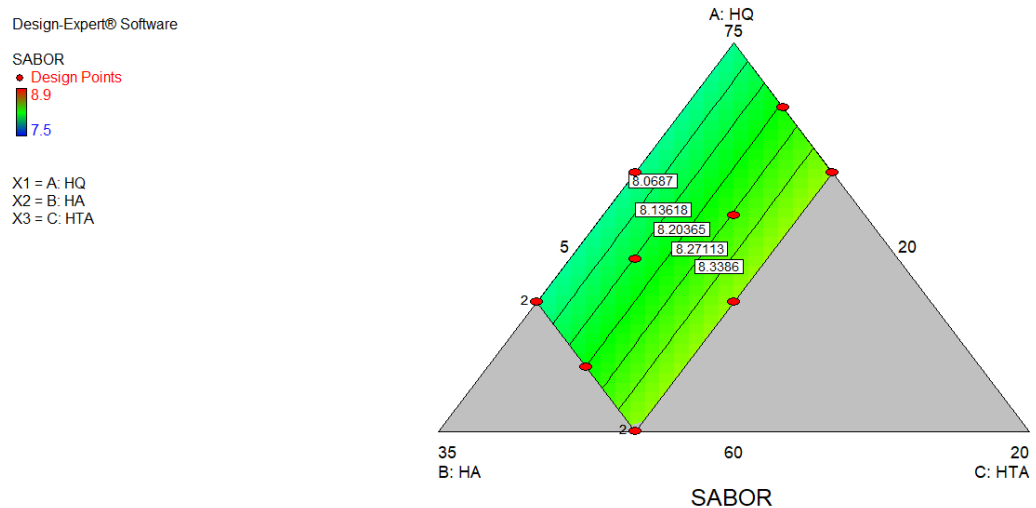
Los coeficientes del modelo matemático para el sabor organoléptico muestran que todos los componentes presentan efectos positivos sobre la respuesta, destacando la harina de torta desgrasada de ajonjolí ( $C = 9.23$ ) como el factor con mayor contribución, seguida de la harina de quinua ( $A = 8.01$ ) y la harina de arroz ( $B = 8.00$ ).

Los intervalos de confianza al 95 % para los tres componentes no incluyen el cero ( $A: 7.34-8.68$ ;  $B: 7.15-8.85$ ;  $C: 7.28-11.18$ ), lo que indica que sus efectos son consistentes dentro del modelo. Asimismo, los valores de VIF (1.33-1.83) evidencian ausencia de colinealidad, lo que permite una interpretación adecuada de los coeficientes.

No obstante, a pesar de estos efectos positivos, el modelo global no resultó significativo, lo que sugiere que la influencia de los componentes sobre el sabor es limitada en el rango evaluado.

### Figura 19.

*Diagrama de contorno del atributo sabor.*

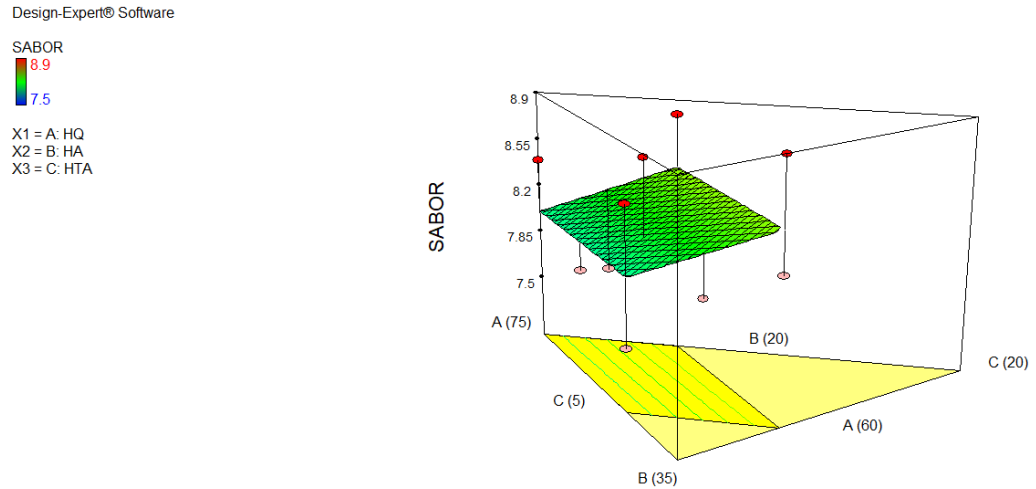


**Nota.** A: harina de quinua; B: harina de arroz; C: harina de torta desgrasada de ajonjolí. El atributo sabor se evaluó mediante escala hedónica. Gráfico generado mediante Design-Expert®.

La gráfica de contorno del sabor organoléptico muestra una distribución relativamente uniforme, con valores que oscilan entre aproximadamente 7.5 y 8.9 en la escala hedónica. Las zonas de mayor aceptabilidad (8.5–8.9) se concentran en formulaciones con proporciones equilibradas de los componentes, como se observa en tratamientos cercanos a T7 (8.9), T6 (8.8) y T8 (8.7). En contraste, las zonas con menor puntuación (7.5–7.8) corresponden a tratamientos como T1 (7.5), T12 (7.6) y T2 (7.8), aunque todos los valores se mantienen dentro del rango de aceptación. La ausencia de gradientes marcados en la gráfica evidencia una baja variabilidad de la respuesta.

## Figura 20.

*Superficie de respuesta del atributo sabor.*



**Nota.** A: harina de quinua; B: harina de arroz; C: harina de torta desgrasada de ajonjolí. El atributo sabor se evaluó mediante escala hedónica. Superficie generada mediante Design-Expert®.

La superficie de respuesta del sabor organoléptico presenta una tendencia suave, con ligeras variaciones entre los valores mínimos (7.5) y máximos (8.9), sin mostrar cambios abruptos en función de las proporciones de los componentes. Las zonas de mayor aceptabilidad se ubican en combinaciones intermedias de quinua, arroz y ajonjolí, mientras que los valores más bajos se distribuyen en regiones opuestas de la superficie. Sin embargo, la falta de una tendencia definida evidencia que el efecto de la formulación sobre el sabor es limitado.

#### 4.3.2. TEXTURA ORGANOLÉPTICA

**Tabla 33.**

*Evaluación sensorial del atributo textura.*

| <b>Tratamiento</b> | <b>A: Harina de Quinoa (%)</b> | <b>B: Harina de Arroz (%)</b> | <b>C: Harina de Torta Desgrasada de Ajonjolí (%)</b> | <b>Textura Organoléptica</b> |
|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|--|------------------------------|
| <b>T1</b>          | 20                             | 70                            | 10   | 7.1 ± 1.05                   |
| <b>T2</b>          | 20                             | 75                            | 5  | 7.4 ± 0.98                   |
| <b>T3</b>          | 26                             | 64                            | 10   | 7.7 ± 0.92                   |
| <b>T4</b>          | 25                             | 70                            | 5  | 8 ± 0.85                     |
| <b>T5</b>          | 30                             | 63                            | 7  | 8.2 ± 0.80                   |
| <b>T6</b>          | 20                             | 75                            | 5  | 8.5 ± 0.75                   |
| <b>T7</b>          | 24                             | 68                            | 8  | 8.6 ± 0.70                   |
| <b>T8</b>          | 22                             | 72                            | 6  | 8.4 ± 0.65                   |
| <b>T9</b>          | 27                             | 66                            | 6  | 8.1 ± 0.78                   |
| <b>T10</b>         | 30                             | 60                            | 10   | 7.8 ± 0.88                   |
| <b>T11</b>         | 20                             | 70                            | 10   | 7.5 ± 0.95                   |
| <b>T12</b>         | 25                             | 70                            | 5  | 7.2 ± 1.02                   |

*Nota.* Los valores representan la media ± DS (n=40)

Los resultados de la textura organoléptica de los 12 tratamientos evidenciaron una variabilidad moderada, con valores comprendidos entre 7.1 y 8.6 en la escala hedónica. El tratamiento T7 presentó la mayor puntuación (8.6 ± 0.70), seguido de T6 (8.5 ± 0.75), T8 (8.4 ± 0.65) y T5 (8.2 ± 0.80), lo que indica una alta aceptación en términos de textura por parte de los evaluadores. En contraste, los valores más bajos se registraron en T1 (7.1 ± 1.05), T12 (7.2 ± 1.02) y T2 (7.4 ± 0.98), reflejando una menor preferencia sensorial en estos tratamientos. Estos resultados muestran que las formulaciones con proporciones equilibradas de los componentes tienden a generar una mejor percepción de la textura.

El comportamiento observado está estrechamente relacionado con la estructura interna del producto extruido, ya que una adecuada expansión genera una textura más crujiente y aceptable para el consumidor. En este sentido, Espinoza et al. (2021) señalan que la textura es uno de los atributos más importantes en la aceptación de snacks extruidos, estando directamente relacionada con la estructura porosa del producto. Asimismo, Delgado Laime et al. (2024) indican que la formulación influye en la percepción de la textura, especialmente por el balance entre almidón y proteínas. En este contexto, los mayores valores observados en T7 y T6 reflejan una textura más crujiente y agradable, mientras que los menores valores evidencian productos menos aceptados en términos sensoriales.

**Tabla 34.**

*Resultados del análisis ANOVA del atributo textura.*

| <b>Fuente de variación</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>gl</b> | <b>Cuadrado medio</b> | <b>Valor F</b> | <b>p-valor</b> | <b>Significancia</b> |
|----------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|----------------------|
| <b>Modelo</b>              | 0.42                     | 2         | 0.21                  | 0.80           | 0.4804         | No significativo     |
| <b>Mezcla lineal</b>       | 0.42                     | 2         | 0.21                  | 0.80           | 0.4804         | —                    |
| <b>Residual</b>            | 2.40                     | 9         | 0.27                  | —              | —              | —                    |
| <b>Falta de ajuste</b>     | 1.47                     | 7         | 0.21                  | 0.46           | 0.8183         | No significativo     |
| <b>Error puro</b>          | 0.92                     | 2         | 0.46                  | —              | —              | —                    |
| <b>Total corregido</b>     | 2.82                     | 11        | —                     | —              | —              | —                    |

**Nota.** ANOVA: análisis de varianza; gl: grados de libertad. Se consideró un nivel de significancia de  $p < 0.05$ .

El análisis de varianza (ANOVA) para el atributo textura evidenció que el modelo no fue estadísticamente significativo ( $p = 0.4804$ ), con un valor F de 0.80, lo que indica que la variabilidad de la respuesta no es explicada de manera adecuada por el modelo de regresión. Asimismo, los efectos de la mezcla lineal tampoco resultaron significativos ( $p = 0.4804$ ), lo que sugiere

que las proporciones de los componentes no influyen de forma significativa sobre la dureza dentro del rango evaluado. Por otro lado, la falta de ajuste no fue significativa ( $p = 0.8183$ ), lo que confirma que el modelo presenta un ajuste adecuado a los datos experimentales, a pesar de su baja capacidad explicativa.

**Tabla 35.**

*Parámetros del modelo matemático para el atributo textura.*

| <b>Componente</b>                                | <b>Estimación del coeficiente</b> | <b>gl</b> | <b>Error estándar</b> | <b>IC 95% (Límite inferior)</b> | <b>IC 95% (Límite superior)</b> | <b>VIF</b> |
|--|-----------------------------------|-----------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------|
| <b>A: Harina de Quinoa</b>                       | 7.66                              | 1         | 0.32                  | 6.93                            | 8.38                            | 1.33       |
| <b>B: Harina de Arroz</b>                        | 7.63                              | 1         | 0.41                  | 6.71                            | 8.55                            | 1.67       |
| <b>C: Harina de Torta Desgrasada de Ajonjolí</b> | 9.02                              | 1         | 0.93                  | 6.91                            | 11.13                           | 1.83       |

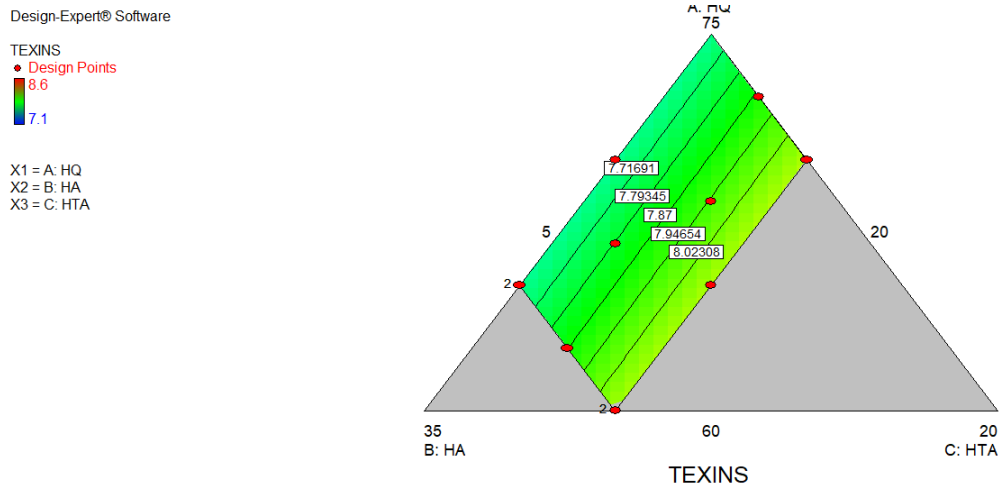
**Nota.** gl: grados de libertad; IC: intervalo de confianza al 95 %; VIF: factor de inflación de la varianza.

Los coeficientes del modelo matemático muestran que todos los componentes presentan efectos positivos sobre la respuesta, destacando la harina de torta desgrasada de ajonjolí ( $C = 9.02$ ) como el factor con mayor contribución, seguida de la harina de quinoa ( $A = 7.66$ ) y la harina de arroz ( $B = 7.63$ ).

Los intervalos de confianza al 95 % para los tres componentes no incluyen el cero ( $A: 6.93-8.38$ ;  $B: 6.71-8.55$ ;  $C: 6.91-11.13$ ), lo que indica que sus efectos son consistentes dentro del modelo. Asimismo, los valores de VIF ( $1.33-1.83$ ) evidencian ausencia de colinealidad, permitiendo una interpretación adecuada de los coeficientes.

**Figura 21.**

*Diagrama de contorno del atributo textura.*

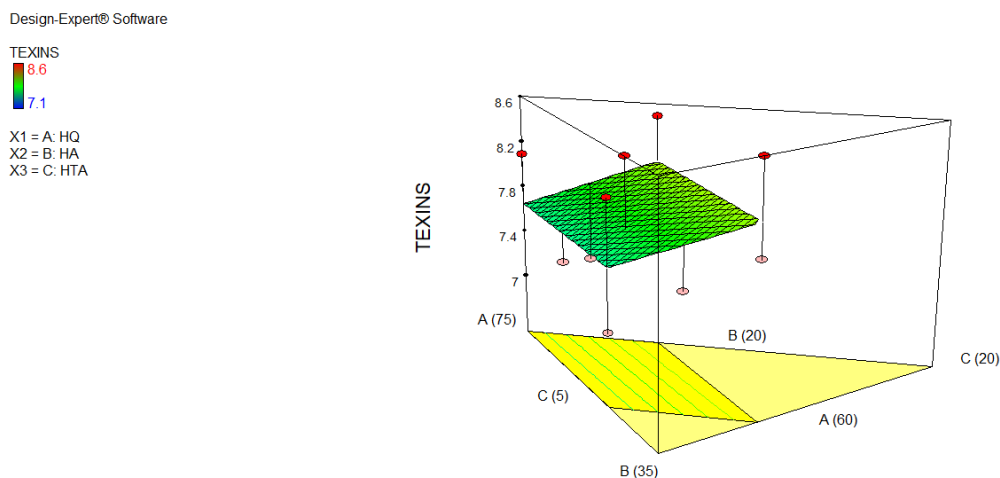


**Nota.** A: harina de quinua; B: harina de arroz; C: harina de torta desgrasada de ajonjolí. El atributo textura se evaluó mediante escala hedónica. Gráfico generado mediante Design-Expert®.

La gráfica de contorno del atributo sabor presentó una distribución relativamente uniforme, con valores comprendidos entre 7.5 y 8.9 en la escala hedónica, evidenciando una aceptabilidad favorable en todas las formulaciones evaluadas. Las zonas de mayor aceptación se concentraron en tratamientos con proporciones equilibradas de harina de quinua, harina de arroz y harina de torta desgrasada de ajonjolí, destacando T7 (8.9), T6 (8.8) y T8 (8.7), lo que sugiere que la interacción balanceada de los componentes contribuyó positivamente a la percepción sensorial del sabor. En contraste, las menores puntuaciones correspondieron a tratamientos como T1 (7.5), T12 (7.6) y T2 (7.8); sin embargo, estos valores permanecieron dentro del rango de aceptación, indicando ausencia de rechazo sensorial. Asimismo, la disposición homogénea de las curvas de nivel y la ausencia de gradientes marcados reflejan una baja variabilidad de la respuesta en el espacio experimental.

**Figura 22.**

*Superficie de respuesta del atributo textura.*



**Nota.** A: harina de quinua; B: harina de arroz; C: harina de torta desgrasada de ajonjolí. El atributo textura se evaluó mediante escala hedónica. Superficie generada mediante Design-Expert®.

La superficie de respuesta del atributo sabor presentó una tendencia suave y continua, caracterizada por variaciones moderadas entre los valores mínimos (7.5) y máximos (8.9), sin cambios abruptos asociados a las proporciones de los componentes de la mezcla. Las regiones de mayor aceptabilidad se localizaron principalmente en combinaciones intermedias de quinua, arroz y ajonjolí desgrasado, mientras que las menores puntuaciones se distribuyeron en zonas opuestas de la superficie experimental. No obstante, la falta de pendientes pronunciadas y de patrones claramente definidos indica que las variaciones en la formulación ejercieron un efecto limitado sobre el atributo sabor. Este comportamiento evidencia una relativa estabilidad sensorial del producto frente a los cambios en las proporciones de las harinas evaluadas.

### 4.3.3. COLOR ORGANOLÉPTICO

**Tabla 36.**

*Evaluación sensorial del atributo color.*

| <b>Tratamiento</b> | <b>A: Harina de Quinoa (%)</b> | <b>B: Harina de Arroz (%)</b> | <b>C: Harina de Torta Desgrasada de Ajonjolí (%)</b> | <b>Color Organoléptico</b> |
|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|--|----------------------------|
| <b>T1</b>          | 20                             | 70                            | 10   | 7.2 ± 0.44                 |
| <b>T2</b>          | 20                             | 75                            | 5  | 7.5 ± 0.40                 |
| <b>T3</b>          | 26                             | 64                            | 10   | 7.8 ± 0.37                 |
| <b>T4</b>          | 25                             | 70                            | 5  | 8.0 ± 0.35                 |
| <b>T5</b>          | 30                             | 63                            | 7  | 8.3 ± 0.32                 |
| <b>T6</b>          | 20                             | 75                            | 5  | 8.6 ± 0.30                 |
| <b>T7</b>          | 24                             | 68                            | 8  | 8.7 ± 0.28                 |
| <b>T8</b>          | 22                             | 72                            | 6  | 8.5 ± 0.29                 |
| <b>T9</b>          | 27                             | 66                            | 6  | 8.2 ± 0.33                 |
| <b>T10</b>         | 30                             | 60                            | 10   | 7.9 ± 0.36                 |
| <b>T11</b>         | 20                             | 70                            | 10   | 7.6 ± 0.39                 |
| <b>T12</b>         | 25                             | 70                            | 5  | 7.3 ± 0.42                 |

*Nota.* Los valores representan la media ± DS (n=40)

Los resultados del color organoléptico de los 12 tratamientos mostraron valores comprendidos entre 7.2 y 8.7 en la escala hedónica, evidenciando una buena aceptabilidad general del atributo. El tratamiento T7 presentó la mayor puntuación (8.7 ± 0.28), seguido de T6 (8.6 ± 0.30), T8 (8.5 ± 0.29) y T5 (8.3 ± 0.32), lo que indica una mayor preferencia por tonalidades asociadas a estas formulaciones.

En contraste, los valores más bajos se registraron en T1 (7.2 ± 0.44), T12 (7.3 ± 0.42) y T2 (7.5 ± 0.40), aunque todos los tratamientos se mantuvieron dentro de un rango aceptable. Estos resultados evidencian que pequeñas variaciones

en la formulación pueden influir en la percepción visual del producto.

El comportamiento observado puede estar relacionado con la composición de las harinas y los cambios generados durante el proceso de extrusión, los cuales afectan directamente el color final del snack.

En este sentido, Neder-Suárez *et al.* (2023) señalan que el color en productos extruidos está influenciado por la composición de los ingredientes y las reacciones térmicas. Asimismo, Arredondo-Ochoa *et al.* (2025) indican que las propiedades visuales son determinantes en la aceptación del consumidor.

En este contexto, los mayores valores observados en T7 y T6 reflejan una apariencia más atractiva, mientras que los menores valores evidencian menor preferencia visual, aunque sin afectar significativamente la aceptabilidad global.

**Tabla 37.**

*Resultados del análisis ANOVA para el atributo color.*

| <b>Fuente de variación</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>gl</b> | <b>Cuadrado medio</b> | <b>Valor F</b> | <b>p-valor</b> | <b>Significancia</b> |
|----------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|----------------------|
| <b>Modelo</b>              | 0.38                     | 2         | 0.19                  | 0.70           | 0.5197         | No significativo     |
| <b>Mezcla lineal</b>       | 0.38                     | 2         | 0.19                  | 0.70           | 0.5197         | —                    |
| <b>Residual</b>            | 2.43                     | 9         | 0.27                  | —              | —              | —                    |
| <b>Falta de ajuste</b>     | 1.50                     | 7         | 0.21                  | 0.46           | 0.8136         | No significativo     |
| <b>Error puro</b>          | 0.92                     | 2         | 0.46                  | —              | —              | —                    |
| <b>Total corregido</b>     | 2.81                     | 11        | —                     | —              | —              | —                    |

**Nota.** ANOVA: análisis de varianza; gl: grados de libertad. Se consideró un nivel de significancia de  $p < 0.05$ .

El análisis de varianza (ANOVA) para el color organoléptico evidenció que el modelo no fue estadísticamente significativo ( $p = 0.5197$ ), con un valor F de 0.70, lo que indica que la variabilidad en la percepción del color no es explicada

de manera significativa por el modelo de regresión. Asimismo, los efectos de la mezcla lineal tampoco resultaron significativos ( $p = 0.5197$ ), lo que sugiere que las proporciones de quinua, arroz y ajonjolí no influyen de forma determinante sobre este atributo sensorial dentro del rango evaluado.

Por otro lado, la falta de ajuste no fue significativa ( $p = 0.8136$ ), lo que confirma que el modelo presenta un ajuste adecuado a los datos experimentales, aunque con baja capacidad explicativa. Estos resultados evidencian que el color organoléptico presenta una baja sensibilidad frente a cambios en la formulación.

**Tabla 38.**

*Parámetros del modelo matemático para el atributo color.*

| Componente                                       | Estimación del coeficiente | gl | Error estándar | IC 95% (Límite inferior) | IC 95% (Límite superior) | VIF  |
|--|----------------------------|----|----------------|--------------------------|--------------------------|------|
| <b>A: Harina de Quinua</b>                       | 7.76                       | 1  | 0.32           | 7.03                     | 8.49                     | 1.33 |
| <b>B: Harina de Arroz</b>                        | 7.74                       | 1  | 0.41           | 6.82                     | 8.66                     | 1.67 |
| <b>C: Harina de Torta Desgrasada de Ajonjolí</b> | 9.05                       | 1  | 0.94           | 6.93                     | 11.17                    | 1.83 |

**Nota.** gl: grados de libertad; IC: intervalo de confianza al 95 %; VIF: factor de inflación de la varianza.

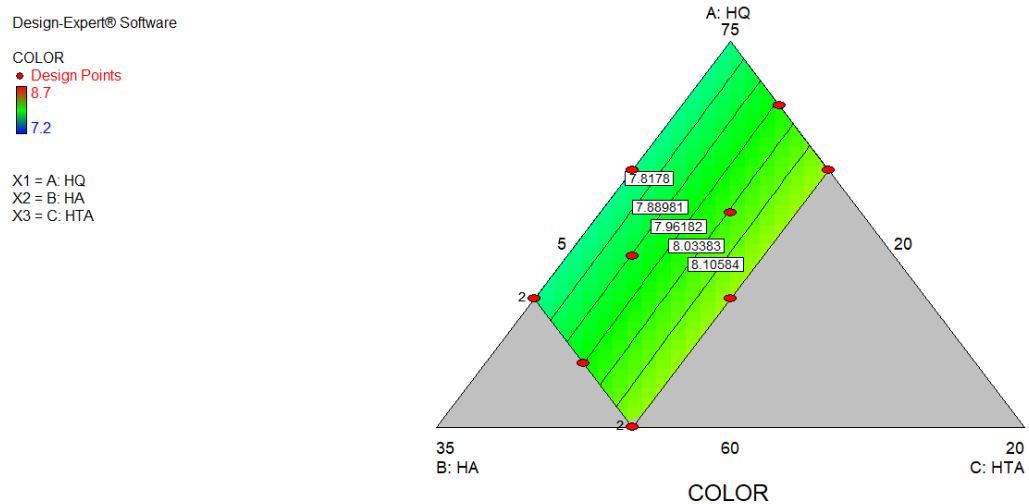
Los coeficientes del modelo matemático para el color organoléptico muestran que todos los componentes presentan efectos positivos sobre la respuesta, destacando la harina de torta desgrasada de ajonjolí ( $C = 9.05$ ) como el factor con mayor contribución, seguida de la harina de quinua ( $A = 7.76$ ) y la harina de arroz ( $B = 7.74$ ).

Los intervalos de confianza al 95 % no incluyen el cero ( $A: 7.03-8.49$ ;  $B: 6.82-8.66$ ;  $C: 6.93-11.17$ ), lo que indica consistencia en las estimaciones dentro del modelo. Asimismo, los valores de VIF ( $1.33-1.83$ ) evidencian ausencia de colinealidad entre los factores, permitiendo una adecuada interpretación de los

coeficientes. Sin embargo, pese a estos efectos positivos, el modelo global no fue significativo, lo que sugiere que la influencia de los componentes sobre el color es limitada en el rango evaluado.

**Figura 23.**

*Diagrama de contorno del atributo color.*

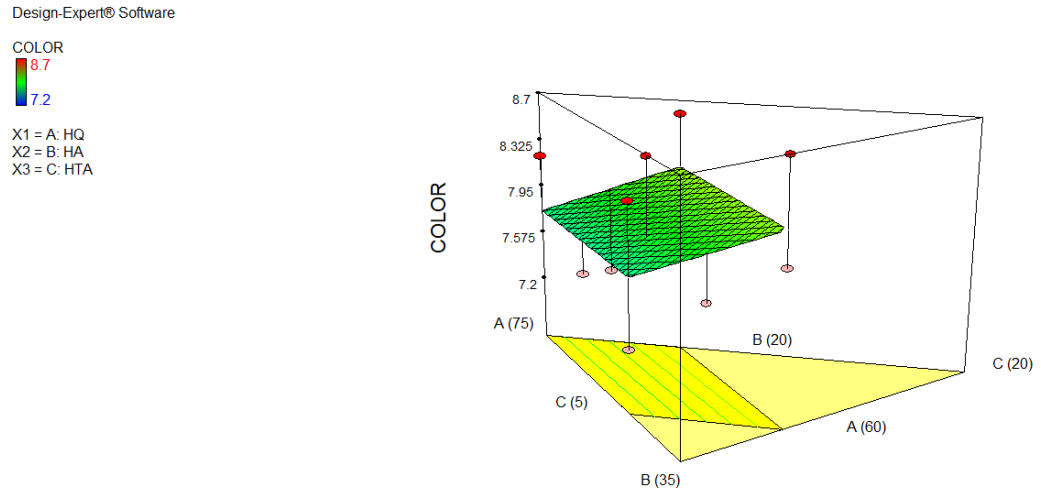


**Nota.** A: harina de quinua; B: harina de arroz; C: harina de torta desgrasada de ajonjolí. El atributo color se evaluó mediante escala hedónica. Gráfico generado mediante Design-Expert®.

La gráfica de contorno del color organoléptico muestra una distribución relativamente uniforme, con valores que oscilan entre aproximadamente 7.2 y 8.7 en la escala hedónica. Las zonas de mayor aceptación (8.3–8.7) se concentran en formulaciones cercanas a T7 (8.7), T6 (8.6) y T8 (8.5), mientras que los valores más bajos (7.2–7.5) corresponden a tratamientos como T1 (7.2), T12 (7.3) y T2 (7.5). Sin embargo, la disposición de las curvas de nivel no presenta gradientes marcados, lo que indica que las variaciones en la proporción de quinua, arroz y ajonjolí no generan cambios sustanciales en la percepción del color.

## Figura 24.

*Superficie de respuesta del atributo color.*



**Nota.** A: harina de quinua; B: harina de arroz; C: harina de torta desgrasada de ajonjolí. El atributo color se evaluó mediante escala hedónica. Superficie generada mediante Design-Expert®.

La superficie de respuesta del color organoléptico presenta una tendencia suave y homogénea, con ligeras elevaciones en las zonas de mayor aceptabilidad (8.3–8.7) y pequeñas depresiones en los valores más bajos (7.2–7.5), sin evidenciar pendientes pronunciadas ni patrones definidos. Esto sugiere que el efecto de la formulación sobre el color es limitado dentro del rango evaluado, confirmando la ausencia de una relación clara entre las proporciones de los componentes y la respuesta sensorial.

#### 4.3.4. OLOR ORGANOLÉPTICO

**Tabla 39.**

*Evaluación sensorial del atributo olor.*

| <b>Tratamiento</b> | <b>A: Harina de Quinoa (%)</b> | <b>B: Harina de Arroz (%)</b> | <b>C: Harina de Torta Desgrasada de Ajonjolí (%)</b> | <b>Olor Organoléptico</b> |
|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|--|---------------------------|
| <b>T1</b>          | 20                             | 70                            | 10   | 7.0 ± 0.45                |
| <b>T2</b>          | 20                             | 75                            | 5  | 7.3 ± 0.42                |
| <b>T3</b>          | 26                             | 64                            | 10   | 7.6 ± 0.38                |
| <b>T4</b>          | 25                             | 70                            | 5  | 7.9 ± 0.35                |
| <b>T5</b>          | 30                             | 63                            | 7  | 8.1 ± 0.33                |
| <b>T6</b>          | 20                             | 75                            | 5  | 8.4 ± 0.30                |
| <b>T7</b>          | 24                             | 68                            | 8  | 8.5 ± 0.28                |
| <b>T8</b>          | 22                             | 72                            | 6  | 8.3 ± 0.31                |
| <b>T9</b>          | 27                             | 66                            | 6  | 8.0 ± 0.34                |
| <b>T10</b>         | 30                             | 60                            | 10   | 7.7 ± 0.37                |
| <b>T11</b>         | 20                             | 70                            | 10   | 7.4 ± 0.41                |
| <b>T12</b>         | 25                             | 70                            | 5  | 7.1 ± 0.44                |

*Nota.* Los valores representan la media ± DS (n=40)

Los resultados del olor organoléptico de los 12 tratamientos mostraron valores comprendidos entre 7.0 y 8.5 en la escala hedónica, evidenciando una adecuada aceptabilidad sensorial del atributo.

El tratamiento T7 presentó la mayor puntuación (8.5 ± 0.28), seguido de T6 (8.4 ± 0.30), T8 (8.3 ± 0.31) y T5 (8.1 ± 0.33), lo que indica una mayor preferencia por estas formulaciones en términos de aroma. En contraste, los valores más bajos se registraron en T1 (7.0 ± 0.45), T12 (7.1 ± 0.44) y T2 (7.3 ± 0.42), aunque todos los tratamientos se mantuvieron dentro del rango de aceptabilidad. Estos resultados evidencian que el olor del producto presenta una variación

moderada en función de la formulación.

El comportamiento observado puede estar relacionado con los compuestos volátiles generados durante el proceso de extrusión, los cuales influyen directamente en la percepción del aroma. En este sentido, Sá *et al.* (2022) señalan que los subproductos de oleaginosas como el ajonjolí pueden aportar compuestos aromáticos característicos.

Asimismo, Ren *et al.* (2023) indican que los componentes de la quinua contribuyen al perfil sensorial de los alimentos procesados. En este contexto, los mayores valores observados en T7 y T6 reflejan una mayor liberación de compuestos aromáticos agradables, mientras que los menores valores evidencian menor intensidad o preferencia del aroma percibido.

**Tabla 40.**

*Resultados del análisis ANOVA para el atributo olor.*

| <b>Fuente de variación</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>gl</b> | <b>Cuadrado medio</b> | <b>Valor F</b> | <b>p-valor</b> | <b>Significancia</b> |
|----------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|----------------------|
| <b>Modelo</b>              | 0.42                     | 2         | 0.21                  | 0.80           | 0.4804         | No significativo     |
| <b>Mezcla lineal</b>       | 0.42                     | 2         | 0.21                  | 0.80           | 0.4804         | —                    |
| <b>Residual</b>            | 2.40                     | 9         | 0.27                  | —              | —              | —                    |
| <b>Falta de ajuste</b>     | 1.47                     | 7         | 0.21                  | 0.46           | 0.8183         | No significativo     |
| <b>Error puro</b>          | 0.92                     | 2         | 0.46                  | —              | —              | —                    |
| <b>Total corregido</b>     | 2.82                     | 11        | —                     | —              | —              | —                    |

**Nota.** ANOVA: análisis de varianza; gl: grados de libertad. Se consideró un nivel de significancia de  $p < 0.05$ .

El análisis de varianza (ANOVA) para el olor organoléptico evidenció que el modelo no fue estadísticamente significativo ( $p = 0.4804$ ), con un valor F de 0.80, lo que indica que la variabilidad en la percepción del aroma no es explicada de manera significativa por el modelo de regresión. Asimismo, los

efectos de la mezcla lineal tampoco resultaron significativos ( $p = 0.4804$ ), lo que sugiere que las proporciones de quinua, arroz y ajonjolí no influyen de forma determinante sobre este atributo sensorial dentro del rango evaluado.

Por otro lado, la falta de ajuste no fue significativa ( $p = 0.8183$ ), lo que confirma que el modelo presenta un ajuste adecuado a los datos experimentales, aunque con baja capacidad explicativa. Estos resultados evidencian que el olor organoléptico presenta una baja sensibilidad frente a cambios en la formulación.

**Tabla 41.**

*Parámetros del modelo matemático para el atributo olor.*

| Componente                                       | Estimación del coeficiente | gl | Error estándar | IC 95% (Límite inferior) | IC 95% (Límite superior) | VIF  |
|--|----------------------------|----|----------------|--------------------------|--------------------------|------|
| <b>A: Harina de Quinua</b>                       | 7.56                       | 1  | 0.32           | 6.83                     | 8.28                     | 1.33 |
| <b>B: Harina de Arroz</b>                        | 7.53                       | 1  | 0.41           | 6.61                     | 8.45                     | 1.67 |
| <b>C: Harina de Torta Desgrasada de Ajonjolí</b> | 8.92                       | 1  | 0.93           | 6.81                     | 11.03                    | 1.83 |

**Nota.** gl: grados de libertad; IC: intervalo de confianza al 95 %; VIF: factor de inflación de la varianza.

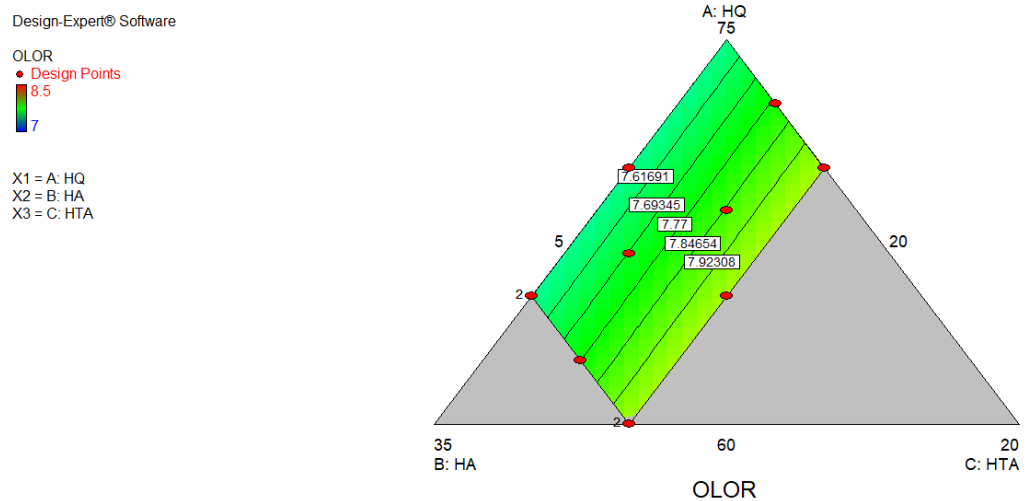
Los coeficientes del modelo matemático para el olor organoléptico muestran que todos los componentes presentan efectos positivos sobre la respuesta, destacando la harina de torta desgrasada de ajonjolí ( $C = 8.92$ ) como el factor con mayor contribución, seguida de la harina de quinua ( $A = 7.56$ ) y la harina de arroz ( $B = 7.53$ ).

Los intervalos de confianza al 95 % no incluyen el cero ( $A: 6.83-8.28$ ;  $B: 6.61-8.45$ ;  $C: 6.81-11.03$ ), lo que indica consistencia en las estimaciones dentro del modelo. Asimismo, los valores de VIF ( $1.33-1.83$ ) evidencian ausencia de colinealidad entre los factores, permitiendo una adecuada interpretación de los coeficientes. Sin embargo, pese a estos efectos positivos, el modelo global no

fue significativo, lo que sugiere que la influencia de los componentes sobre el olor es limitada en el rango evaluado.

**Figura 25.**

*Diagrama de contorno del atributo olor.*

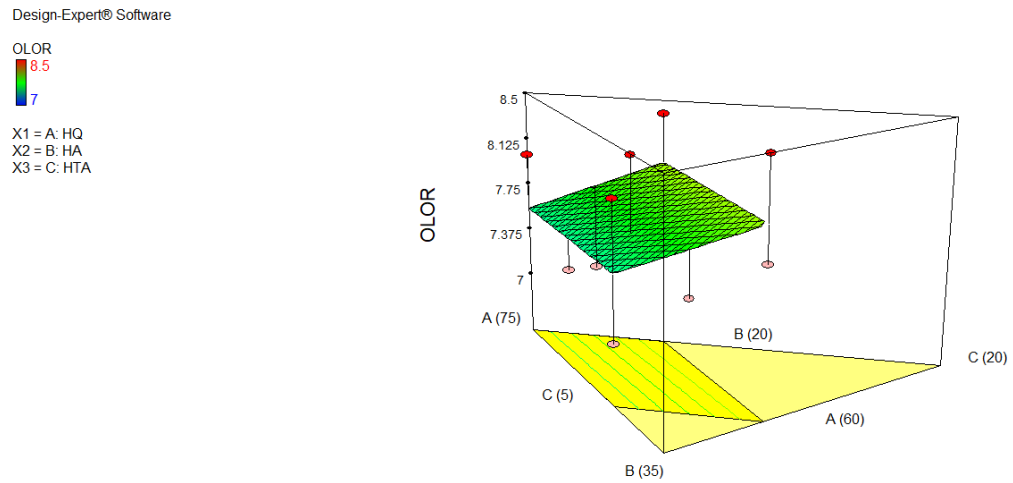


**Nota.** A: harina de quinua; B: harina de arroz; C: harina de torta desgrasada de ajonjolí. El atributo olor se evaluó mediante escala hedónica. Gráfico generado mediante Design-Expert®.

La gráfica de contorno del olor organoléptico presenta una distribución relativamente uniforme, con valores que oscilan entre aproximadamente 7.0 y 8.5 en la escala hedónica. Las zonas de mayor aceptación (8.1–8.5) se concentran en formulaciones cercanas a T7 (8.5), T6 (8.4) y T8 (8.3), mientras que los valores más bajos (7.0–7.3) corresponden a tratamientos como T1 (7.0), T12 (7.1) y T2 (7.3). Sin embargo, la disposición de las curvas de nivel no presenta gradientes marcados, lo que indica que las variaciones en la proporción de quinua, arroz y ajonjolí no generan cambios sustanciales en la percepción del aroma.

**Figura 26.**

*Superficie de respuesta del atributo olor.*



**Nota.** A: harina de quinua; B: harina de arroz; C: harina de torta desgrasada de ajonjolí. El atributo olor se evaluó mediante escala hedónica. Superficie generada mediante Design-Expert®.

La superficie de respuesta del olor organoléptico muestra una tendencia suave y homogénea, con ligeras elevaciones en las zonas de mayor aceptabilidad (8.1–8.5) y pequeñas depresiones en los valores más bajos (7.0–7.3), sin evidenciar pendientes pronunciadas ni patrones definidos. Esto sugiere que el efecto de la formulación sobre el aroma es limitado dentro del rango evaluado, confirmando la ausencia de una relación clara entre las proporciones de los componentes y la respuesta sensorial.

#### 4.3.5. ACEPTABILIDAD GENERAL

**Tabla 42.**

*Evaluación de la aceptabilidad general.*

| <b>Tratamiento</b> | <b>A:<br/>Harina<br/>de<br/>Quinua<br/>(%)</b> | <b>B:<br/>Harina<br/>de<br/>Arroz<br/>(%)</b> | <b>C: Harina de<br/>Torta Desgrasada<br/>de Ajonjolí (%)</b> | <b>Aceptabilidad<br/>General</b> |
|--------------------|--|---|--|----------------------------------|
| <b>T1</b>          | 20   | 70  | 10   | 7.3 ± 0.40                       |
| <b>T2</b>          | 20   | 75  | 5  | 7.6 ± 0.37                       |
| <b>T3</b>          | 26   | 64  | 10   | 7.9 ± 0.34                       |
| <b>T4</b>          | 25   | 70  | 5  | 8.2 ± 0.32                       |
| <b>T5</b>          | 30   | 63  | 7  | 8.4 ± 0.30                       |
| <b>T6</b>          | 20   | 75  | 5  | 8.7 ± 0.28                       |
| <b>T7</b>          | 24   | 68  | 8  | 8.8 ± 0.26                       |
| <b>T8</b>          | 22   | 72  | 6  | 8.6 ± 0.27                       |
| <b>T9</b>          | 27   | 66  | 6  | 8.3 ± 0.31                       |
| <b>T10</b>         | 30   | 60  | 10   | 8.0 ± 0.33                       |
| <b>T11</b>         | 20   | 70  | 10   | 7.7 ± 0.36                       |
| <b>T12</b>         | 25   | 70  | 5  | 7.4 ± 0.39                       |

*Nota.* Los valores representan la media ± DS (n=40)

Los resultados de la aceptabilidad general de los 12 tratamientos mostraron valores comprendidos entre 7.3 y 8.8 en la escala hedónica, evidenciando una alta aceptación global del producto. El tratamiento T7 presentó la mayor puntuación (8.8 ± 0.26), seguido de T6 (8.7 ± 0.28), T8 (8.6 ± 0.27) y T5 (8.4 ± 0.30), lo que indica una mayor preferencia integral por parte de los evaluadores. En contraste, los valores más bajos se registraron en T1 (7.3 ± 0.40), T12 (7.4 ± 0.39) y T2 (7.6 ± 0.37), aunque todos los tratamientos se mantuvieron dentro del rango de aceptabilidad. Estos resultados evidencian que las formulaciones evaluadas presentan un buen nivel de aceptación, destacando

aquellas con proporciones equilibradas de los componentes.

El comportamiento observado refleja la integración de los atributos sensoriales evaluados previamente, como sabor, textura, color y olor, los cuales influyen en la percepción global del producto. En este sentido, Barranzuela Beltrán & Ariza Velasco (2024) señalan que la aceptabilidad general depende de la interacción de múltiples atributos sensoriales.

Asimismo, Espinoza *et al.* (2021) indican que los productos extruidos con características sensoriales balanceadas tienden a presentar mayor preferencia por parte del consumidor. En este contexto, los mayores valores observados en T7 y T6 confirman que estas formulaciones lograron un equilibrio adecuado entre los atributos evaluados, generando una mayor aceptación global.

**Tabla 43.**

*Resultados del análisis ANOVA para la aceptabilidad general.*

| <b>Fuente de variación</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>gl</b> | <b>Cuadrado medio</b> | <b>Valor F</b> | <b>p-valor</b> | <b>Significancia</b> |
|----------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|----------------------|
| <b>Modelo</b>              | 0.42                     | 2         | 0.21                  | 0.80           | 0.4804         | No significativo     |
| <b>Mezcla lineal</b>       | 0.42                     | 2         | 0.21                  | 0.80           | 0.4804         | —                    |
| <b>Residual</b>            | 2.40                     | 9         | 0.27                  | —              | —              | —                    |
| <b>Falta de ajuste</b>     | 1.47                     | 7         | 0.21                  | 0.46           | 0.8183         | No significativo     |
| <b>Error puro</b>          | 0.93                     | 2         | 0.46                  | —              | —              | —                    |
| <b>Total corregido</b>     | 2.82                     | 11        | —                     | —              | —              | —                    |

**Nota.** ANOVA: análisis de varianza; gl: grados de libertad. Se consideró un nivel de significancia de  $p < 0.05$ .

El análisis de varianza muestra que el modelo aplicado a la aceptabilidad general no fue significativo ( $p = 0.4804 > 0.05$ ), con un valor F de 0.80, lo que indica que las proporciones de harina de quinua, arroz y torta desgrasada de

ajonjolí no influyeron de manera estadísticamente significativa sobre esta variable.

Asimismo, la mezcla lineal presentó el mismo comportamiento ( $F = 0.80$ ), mientras que el error residual alcanzó un cuadrado medio de 0.27, reflejando una variabilidad moderada entre los datos experimentales. Estos resultados son coherentes con los valores observados en la Tabla 41, donde, a pesar de existir diferencias numéricas (7.3 a 8.8), todas las formulaciones se mantuvieron dentro de un rango alto de aceptabilidad.

**Tabla 44.**

*Parámetros del modelo matemático para la aceptabilidad general.*

| Componente                                       | Estimación del coeficiente | gl | Error estándar | IC 95% (Límite inferior) | IC 95% (Límite superior) | VIF  |
|--|----------------------------|----|----------------|--------------------------|--------------------------|------|
| <b>A: Harina de Quinoa</b>                       | 7.86                       | 1  | 0.32           | 7.13                     | 8.58                     | 1.33 |
| <b>B: Harina de Arroz</b>                        | 7.83                       | 1  | 0.41           | 6.91                     | 8.75                     | 1.67 |
| <b>C: Harina de Torta Desgrasada de Ajonjolí</b> | 9.22                       | 1  | 0.93           | 7.11                     | 11.33                    | 1.83 |

**Nota.** gl: grados de libertad; IC: intervalo de confianza al 95 %; VIF: factor de inflación de la varianza.

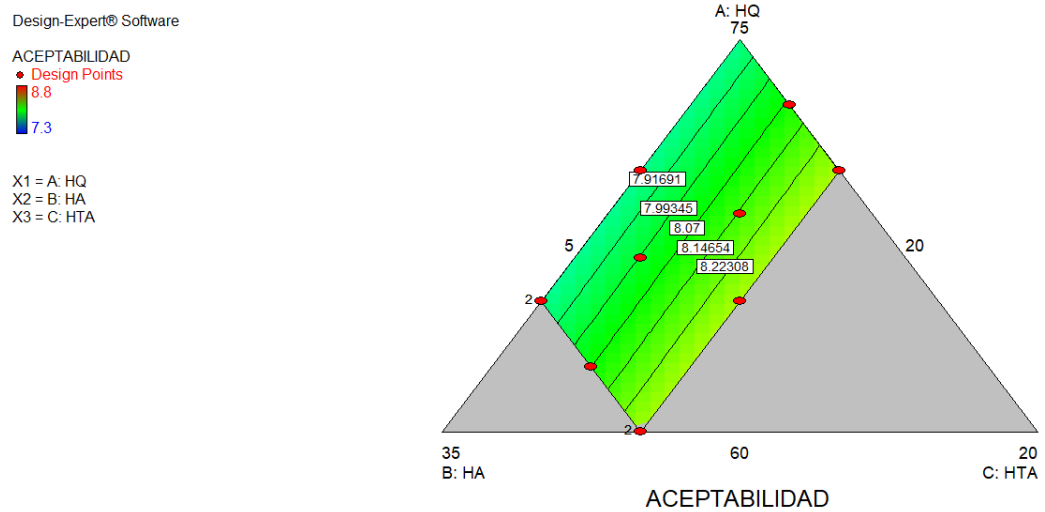
Los coeficientes del modelo matemático evidencian que la harina de torta desgrasada de ajonjolí (C) presentó la mayor estimación (9.22), en comparación con la harina de quinoa ( $A = 7.86$ ) y la harina de arroz ( $B = 7.83$ ), lo que sugiere una mayor contribución teórica de este componente sobre la aceptabilidad general.

Sin embargo, los intervalos de confianza al 95% muestran una alta amplitud en el componente C (7.11 a 11.33), reflejando mayor variabilidad en su efecto, mientras que los componentes A (7.13 a 8.58) y B (6.91 a 8.75) presentan rangos más estrechos. Asimismo, los valores de VIF (1.33–1.83) indican

ausencia de multicolinealidad significativa entre las variables, lo que garantiza la estabilidad del modelo.

**Figura 27.**

*Diagrama de contorno de la aceptabilidad general.*

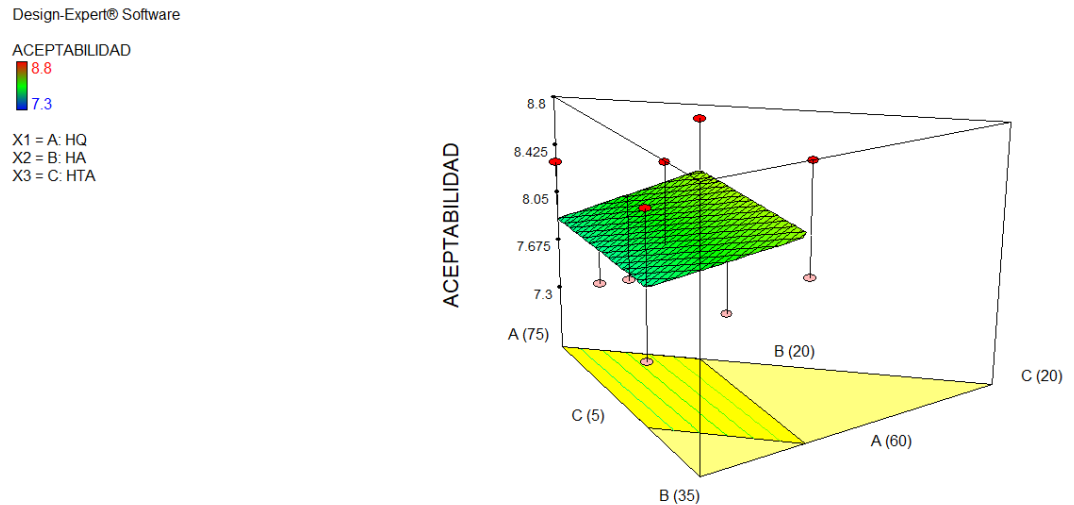


**Nota.** A: harina de quinua; B: harina de arroz; C: harina de torta desgrasada de ajonjolí. La aceptabilidad general se evaluó mediante escala hedónica. Gráfico generado mediante Design-Expert®.

La gráfica de contorno de la aceptabilidad general evidencia una distribución homogénea de los valores, con rangos que oscilan aproximadamente entre 7.3 y 8.8, coincidiendo con los resultados experimentales. Las zonas de mayor aceptación (8.4–8.8) se concentran en regiones cercanas a las formulaciones T7 (8.8), T6 (8.7) y T8 (8.6), mientras que los valores más bajos (7.3–7.6) se ubican en tratamientos como T1 (7.3), T12 (7.4) y T2 (7.6). No obstante, las curvas de nivel presentan una tendencia suave y poco definida, lo que indica la ausencia de cambios bruscos en la respuesta frente a variaciones en las proporciones de los componentes.

**Figura 28.**

*Superficie de respuesta de la aceptabilidad general.*



**Nota.** A: harina de quinua; B: harina de arroz; C: harina de torta desgrasada de ajonjolí. La aceptabilidad general se evaluó mediante escala hedónica. Superficie generada mediante Design-Expert®.

El gráfico de superficie de respuesta muestra una topografía relativamente plana, con ligeras elevaciones en las zonas de mayor aceptabilidad (8.5–8.8) y pequeñas depresiones en los valores más bajos (7.3–7.6), sin la presencia de picos pronunciados ni valles marcados. Esta configuración indica que el efecto de los componentes sobre la aceptabilidad general es limitado dentro del rango estudiado, confirmando que no existe una relación significativa entre la formulación y la respuesta sensorial global.

#### 4.4. EVALUACIÓN NUTRICIONAL

##### 4.4.1. DETERMINACIÓN DE LA PROTEÍNA (AOAC 2001.11)

**Tabla 45.**

*Determinación de proteína del snack extruido.*

| Tratamiento | A: Harina de Quinoa (%) | B: Harina de Arroz (%) | C: Harina de Torta Desgrasada de Ajonjolí (%) | % Proteína     |
|-------------|-------------------------|------------------------|---|----------------|
| T1          | 20                      | 70                     | 10  | 11.046 ± 0.096 |
| T2          | 20                      | 75                     | 5   | 12.823 ± 0.069 |
| T3          | 26                      | 64                     | 10  | 12.876 ± 0.039 |
| T4          | 25                      | 70                     | 5   | 11.640 ± 0.038 |
| T5          | 30                      | 63                     | 7   | 12.246 ± 0.040 |
| T6          | 20                      | 75                     | 5   | 11.282 ± 0.073 |
| T7          | 24                      | 68                     | 8   | 11.792 ± 0.019 |
| T8          | 22                      | 72                     | 6   | 11.885 ± 0.068 |
| T9          | 27                      | 66                     | 6   | 12.207 ± 0.072 |
| T10         | 30                      | 60                     | 10  | 13.149 ± 0.063 |
| T11         | 20                      | 70                     | 10  | 13.025 ± 0.121 |
| T12         | 25                      | 70                     | 5   | 10.980 ± 0.116 |

*Nota.* Los valores representan la media ± DS (n=3)

Los resultados de contenido proteico de los tratamientos evaluados oscilaron entre 10.980% y 13.149%, evidenciando una variabilidad moderada en función de la formulación. El mayor valor se registró en el tratamiento T10 (13.149 ± 0.063%), seguido de T11 (13.025 ± 0.121%) y T3 (12.876 ± 0.039%), mientras que los menores contenidos se observaron en T12 (10.980 ± 0.116%) y T1 (11.046 ± 0.096%).

Estos resultados sugieren que las formulaciones con mayor proporción de harina de quinua (hasta 30%) y presencia de torta desgrasada de ajonjolí (10%) tienden a incrementar el contenido proteico del producto final, evidenciando el aporte significativo de estos ingredientes en la mejora del valor nutricional del snack extruido.

Este comportamiento es consistente con lo reportado por Chen *et al.* (2023), quienes destacan que la quinua presenta proteínas de alto valor biológico, favoreciendo el incremento del valor nutricional en productos extruidos. Asimismo, Melo *et al.* (2021) señalaron que el ajonjolí posee un elevado contenido de lípidos insaturados, principalmente ácidos grasos poliinsaturados, los cuales incrementan la susceptibilidad a procesos de oxidación y rancidez en productos alimenticios con alto contenido graso.

En ese sentido, el empleo de torta desgrasada de ajonjolí en la presente investigación permitió reducir parcialmente el contenido lipídico de la formulación, favoreciendo una mayor estabilidad del snack extruido sin afectar significativamente el aporte proteico del ingrediente. De manera similar, Singh *et al.* (2022) mencionan que las tortas oleaginosas desgrasadas constituyen fuentes importantes de proteína vegetal para alimentos funcionales y productos extruidos, debido a su adecuado balance nutricional y menor contenido de grasa residual. Además, el tratamiento T4, seleccionado como formulación óptima, presentó un contenido de proteína de 11.640 %, manteniendo un adecuado equilibrio entre valor nutricional, expansión y aceptabilidad sensorial.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Sá *et al.* (2021), quienes mencionan que el desgrasado del ajonjolí permite obtener un ingrediente con menor contenido lipídico y mayor concentración proteica, favoreciendo su incorporación en alimentos procesados con mejor estabilidad oxidativa. Del mismo modo, Wang *et al.* (2023) señalan que la reducción de grasa en subproductos oleaginosos disminuye la susceptibilidad al deterioro y rancidez durante el almacenamiento, especialmente en productos extruidos sometidos a altas temperaturas. Este comportamiento fue similar al observado en la presente

investigación, donde la utilización de torta desgrasada de ajonjolí permitió obtener snacks con contenidos de proteína entre 10.980 % y 13.149 %, manteniendo adecuados valores de expansión y aceptabilidad sensorial. Asimismo, el tratamiento T4, seleccionado como formulación óptima, presentó 11.640 % de proteína, índice de expansión de 1.593 y aceptabilidad general de 8.2, evidenciando un equilibrio favorable entre estabilidad tecnológica, valor nutricional y calidad sensorial del producto final.

**Tabla 46.**

*Resultados del análisis ANOVA para la proteína.*

| <b>Fuente de variación</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>gl</b> | <b>Cuadrado medio</b> | <b>Valor F</b> | <b>p-valor</b> | <b>Significancia</b> |
|----------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|----------------------|
| <b>Modelo</b>              | 0.67                     | 2         | 0.34                  | 0.52           | 0.6122         | No significativo     |
| <b>Mezcla lineal</b>       | 0.67                     | 2         | 0.34                  | 0.52           | 0.6122         | —                    |
| <b>Residual</b>            | 5.82                     | 9         | 0.65                  | —              | —              | —                    |
| <b>Falta de ajuste</b>     | 4.18                     | 7         | 0.60                  | 0.73           | 0.6859         | No significativo     |
| <b>Error puro</b>          | 1.64                     | 2         | 0.82                  | —              | —              | —                    |
| <b>Total corregido</b>     | 6.50                     | 11        | —                     | —              | —              | —                    |

**Nota.** ANOVA: análisis de varianza; gl: grados de libertad. Se consideró un nivel de significancia de  $p < 0.05$ .

El análisis de varianza indica que el modelo de regresión para el contenido de proteína no fue significativo ( $p = 0.6122 > 0.05$ ), con un valor F de 0.52, lo que evidencia que las proporciones de harina de quinua, arroz y torta desgrasada de ajonjolí no influyeron de manera estadísticamente significativa sobre esta variable. Asimismo, la mezcla lineal presentó el mismo comportamiento ( $F = 0.52$ ), mientras que el cuadrado medio del error residual fue de 0.65, indicando una variabilidad moderada entre los tratamientos evaluados. Estos resultados concuerdan con la Tabla 45, donde, a pesar de observarse diferencias numéricas

(10.98% a 13.15%), estas no fueron suficientemente amplias para generar diferencias estadísticas significativas.

**Tabla 47.**

*Parámetros del modelo matemático para la proteína.*

| <b>Componente</b>                                | <b>Estimación del coeficiente</b> | <b>gl</b> | <b>Error estándar</b> | <b>IC 95% (Límite inferior)</b> | <b>IC 95% (Límite superior)</b> | <b>VIF</b> |
|--|-----------------------------------|-----------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------|
| <b>A: Harina de Quinoa</b>                       | 11.75                             | 1         | 0.50                  | 10.62                           | 12.88                           | 1.33       |
| <b>B: Harina de Arroz</b>                        | 12.62                             | 1         | 0.63                  | 11.19                           | 14.05                           | 1.67       |
| <b>C: Harina de Torta Desgrasada de Ajonjolí</b> | 11.70                             | 1         | 1.45                  | 8.42                            | 14.99                           | 1.83       |

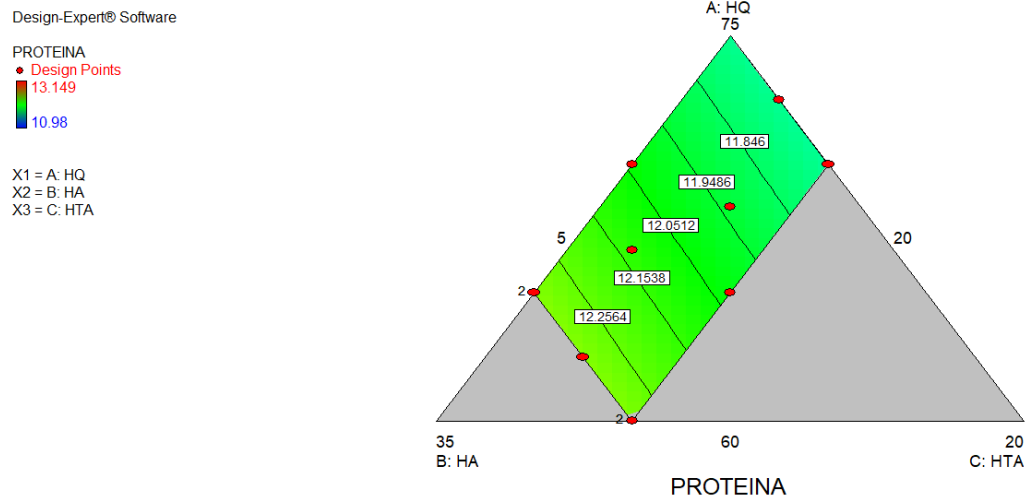
**Nota.** gl: grados de libertad; IC: intervalo de confianza al 95 %; VIF: factor de inflación de la varianza.

Los coeficientes del modelo muestran que la harina de arroz (B) presentó la mayor estimación (12.62), seguida de la harina de quinoa (A = 11.75) y la harina de torta desgrasada de ajonjolí (C = 11.70), lo que sugiere una contribución similar de los tres componentes al contenido proteico del snack.

Los intervalos de confianza al 95% evidencian rangos relativamente estrechos para A (10.62–12.88) y B (11.19–14.05), mientras que el componente C presenta un intervalo más amplio (8.42–14.99), indicando mayor variabilidad en su efecto. Asimismo, los valores de VIF (1.33–1.83) reflejan ausencia de multicolinealidad significativa, lo que garantiza la confiabilidad del modelo estimado.

## Figura 29.

*Diagrama de contorno del contenido de proteína.*

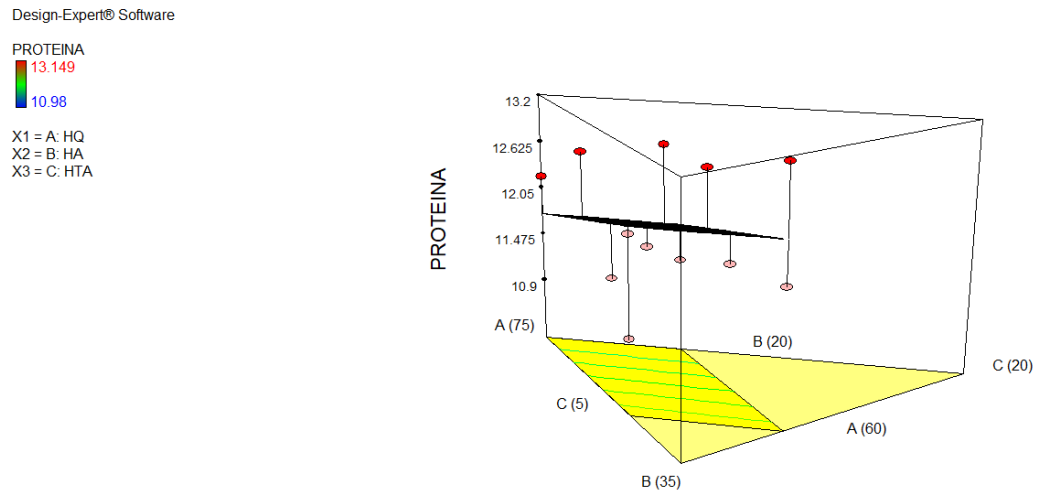


**Nota.** A: harina de quinua; B: harina de arroz; C: harina de torta desgrasada de ajonjolí. El contenido de proteína se expresa en porcentaje (%). Gráfico generado mediante Design-Expert®.

La gráfica de contorno para el contenido de proteína muestra una distribución relativamente uniforme, con valores que oscilan entre aproximadamente 10.98% y 13.15%. Las zonas con mayor concentración proteica (12.8–13.1%) se ubican en formulaciones cercanas a T10 (13.149%), T11 (13.025%) y T3 (12.876%), mientras que los valores más bajos (10.9–11.2%) corresponden a tratamientos como T12 (10.980%) y T1 (11.046%). Sin embargo, las curvas de nivel presentan una tendencia suave y sin gradientes pronunciados, lo que indica que las variaciones en las proporciones de quinua, arroz y ajonjolí no generan cambios drásticos en el contenido proteico.

### Figura 30.

*Superficie de respuesta del contenido de proteína.*



**Nota.** A: harina de quinua; B: harina de arroz; C: harina de torta desgrasada de ajonjolí. El contenido de proteína se expresa en porcentaje (%). Superficie generada mediante Design-Expert®.

El gráfico de superficie de respuesta presenta una topografía ligeramente ondulada, observándose pequeñas elevaciones en las zonas correspondientes a mayores contenidos proteicos (12.8–13.1%) y leves depresiones en los valores más bajos (11.0–11.3%), sin evidenciar picos o valles pronunciados. Esta distribución indica que las variaciones en las proporciones de harina de quinua, harina de arroz y torta desgrasada de ajonjolí no generaron cambios drásticos en el contenido de proteína dentro del rango experimental evaluado.

Se aprecia además que las formulaciones con mayores proporciones de quinua y presencia de torta desgrasada de ajonjolí tendieron a incrementar ligeramente el contenido proteico del snack extruido, debido al mayor aporte de proteínas de ambos ingredientes. Sin embargo, la pendiente suave de la superficie evidencia que el efecto de interacción entre los componentes fue limitado, comportamiento que coincide con los resultados del análisis ANOVA, donde no se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ) para esta variable.

#### 4.5. OPTIMIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN DEL SNACK EXTRUIDO

Para la determinación de la formulación óptima del snack extruido, se empleó la técnica de optimización de respuesta múltiple mediante la función de deseabilidad. En este caso, la selección de variables se realizó bajo un criterio técnico, considerando únicamente aquellas que tienen mayor impacto en la calidad del producto extruido y en la aceptación del consumidor.

En este sentido, se priorizaron variables tecnológicas clave como el índice de expansión y el volumen específico, debido a su relación directa con la estructura, crocancia y calidad física del snack. Asimismo, se incluyeron variables sensoriales representativas como el sabor y la aceptabilidad general, por ser determinantes en la preferencia del consumidor. Finalmente, se consideró el contenido de proteína como indicador del valor nutricional del producto.

Por tanto, las restricciones establecidas fueron:

- **Maximización del índice de expansión** (1.348 – 1.593)
- **Maximización del volumen específico** (9.454 – 12.161 mL/g)
- **Maximización del sabor organoléptico** (7.5 – 8.9)
- **Maximización de la aceptabilidad general** (7.3 – 8.8)
- **Maximización del contenido de proteína** (10.98 – 13.15%)

Las demás variables, como índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad (ISA), textura instrumental, color y olor, no fueron consideradas directamente en la optimización, debido a que no presentaron significancia estadística o mostraron un comportamiento estable entre tratamientos, por lo que no aportaban capacidad discriminativa en el modelo.

Las restricciones fueron ingresadas al software Design Expert® versión 7.0, asignando igual importancia (1.0) a cada variable seleccionada. Como resultado del análisis y contrastación con los datos experimentales, se determinó que el tratamiento T4 (25% harina de quinua, 70% harina de arroz y 5% harina de torta desgrasada de ajonjolí) representa la mejor formulación global.

**Tabla 48.***Tratamiento óptimo seleccionado.*

| Tratamiento | Quinua (%) | Arroz (%) | Ajonjolí (%) | VE (mL/g) | IE    | Sabor | Aceptabilidad | Proteína (%) |
|-------------|------------|-----------|--------------|-----------|-------|-------|---------------|--------------|
| <b>T4</b>   | 25         | 70        | 5            | 12.161    | 1.593 | 8.3   | 8.2           | 11.640       |

**Nota.** El tratamiento T4 presentó un adecuado equilibrio entre propiedades tecnológicas, sensoriales y contenido de proteína, siendo seleccionado como formulación óptima.

El tratamiento T4, conformado por 25 % de harina de quinua, 70 % de harina de arroz y 5 % de harina de torta desgrasada de ajonjolí, fue seleccionado como la formulación óptima debido a que presentó el mejor equilibrio entre las propiedades tecnológicas, sensoriales y nutricionales evaluadas en el estudio. Desde el punto de vista tecnológico, alcanzó un volumen específico de 12.161 mL/g y un índice de expansión de 1.593, valores que indican una adecuada expansión del extruido, favoreciendo una estructura más ligera, aireada y crocante, características fundamentales en snacks de buena calidad.

En el aspecto sensorial, el tratamiento obtuvo una calificación de 8.3 en sabor y 8.2 en aceptabilidad general, evidenciando una alta preferencia por parte de los panelistas. Estos resultados indican que la combinación de harinas permitió desarrollar un producto con características agradables de sabor, textura y percepción global, incrementando su potencial de aceptación comercial.

Respecto al componente nutricional, el tratamiento presentó un contenido de 11.640 % de proteína, valor superior al de snacks convencionales elaborados únicamente a base de cereales, lo que demuestra que la incorporación de quinua y ajonjolí contribuyó al enriquecimiento proteico del producto. Además, esta formulación permitió mejorar el valor nutricional sin afectar negativamente las propiedades de expansión ni la aceptabilidad sensorial, razón por la cual el tratamiento T4 fue considerado como la alternativa más adecuada dentro de las formulaciones evaluadas.

## 4.6. CARACTERIZACIÓN DE LA FORMULA ÓPTIMA

### 4.6.1. COMPOSICIÓN PROXIMAL

Los resultados de los análisis efectuados a la harina de la formula óptima se presentan en la **Tabla 49**.

**Tabla 49.**

*Composición proximal de la formulación óptima (base seca, 100 g).*

| <b>Composición</b> | <b>Valores obtenidos (%)</b> |
|--------------------|------------------------------|
| Humedad            | 9.37 ± 0.17                  |
| Cenizas            | 1.47 ± 0.02                  |
| Proteínas          | 11.64 ± 0.04                 |
| Grasa              | 19.77 ± 0.03                 |
| Fibra              | 4.64 ± 0.11                  |
| Carbohidratos      | 62.48 ± 0.12                 |

**Nota:** Media de 3 repeticiones ± DS.

La caracterización de la fórmula óptima reveló una humedad de  $9.37 \pm 0.17\%$ , lo que asegura una estabilidad adecuada para almacenamiento y procesamiento. El contenido de cenizas fue de  $1.47 \pm 0.02\%$ , indicando un aporte moderado de minerales.

En cuanto a macronutrientes, la fórmula mostró proteínas de  $11.64 \pm 0.04\%$ , contribuyendo de manera significativa al valor nutricional del producto, mientras que la grasa se situó en  $19.77 \pm 0.03\%$ , constituyendo la fracción lipídica predominante y aportando energía concentrada.

La fibra dietética alcanzó  $4.64 \pm 0.11\%$ , ofreciendo un aporte de compuestos no digeribles, y los carbohidratos, calculados por diferencia, fueron de  $62.48 \pm 0.12\%$ , representando la fracción energética más importante después de los lípidos.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En relación con el objetivo general, se logró optimizar la formulación del snack extruido a base de harina de quinua, harina de arroz y harina de ajonjolí desgrasado mediante un diseño experimental D-Optimal, identificándose como tratamiento óptimo la combinación de 25 % quinua, 70 % arroz y 5 % ajonjolí. Esta formulación presentó valores adecuados de índice de expansión (1.593), volumen específico (12.161 mL/g), aceptabilidad sensorial (8.2) y contenido proteico (11.64 %), evidenciando un equilibrio entre calidad tecnológica, nutricional y sensorial del producto desarrollado.
- En relación con el primer objetivo específico, se logró obtener y procesar adecuadamente las harinas de quinua, arroz y ajonjolí desgrasado, presentando características fisicoquímicas apropiadas para su aplicación en extrusión, tales como estabilidad, granulometría homogénea y condiciones adecuadas de almacenamiento, lo que permitió su correcta incorporación en las formulaciones experimentales.
- En relación con el segundo objetivo específico, la caracterización fisicoquímica de las materias primas evidenció diferencias en su composición proximal, donde la harina de quinua destacó por su contenido proteico y mineral, el arroz por su alto contenido de almidón (76.9 % de carbohidratos), y la harina de ajonjolí desgrasado por su elevado aporte proteico, contribuyendo en conjunto al mejoramiento del valor nutricional del snack extruido.
- En relación con el tercer objetivo específico, se determinó que las propiedades tecnológicas del producto estuvieron influenciadas por la formulación, registrándose valores de índice de absorción de agua entre 4.3 y 6.3 g/g, índice de solubilidad en agua entre 8.85 % y 16.94 %, índice de expansión entre 1.348 y 1.593 y dureza entre 14.2 y 22.8 N, lo que refleja cambios en la capacidad de hidratación, gelatinización del almidón y formación de la estructura expandida. Asimismo, la evaluación sensorial mostró una aceptabilidad favorable, con valores entre 7.0 y 8.9 en escala hedónica, destacando el tratamiento óptimo con puntuaciones de 8.3 en sabor y 8.2 en aceptabilidad general. El contenido de proteína osciló entre 10.98 % y 13.15 %, confirmándose que la incorporación de harina de ajonjolí desgrasado incrementa el

valor nutricional sin afectar negativamente las propiedades tecnológicas ni sensoriales.

- Se recomienda evaluar la incorporación de materias primas con alto contenido proteico, como leguminosas o subproductos agroindustriales, con la finalidad de incrementar el contenido proteico del snack extruido por encima de los valores obtenidos, procurando mantener condiciones adecuadas de expansión y aceptabilidad sensorial.
- Se sugiere profundizar en la optimización de las variables operativas del proceso de extrusión, tales como temperatura y velocidad de tornillo, dentro de rangos cercanos a los utilizados en el estudio, con el propósito de mejorar características tecnológicas como el índice de expansión y la textura del producto final.
- Se recomienda evaluar el efecto del contenido de humedad inicial de la mezcla sobre las propiedades del producto, considerando que este factor influye directamente en parámetros como el índice de absorción de agua y el índice de solubilidad en agua, los cuales determinan la estructura y calidad del snack extruido.
- Se recomienda validar la formulación óptima a escala piloto e industrial, mediante la evaluación de su desempeño en condiciones reales de operación, considerando parámetros de proceso, rendimiento productivo y estabilidad del producto, así como el análisis de su factibilidad técnica y económica para su posible implementación a nivel agroindustrial.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achallma Ccoriñahui, I. (2025). *Bioestimulantes y gallinaza compostada en la precocidad y rendimiento de quinua (Chenopodium quinoa W.), Canaán, 2750 msnm-Ayacucho* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/20.500.14612/7801>
- Alcarraz Gomez, P. Y., & Tocas Mendoza, J. H. (2025). *Estado nutricional y anemia ferropénica en niños de 1 a 5 años en el distrito de Huancayo, Junín-Perú 2023* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle]. <https://repositorio.une.edu.pe/handle/20.500.14039/11907>
- Angeli, V., Miguel Silva, P., Crispim Massuela, D., Khan, M. W., Hamar, A., Khajehei, F., Graeff-Hönniger, S., & Piatti, C. (2020). Quinoa (*Chenopodium Quinoa Willd.*): An overview of the potentials of the “golden grain” and socio-economic and environmental aspects of its cultivation and marketization. *Foods*, 9(2), 216. <https://doi.org/10.3390/foods9020216>
- Arredondo-Ochoa, T., López, A. D. C., Sánchez, E. M., & Gaytán-Martínez, M. (2025). Harinas instantáneas: ingrediente versátil para una alimentación rápida y nutritiva. *Digital Ciencia@ UAQRO*, 18(1), 55-66. <https://doi.org/10.61820/dcuaq.2395-8847.v18n1.1693>
- Bagchi, T. B., Das, B., Kumar, A., Kumar, G., Banerjee, J., Gain, H., Adhikari, A. A., & Chattopadhyay, K. (2023). Impact of cooking, parboiling and fermentation on nutritional components, predicted glycemic index and pasting properties of rice. *Journal of Cereal Science*, 114, 103763. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103763>
- Bajaña Morán, D. A. (2022). *Importancia del manejo agronómico del cultivo de ajonjolí (Sesamum indicum L.) en Ecuador* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13295>
- Barranzuela Beltrán, A. L., & Ariza Velasco, C. A. (2024). *Estudio de factibilidad para la creación de una empresa dedicada a la elaboración y*

*comercialización de snacks saludables* [Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <http://hdl.handle.net/11349/94749>

Belen Medina, M., Barragán, R., Colman Casanova, D., Piacenza, M., & Munitz, M. S. (2021). Cocción de Arroz: Eficiencia Energética, valor nutricional y Metales Pesados. *BISTUA REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS*, 19(2). <https://doi.org/10.24054/01204211.v2.n2.2021.1016>

Berhe, M., Subramanyam, B., Demissie, G., Chichaybelu, M., Abera, F. A., Mahroof, R., & Harvey, J. (2023). Effect of storage duration and storage technologies on pest infestations and post-harvest quality loss of stored sesame seeds in Ethiopia. *Journal of Stored Products Research*, 103, 102161. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2023.102161>

Bravo Apolinario, A. N. (2025). *Desnutrición crónica infantil y las desigualdades sociales en la comunidad de Tugaduaja. Parroquia Chanduy. Provincia de Santa Elena, 2024* [Tesis de grado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/13708>

Bruno, M., Capraro, L., Casale, C., Giaccardi, F., Raymundo, S., Reynoso, D., & Simanovich, F. (2024). *Evaluación de la decisión de compra de snacks, galletitas y golosinas en relación al etiquetado frontal en adolescentes de 13 a 18 años que residen en CABA y provincia de Buenos Aires* [Tesis de grado, Universidad Nacional de La Plata]. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/168687>

Cao, P.-H., Zhang, C.-X., Ma, Y.-X., Yu, Y.-M., Liu, H.-M., Wang, X.-D., & Zheng, Y.-Z. (2023). Extraction of protein from sesame meal: Impact of deep eutectic solvents on protein structure and functionality. *LWT*, 115366. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115366>

Castro-Albán, H. A., Castro-Gómez, R. del, & Alvarado-Capó, Y. (2023). Variabilidad Morfoagronómica de Quinoa (*chenopodium quinoa willd.*) Nativa Tipo Chimborazo en Ecuador. *Agronomía Mesoamericana*, 53229. <https://doi.org/10.15517/am.2023.53229>

- Chen, X., Zhang, Y., Cao, B., Wei, X., Shen, Z., & Su, N. (2023). Assessment and comparison of nutritional qualities of thirty quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.) seed varieties. *Food Chemistry: X*, *19*, 100808. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100808>
- Chen, Z., Fu, J., Dou, X., Deng, Z., Wang, X., Ma, F., Yu, L., Yun, Y.-H., Li, P., & Zhang, L. (2023). Comprehensive adulteration detection of sesame oil based on characteristic markers. *Food Chemistry: X*, *18*, 100745. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100745>
- Cuchilla Sánchez, M. A., López Olivo, R. E., Rodríguez Urrutia, E. A., Flores Tensos, J. M., & Palacios Hernández, D. D. J. (2022). *Determinación de las características fisicoquímicas de las semillas de tres variedades de ajonjolí (*Sesamun indicum* L.) y elaboración de una bebida casera* [Tesis de grado, Universidad de El Salvador]. <https://hdl.handle.net/20.500.14492/2889>
- De La Cruz-Arango, J. (2023). La Quinoa en el Perú: Pseudocereal Andino, alimento de generaciones presentes y Futuras. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, *11*(1), 1–3. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2023.110100001>
- Delgado Laime, M. D. C., Huaraca Aparco, R., Tapia Tadeo, F., Cahuana Lipa, R., Anchari Oblitas, Y. F., & Sota Cano, A. F. (2024). Evaluación nutricional de snacks extruidos a base de tres variedades de quinua andina peruana. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, *8*(23), 424-438. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i23.275>
- Dharini, M., Jaspin, S., & Mahendran, R. (2023). Cold plasma bubbling: Impact on safety, physicochemical properties, and nutritional quality of Sesame Milk. *Food and Bioproducts Processing*, *139*, 109–120. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2023.03.005>
- do Nascimento, L. Á., Abhilasha, A., Singh, J., Elias, M. C., & Colussi, R. (2022). Rice germination and its impact on technological and nutritional properties: A Review. *Rice Science*, *29*(3), 201–215. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2022.01.009>

- Escalera, D. M. G., & de la Mora, G. N. (2025). Futuro sostenible: Producción agrícola y reducción del desperdicio alimentario. *Journal of Behavior and Feeding*, 4(8), 70-77. <https://doi.org/10.32870/jbf.v4i8.61>
- Espinoza C., K., Roldan A., D., & Martínez O., N. (2021). Elaboración de snack extruido a partir de cereales y concentrado de proteína de Pota (*Dosidicus gigas*) y determinación de su vida útil. *Anales Científicos*, 82(1), 180–191. <https://doi.org/10.21704/ac.v82i1.1754>
- Fernández Del Pino, V. E. (2021). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de hojuelas a base de quinua, arroz y chía* [Tesis de grado, Universidad de Lima]. <https://hdl.handle.net/20.500.12724/14999>
- Franco Veliz, Y. N. (2025). *Evaluación del aceite de coco (Cocos nucifera) como sustituto de grasas tradicionales en la formulación de chips de malanga (Colocasia esculenta)* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/18312>
- García-Chávez, C. K., & Taco-Vega, J. M. (2025). Impacto de la desnutrición crónica infantil en el desarrollo cognitivo en niños y niñas. *Revista Científica Arbitrada de Investigación en Comunicación, Marketing y Empresa REICOMUNICAR*. ISSN 2737-6354., 8(15), 526-542. <https://doi.org/10.46296/rc.v8i15.0341>
- Gutierrez Galvez, L. A. (2024). *Contenido lipídico de semillas de Chenopodium quinoa Willd de diferentes altitudes de la región de Ayacucho 2022* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/6527>
- Guzman Esteban, A., & Puente Barrios, J. E. (2024). *Obtención de un extruido tipo snack enriquecido con hierro y determinación de vida en anaquel* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/11307>

- He, W., Wang, L., Lin, Q., & Yu, F. (2021). Rice seed storage proteins: Biosynthetic pathways and the effects of environmental factors. *Journal of Integrative Plant Biology*, 63(12), 1999–2019. <https://doi.org/10.1111/jipb.13176>
- Lan, Y., Zhang, W., Liu, F., Wang, L., Yang, X., Ma, S., Wang, Y., & Liu, X. (2023). Recent advances in physiochemical changes, nutritional value, bioactivities, and food applications of Germinated Quinoa: A Comprehensive Review. *Food Chemistry*, 426, 136390. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136390>
- Laura Tacora, L. K. (2025). *Representaciones sociales sobre el derecho a la seguridad alimentaria en familias de la Provincia de Puno 2024* [Tesis de grado, Universidad Privada San Carlos]. <https://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/1413>
- Leonel, A. Z. F. (2020). *Efecto del azospirillum brasilense, en la produccion del cultivo de ajonjoli (Sesamum Indicum)* [Tesis De Grado, Universidad Agraria Del Ecuador]. [https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/AZU%20ZAMBRANO%20FREDDY%20LEONEL\\_compressed\(1\)-comprimido.pdf](https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/AZU%20ZAMBRANO%20FREDDY%20LEONEL_compressed(1)-comprimido.pdf)
- Li, Y.-K., Jiao, W.-C., Han, B.-W., Jia, M., Wang, D.-M., Liu, H.-M., & Hou, L.-X. (2023). Detection of counterfeit sesame oil based on Raman spectroscopy and chemometric analysis. *LWT*, 185, 115131. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115131>
- Lozano-Isla, F., Apaza, J.-D., Mujica Sanchez, A., Blas Sevillano, R., Haussmann, B. I., & Schmid, K. (2023). Enhancing quinoa cultivation in the Andean highlands of Peru: A breeding strategy for improved yield and early maturity adaptation to climate change using traditional cultivars. *Euphytica*, 219(2). <https://doi.org/10.1007/s10681-023-03155-8>
- Lu, Y., Liu, Y., Dai, Y., Yan, Y., & Yu, K. (2022). Effects of extrusion and rolling processes on the microstructure and mechanical properties of Zn-Li-Ag Alloys. *Metals*, 12(3), 520. <https://doi.org/10.3390/met12030520>

- Lukurugu, G. A., Nzunda, J., Kidunda, B. R., Chilala, R., Ngamba, Z. S., Minja, A., & Kapinga, F. A. (2023). Sesame production constraints, variety traits preference in the southeastern Tanzania: Implication for Genetic Improvement. *Journal of Agriculture and Food Research*, *14*, 100665. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100665>
- Luo, S., Chan, E., Masatcioglu, M. T., Erkinbaev, C., Paliwal, J., & Koksel, F. (2020). Effects of extrusion conditions and nitrogen injection on physical, mechanical, and microstructural properties of red lentil puffed snacks. *Food and Bioproducts Processing*, *121*, 143–153. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.02.002>
- Mahdavi Rad, S., Yousefi Rad, M., & Sharif Moghadasi, M. (2022). Physiological and morphological characteristics of drought-stressed *chenopodium quinoa* wild, as affected by proline and ascorbic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *53*(11), 1402–1410. <https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2046036>
- Mandujano Allpoc, A. C., Pomachagua Solorzano, L. J., & Román Pastor, M. X. (2025). *El análisis a corto y largo plazo del efecto de las exportaciones agrícolas en el crecimiento económico de Perú* [Tesis de grado, Universidad Continental]. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/17251>
- Manzo Loor, J. P., & Triana Avilés, A. P. (2025). *Prácticas de alimentación complementaria y su relación con la prevalencia de desnutrición en lactantes mayores de 12 a 24 meses atendidos en el Centro de Salud Atarazana octubre 2024–mayo 2025* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/18657>
- Martinez Garcia, E., & Tucno Conde, M. (2024). *Evaluación de la textura, aceptabilidad y calidad nutritiva de una pasta libre de gluten a partir de harina de arroz integral (Oryza sativa), quinua (Chenopodium quinoa), y almidón de yuca (Manihot esculentum)* [Tesis de grado, Universidad Nacional

de San Cristóbal de Huamanga].  
<https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/20.500.14612/7268>

Martínez Rubio, L. M. (2022). *Efecto de la modificación fisicoquímica sobre las propiedades reológicas, estructurales y funcionales del almidón de arroz (oryza sativa l.) A través de acetilación con anhídrido acético para identificar posibles usos agroindustriales* [Tesis de grado, Universidad de los Llanos].  
<https://repositorio.unillanos.edu.co/handle/001/5130>

Medrano Zumba, A. B. (2024). *Influencia de los factores climáticos en la producción del cultivo de ajonjolí (Sesamum indicum)* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/16118>

Melo, D., Álvarez-Ortí, M., Nunes, M. A., Costa, A. S. G., Machado, S., Alves, R. C., Pardo, J. E., & Oliveira, M. B. P. P. (2021). *Whole or defatted sesame seeds (Sesamum indicum L.)? The effect of cold pressing on oil and cake quality*. *Foods*, 10(9), 2108. <https://doi.org/10.3390/foods10092108>

Meng, Z., Liu, D., Li, S., Xu, Z., Deng, Q., & Liu, Y. (2023). A fast multi-residue analysis of twenty-four classes of pesticide in Sesame (sesamum indicum L.) and their migration into processed products. *Food Research International*, 173, 113322. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113322>

Montalvo, T., & Estefanny, J. (2021). *Evaluación fisicoquímica y sensorial de snack de quinua (Chenopodium quínoa Willd) tostada saborizada* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Estatal del Carchi].  
<http://repositorio.upec.edu.ec/handle/123456789/1311>

Mora, F. E. R., Suarez, M. C., Ordóñez, M. D. P. S., & Núñez, M. F. Á. (2023). Estudio de la estabilidad del aceite de ajonjolí (Sesamum Indicum L.) empleando antioxidantes. *Revista de Investigación Talentos*, 10(2), 29-40.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9617661>

Morillo-Coronado, A. C., Manjarres-Hernández, E. H., Reyes-Ardila, W. L., & Morillo-Coronado, Y. (2022). Phenotypic intrapopulation variation in quinoa from the department of Boyacá, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad &*

<https://doi.org/10.31910/rudca.v25.n1.2022.1579>

- Musa Özcan, M., & Tanrıverdi, E. (2023). Investigation of the use of heat and enzymes instead of the use of NaCl, which creates an environmental problem in the peeling of sesame hulls, and determination of the final product quality. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2023.09.006>
- Myint, D., Gilani, S. A., Kawase, M., & Watanabe, K. N. (2020). Sustainable sesame (*sesamum indicum* L.) production through improved technology: An overview of production, challenges, and opportunities in Myanmar. *Sustainability*, 12(9), 3515. <https://doi.org/10.3390/su12093515>
- Nadeem, M., Imran, M., Khalique, A., Anjum, F. M., & Hussain, S. (2021). *Nutritional and functional potential of oilseed cakes for food applications*. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(7), e15631. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15631>
- Navarro Borda, K., & Gomez Escalante, R. (2025). *Formulación de una sopa instantánea con harinas de colza (*Brassica napus* L.), arveja (*Pisum sativum*) y quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y su evaluación en hierro, proteína, disolución y calidad sensorial* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstreams/cb83edda-bf0d-4233-8f9c-2d4ed6395312/download>
- Neder-Suárez, D., Rodríguez, J. V., Rodríguez-Roque, M. J., Hernández-Ochoa, L. R., Sánchez-Madrugal, M. A., Amaya-Guerra, C. A., & Quintero-Ramos, A. (2023). Características fisicoquímicas y sensoriales de productos extruidos y expandidos por microondas elaborados de maíz azul, espinacas y frijol negro. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8(1), 24-30. <https://doi.org/10.29105/idcyta.v8i1.8>

- Nevara, G. A., Giwa Ibrahim, S., Syed Muhammad, S. K., Zawawi, N., Mustapha, N. A., & Karim, R. (2022). Oilseed meals into foods: An approach for the valorization of oilseed by-products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(23), 6330–6343. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2031092>
- Ng, C. Y., & Wang, M. (2021). The functional ingredients of quinoa (*chenopodium quinoa*) and physiological effects of consuming quinoa: A Review. *Food Frontiers*, 2(3), 329–356. <https://doi.org/10.1002/fft2.109>
- Ortiz Suárez, A. T. (2023). *Diseño del proceso de elaboración de hojuelas extruidas de chocolate en la microempresa agus snack* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/21843/1/96T00979.pdf>
- Pedrali, D., Giupponi, L., De la Peña-Armada, R., Villanueva-Suárez, M. J., & Mateos-Aparicio, I. (2023). The quinoa variety influences the nutritional and antioxidant profile rather than the geographic factors. *Food Chemistry*, 402, 133531. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133531>
- Quispe Chuquiyaury, A. J. (2022). *Estudio estratégico del sector de mercado de snacks en Perú* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/22409>
- Ramos, J. R. G., Lopez, I. M. M., Huanca, I. L. M., Quipe, F. H., Mendoza, L. C. R., & Salazar, E. C. (2022). DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE DIEZ VARIEDADES DE QUINUA (*CHENOPODIUM QUÍNOA* WILLD.). *Ñawparisun-Revista de Investigación Científica de Ingenierías*, 4(1). <https://doi.org/10.47190/nric.v4i1.4>
- Ren, G., Teng, C., Fan, X., Guo, S., Zhao, G., Zhang, L., Liang, Z., & Qin, P. (2023). Nutrient composition, functional activity and industrial applications of quinoa (*chenopodium quinoa* willd.). *Food Chemistry*, 410, 135290. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135290>

- Rodríguez Meza, J. E. (2024). Evaluación del efecto de la proteína aislada de ajonjolí (*Sesamum Indicum L.*) en las propiedades bromatológicas, texturales y microestructurales de un queso fresco [Tesis de grado, Universidad del Sinú Seccional Cartagena]. <https://repositorio.unisinucartagena.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/1555>
- Rojas Reyes, D. W. (2024). *Identificación de variedades de arroz (Oryza sativa L.) fortificadas con características nutracéuticas y nutricionales* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/16180>
- Ruiz Pineda, A. M., & Cadavid Castro, M. A. (2025). Una mirada a los sistemas alimentarios de Colombia para pensar las políticas públicas alimentarias y nutricionales. *Revista Economía y Política*, (41), 137-155. <https://doi.org/10.25097/rep.n41.2025.09>
- Sá, A. G., Pacheco, M. T., Moreno, Y. M., & Carciofi, B. A. (2022). Cold-pressed sesame seed meal as a protein source: Effect of processing on the protein digestibility, amino acid profile, and functional properties. *Journal of Food Composition and Analysis*, 111, 104634. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104634>
- Salvador-Reyes, R., Furlan, L. C., Martínez-Villaluenga, C., Dala-Paula, B. M., & Clerici, M. T. (2023). From ancient crop to modern superfood: Exploring the history, diversity, characteristics, technological applications, and culinary uses of Peruvian fava beans. *Food Research International*, 173, 113394. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113394>
- Santos Cortés, A. M. (2025). *Análisis sobre el estado del arte y conocimiento de las tecnologías emergentes para el procesamiento de alimentos en Chile* [Tesis de grado, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/203746>

- Sanusi, M. S., Sunmonu, M. O., Alasi, S. O., Adebisi, A. A., & Tajudeen, A. A. (2023). Composition, bioactive constituents and glycemic index of brown rice-watermelon seeds extruded snacks as stimulated by extrusion conditions. *Applied Food Research*, 3(1), 100287. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100287>
- Siguencia Sojos, E. T., & Saritama Valle, R. A. (2022). *Evaluación del rendimiento del aceite esencial de ajonjolí (Sesamum indicum L.) a partir de dos pretratamientos para su aplicación en la industria* [Tesis de bachiller, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23422>
- Silva Jaimes, M. I. (2025). *Obtención de productos alimenticios en base a harina de granos andinos fermentados utilizando Monascus sp, productor de pigmentos y estatinas, con características hipocolesterolémicas, antimicrobianas, nutritivas y antioxidantes* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6945>
- Silvera Mendoza, P. A. (2024). *Evaluación de las características fisicoquímicas y perfil de ácidos grasos del aceite de semillas de ajonjolí (sesamum indicum l.) Variedades negro y común cultivadas en el departamento de bolívar* [Tesis de grado, Universidad del Sinú Seccional Cartagena]. <http://190.242.62.107:8080/jspui/handle/123456789/1556>
- Tigre Tigre, K. E., & Zambrano Solórzano, C. D. (2024). *Desarrollo de recetas nutritivas recomendadas para personas con problemas de anemia con base en cinco superalimentos: Quinoa (Chenopodium Quinoa Willdenow), Chía (Salvia Hispánica), Arándano (Vaccinium Corymbosum), Espirulina (Arthrospira Platensis), Ajonjolí (Sesamum Indicum L)* [Tesis de grado, Universidad de Cuenca]. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/45580>
- Torres Mendoza, A. A. (2025). *Elaboración de galletas a base de harina de trigo (Triticum aestivum) y quinua (Chenopodium quinoa) fortificadas con sangre*

- de pollo y su aceptabilidad en niños de 3 a 5 años en la IEI N° 234 del centro poblado de Pariamarca, Cajamarca, 2023* [Tesis de grado, Universidad Nacional Federico Villareal]. <https://hdl.handle.net/20.500.13084/10683>
- Urdanegui, P., Pérez-Ávila, Á., Estrada-Zúñiga, R., Neyra, E., Mujica, Á., & Corredor, F.-A. (2021). Yield and agromorphological evaluation of quinoa genotypes (*chenopodium quinoa willd.*) in Huancayo, Peru. *Agroindustrial Science*, 11(1), 63–71. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.01.08>
- Vega Pérez, F. I., Cedeño Cedeño, E. A., & Silva Ochoa, A. D. (2025). *Intervención psicoeducativa nutricional para fortalecer hábitos alimentarios saludables en población drogodependiente de Guayaquil* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/65985>
- Velasquez Meza, M. Y., & Florez Huilca, Y. (2024). *Evaluación del proceso de extrusión en la calidad nutricional y su aceptabilidad sensorial del producto snack a base de harinas de maíz (Zea mays), cañihua (Chenopodium canihua cook) y sangre bovina* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. <https://hdl.handle.net/20.500.12918/10435>
- Vergara, R. de, Martins, A. B., Soares, V. N., Carvalho, I. R., Barbosa, M. H., Conte, G. G., GAdotti, G. I., Ludke, R., & Villela, F. A. (2020). Agronomic and morphological characteristics of quinoa grown in the southern region of Rio Grande do sul state. *Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade*, 8(1), 18. <https://doi.org/10.15210/rbes.v8i1.18315>
- Villacis Venegas, A. Z. (2025). *Elaboración de snacks horneados a partir de harina de melloco blanco (Ullucus tuberosus Loz) y maíz (Zea mays) precocido, fortificados con cúrcuma (Curuma longa)* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/43886>
- Villacrés Pérez, M. D. (2022). *Efecto de la temperatura y el número de frituras sobre el perfil de ácidos grasos de diferentes aceites comestibles* [Tesis de grado,

Universidad Técnica de Ambato].  
<https://repositorio.uta.edu.ec/items/2c48fd48-22de-4c3a-b2ba-841bf9cf5775>

- Wang, Y., Zhang, X., Li, Y., Zhang, H., & Chen, L. (2023). *Byproducts of sesame oil extraction: Composition, function, and comprehensive utilization*. *Foods*, 12(12), 2383. <https://doi.org/10.3390/foods12122383>
- Weldemichael, M. Y., & Gebremedhn, H. M. (2023). QTL mapping in Sesame (*sesamum indicum* L.): A Review. *Journal of Biotechnology*, 376, 11–23. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2023.09.003>
- Xie, L.-H., Tang, S.-Q., Wang, X.-Q., Sheng, Z.-H., Hu, S.-K., Wei, X.-J., Jiao, G.-A., Shao, G.-N., Wang, L., & Hu, P.-S. (2023). Simultaneously determining amino acid contents using near-infrared reflectance spectroscopy improved by pre-processing method in Rice. *LWT*, 115317. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115317>
- Xinkang, L., Chunmin, G., Lin, W., Liting, J., Xiangjin, F., Qinlu, L., Zhengyu, H., & Chun, L. (2023). Rice storage proteins: Focus on composition, distribution, genetic improvement and effects on Rice Quality. *Rice Science*, 30(3), 207–221. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2023.03.005>

## VII. ANEXOS

### Anexo 1.

*Proceso de obtención de harina de quinua.*



*Recepción de la quinua.*



*Molienda de la quinua.*



*Tamizado de la quinua.*



*Pesado de la harina de quinua.*

## Anexo 2.

### Proceso de obtención de harina de arroz.



*Recepción del arroz.*



*Molienda del arroz.*



*Tamizado del arroz.*



*Pesado de la harina de arroz.*

### Anexo 3.

Proceso de desgrasado del ajonjolí.



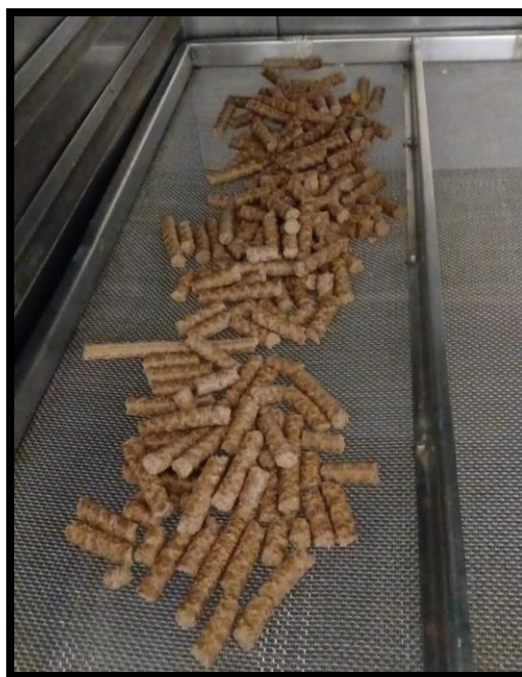
*Recepción del ajonjolí.*



*Prensado del ajonjolí.*



*Obtención de la torta desgrasada del ajonjolí.*



*Secado de la torta desgrasada del ajonjolí.*

#### Anexo 4.

*Proceso de obtención de harina de ajonjolí desgrasado.*



*Recepción de la torta desgrasada de ajonjolí.*



*Molienda de la torta desgrasada de ajonjolí.*



*Tamizado de la torta desgrasada de ajonjolí.*



*Pesado de la torta desgrasada de ajonjolí.*

## Anexo 5.

*Proceso de elaboración del snack extruido.*



*Recepción de las harinas de arroz, quinua y ajonjolí desgrasado.*



*Pesado de las harinas de arroz, quinua y ajonjolí desgrasado.*



*Mezclado de las harinas de arroz, quinua y ajonjolí desgrasado.*



*Proceso de extrusión del snack.*



*Colocación del snack extruido en las bandejas.*



*Adición del jarabe de miel para darle saborización al snack.*



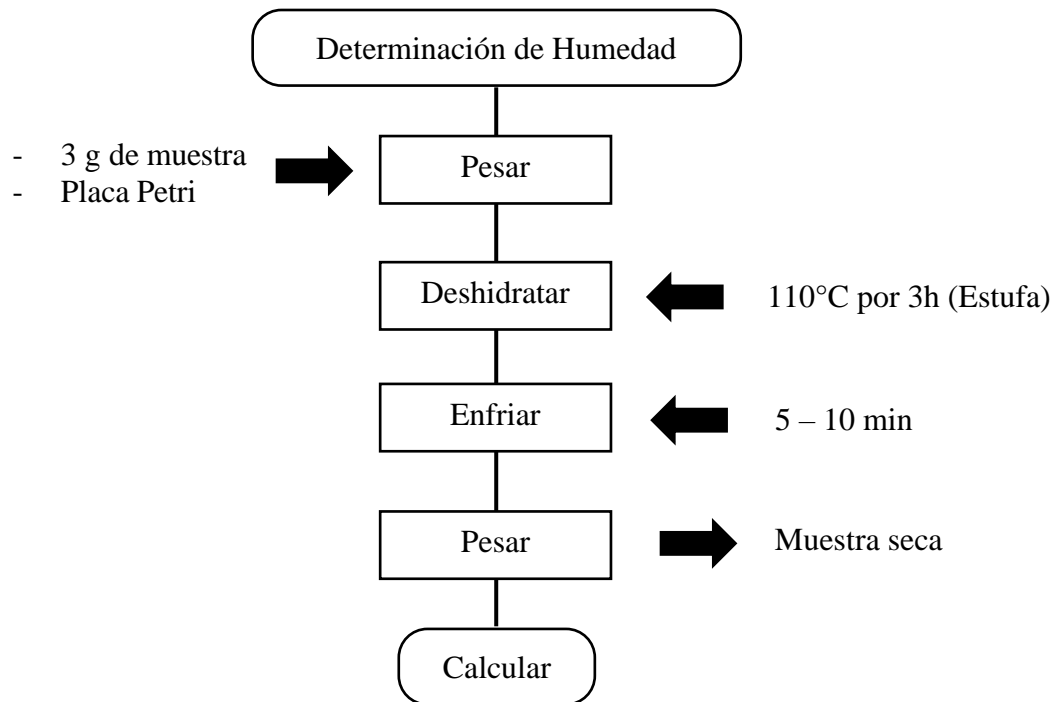
*Secado del snack extruido a una temperatura de 50°C en un lapso de 12 horas.*



*Embolsado y sellado del snack extruido.*

## Anexo 6.

*Procedimiento para la determinación de humedad.*



**Formula:**

$$\%Humedad = \frac{P_1 - P_2}{m} * 100$$

**Donde:**

- $P_1$  = Peso de la placa más muestra.
- $P_2$  = Peso de la placa más muestra seca.
- $m$  = Peso de la muestra.



*Pesado de placa Petri.*



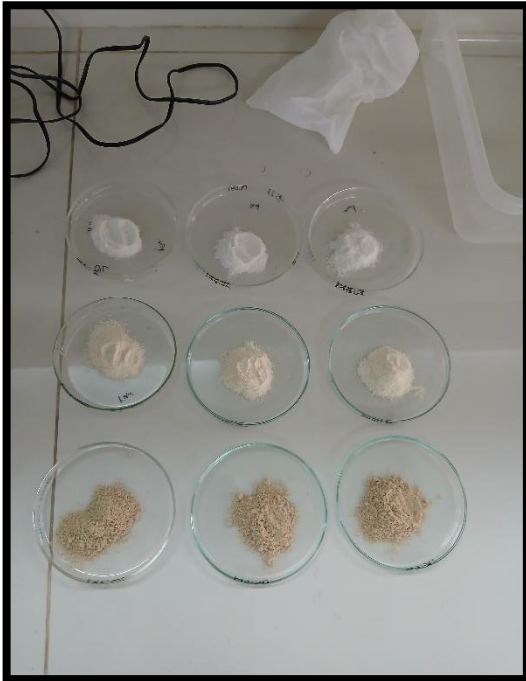
*Adición de las harinas en la placa Petri.*



*Deshidratación de muestras en estufa.*



*Enfriado de muestras en el desecador.*



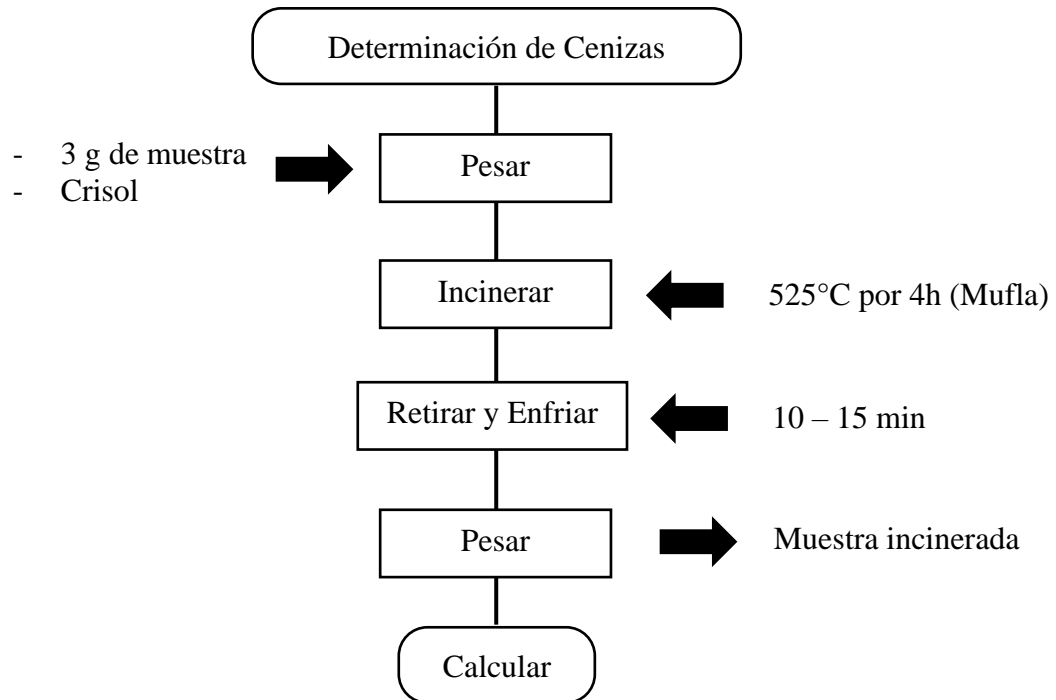
*Retirado de las muestras del desecador.*



*Pesado de las muestras obtenidas.*

**Anexo 7.**

*Procedimiento para la determinación de cenizas.*



**Formula:**

$$\%Ceniza = \frac{P_1 - P_0}{m} * 100$$

**Donde:**

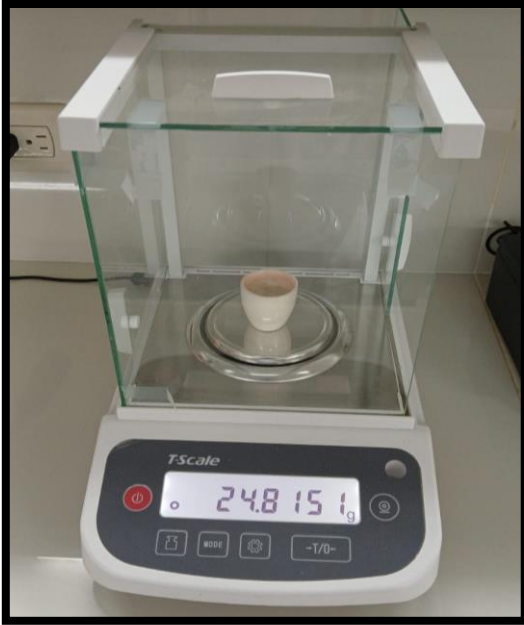
- $P_1$  = Peso del crisol más muestra
- $P_0$  = Peso del crisol
- $m$  = Peso de la muestra



*Recepción y pesado de crisol.*



*Incineración de muestras en horno de mufla.*



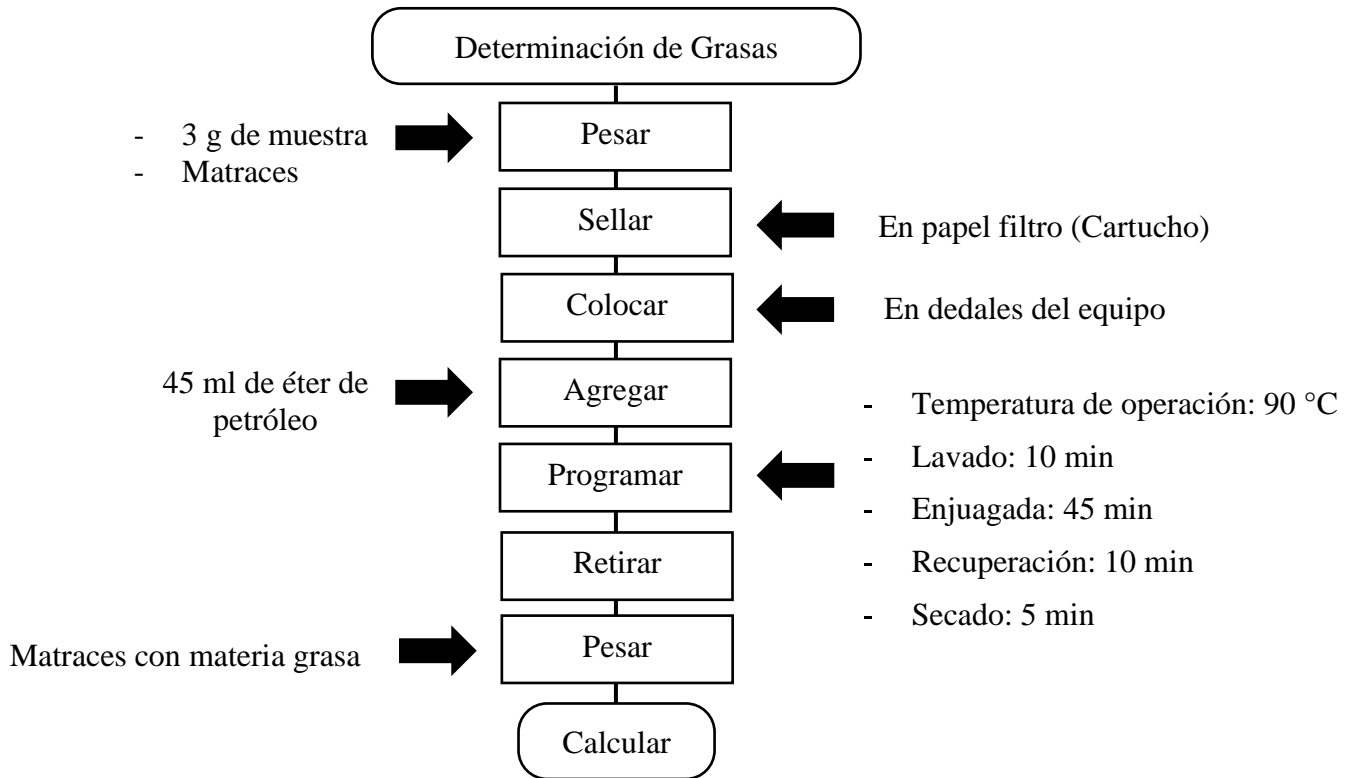
*Pesado de muestra para ceniza.*



*Determinación de ceniza de las materias primas.*

**Anexo 8.**

*Procedimiento para la determinación de grasa.*

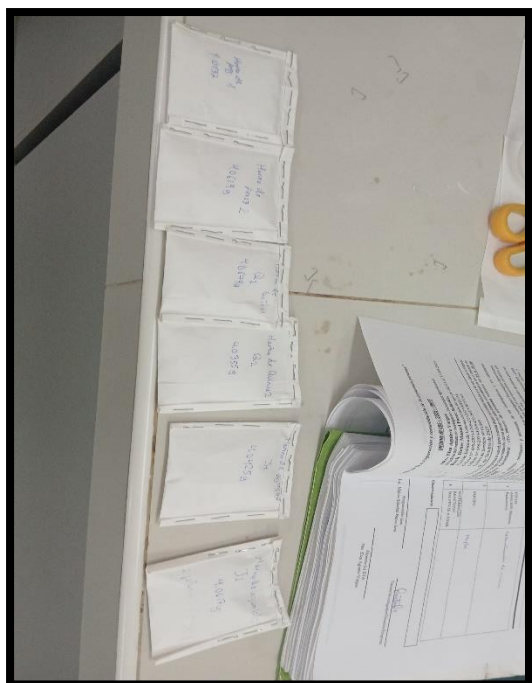


**Formula:**

$$\%Grasas = \frac{P_{vg} - P_v}{m} * 100$$

**Donde:**

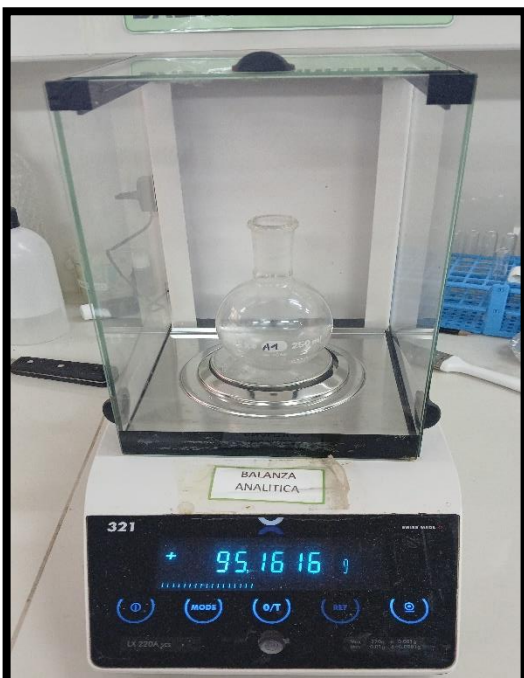
- $P_{vg}$  = Peso del matraz con grasa
- $P_v$  = Peso del matraz
- $m$  = Peso de la muestra



*Preparación de cartuchos de papel filtro.*



*Pesado y sellado de las muestras en el papel filtro.*



*Pesado de los matraces de laboratorio.*



*Colocación de los dedales del equipo.*



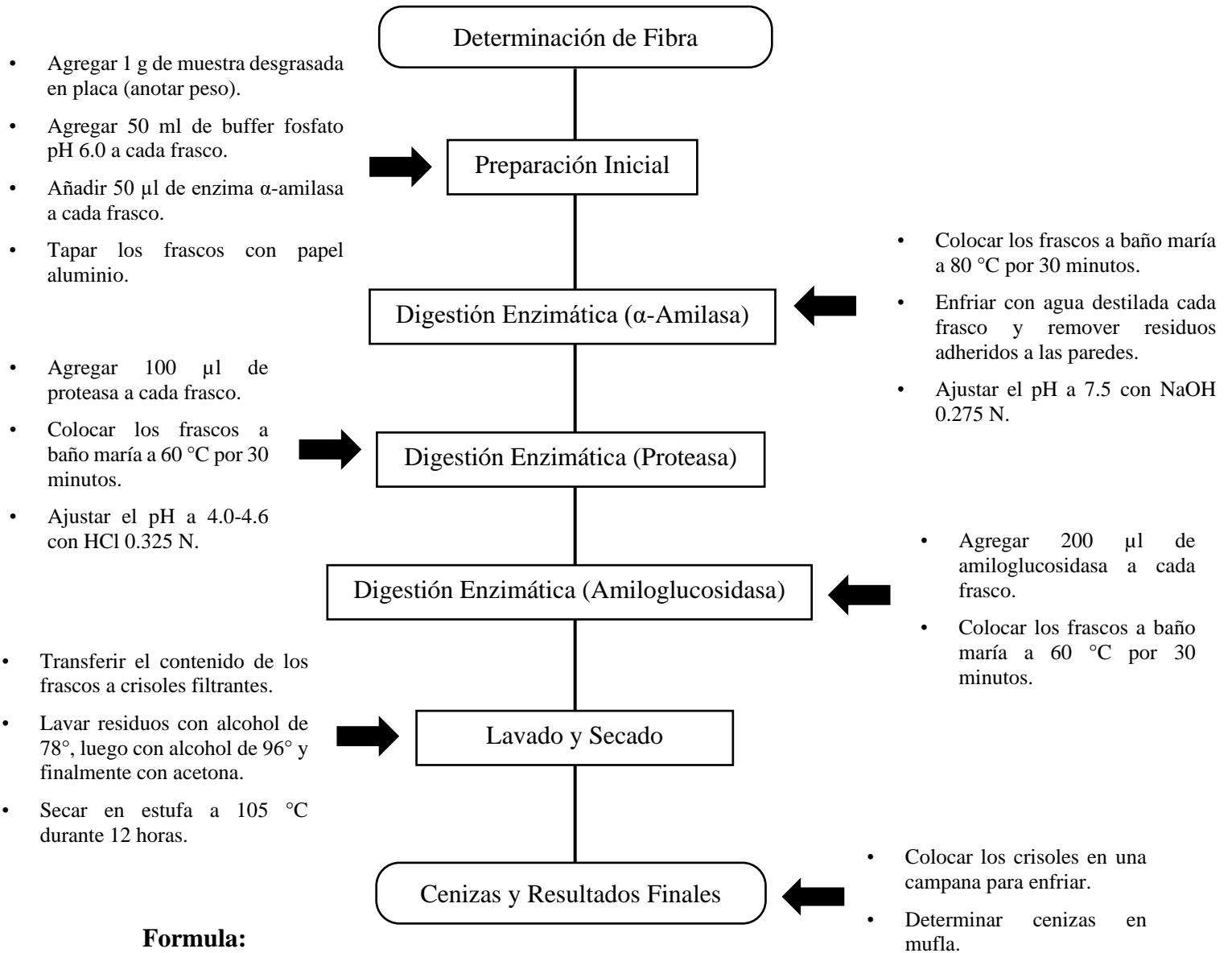
*Adición de 45 ml de éter de petróleo en los matraces.*



*Programación del equipo para su posterior retirada.*

## Anexo 9.

### Procedimiento para la determinación de fibra.

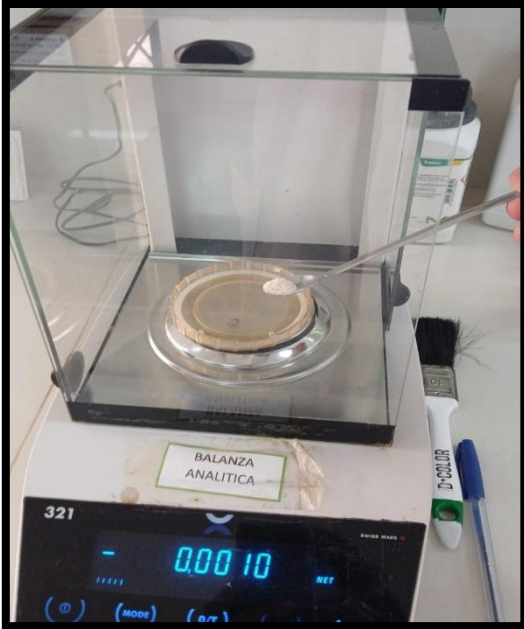


#### Formula:

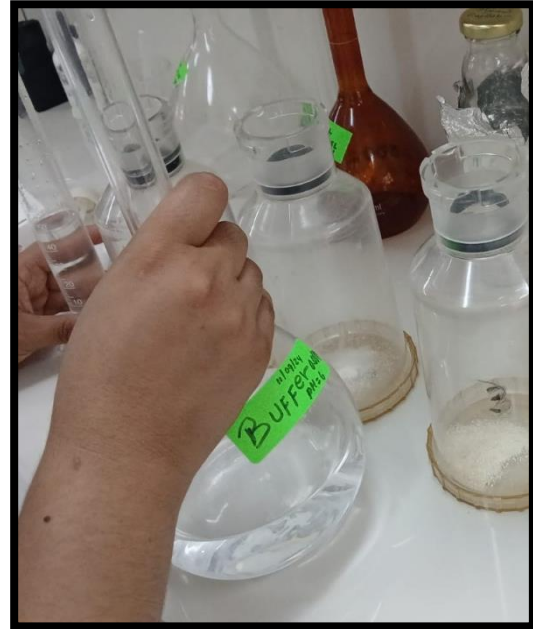
$$\%Fibra = \frac{(P_{vf} - P_v)}{m} * 100$$

#### Donde:

- $P_{vf}$  = Peso del vaso con fibra.
- $P_v$  = Peso del vaso vacío.
- $m$  = Peso de la muestra.



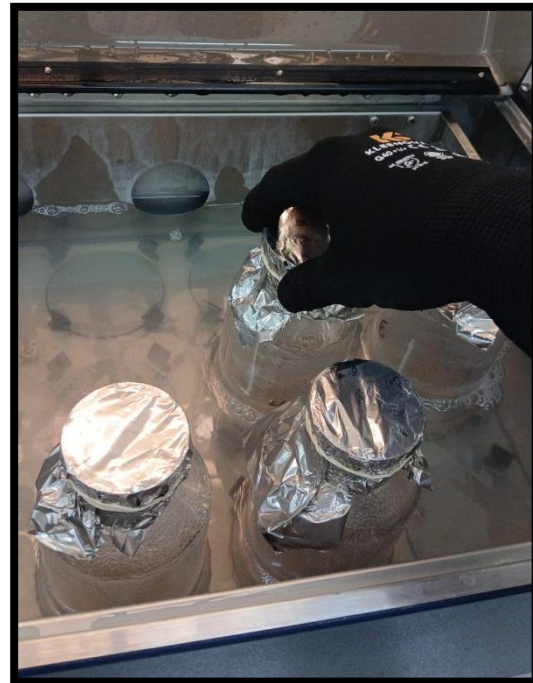
*Pesado de las muestras en una balanza.*



*Preparación de los reactivos para la determinación de la fibra dietaria.*



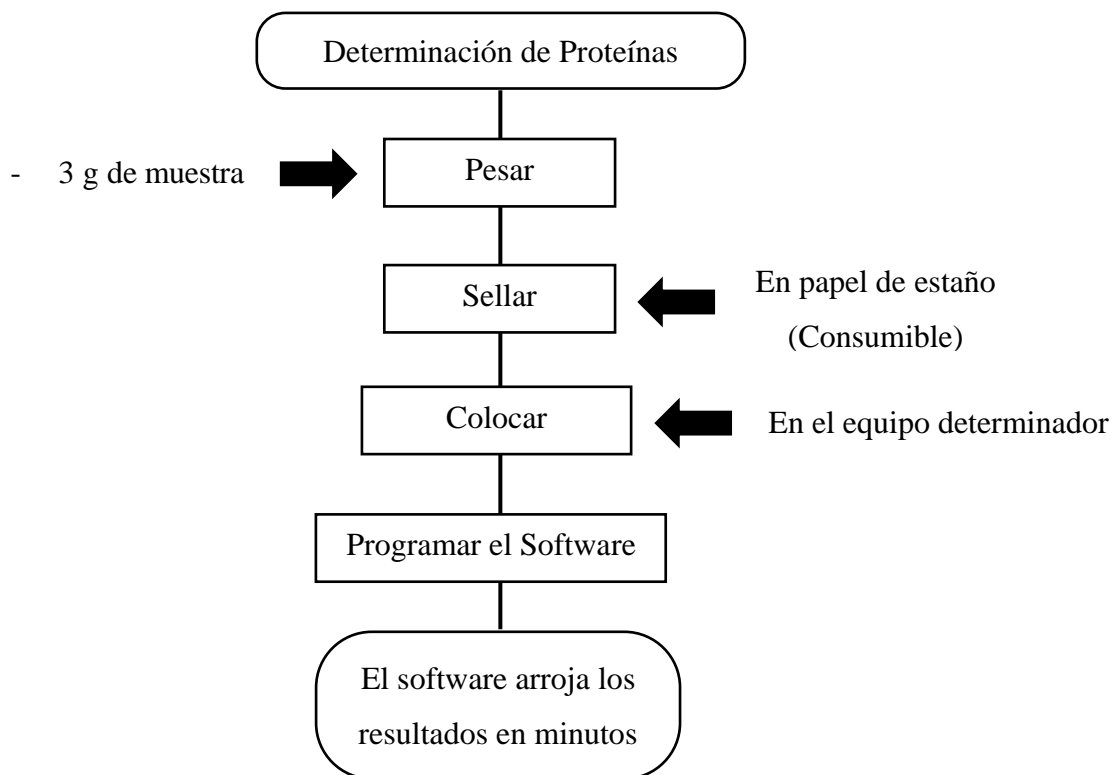
*Rotulados de los reactivos para la determinación de la fibra dietaria.*



*Colocación de frascos en baño maría.*

## Anexo 10.

*Procedimiento para la determinación de proteínas.*

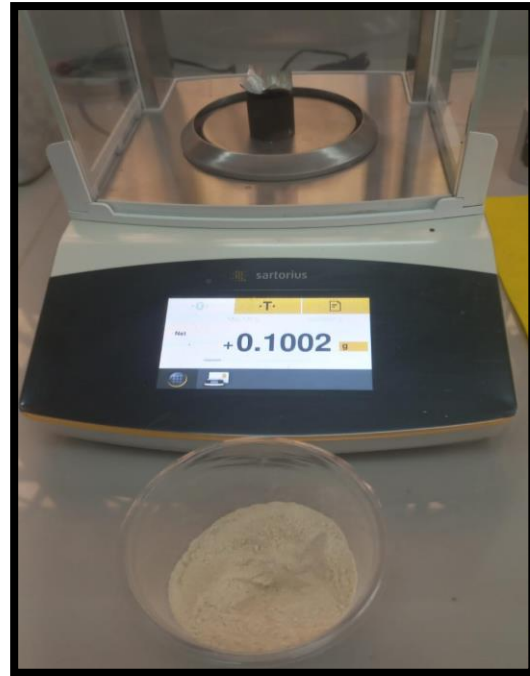


**Formula:**

$$\% \text{ Proteínas} = \%N * \text{Factor de Conversión}$$



*Muestras de los 12 tratamientos del snack extruido.*



*Pesado de muestras con papel de estaño en la balanza analítica.*



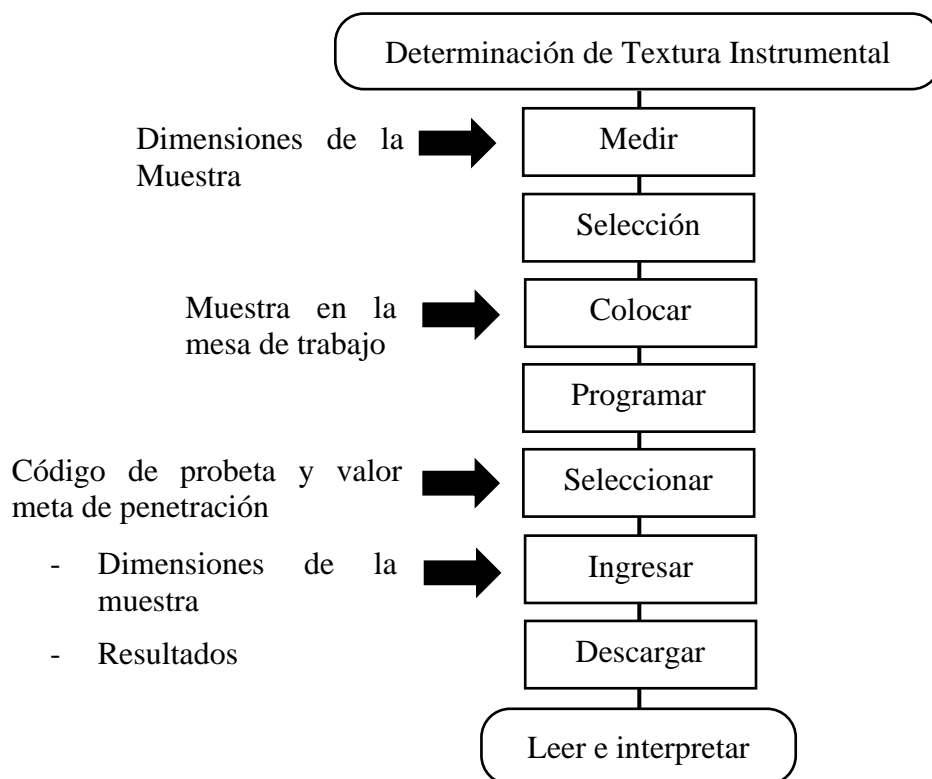
*Llenado de los 12 tratamientos pesados en el accesorio del equipo determinador.*



*Equipo determinador de proteínas por combustión – Dumas.*

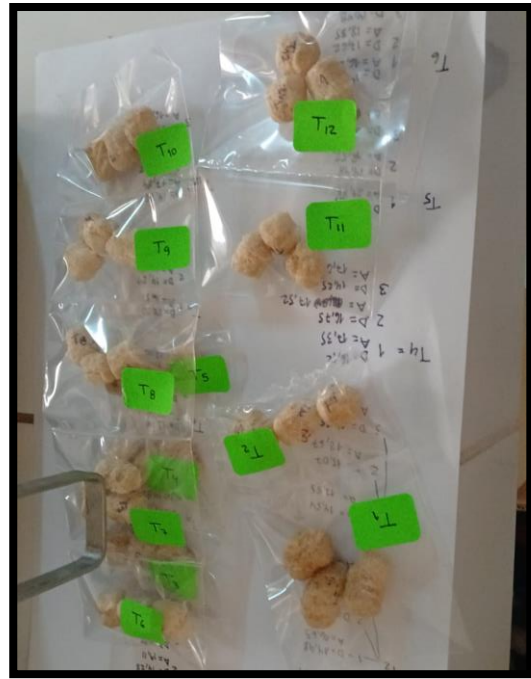
## Anexo 11.

### *Determinación instrumental de textura.*





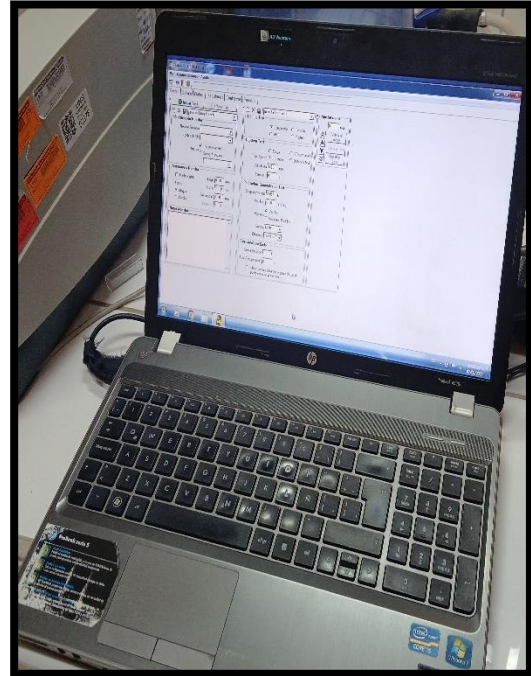
*Preparación de parámetros y especificación del Texturómetro.*



*Muestras de los 12 tratamientos.*



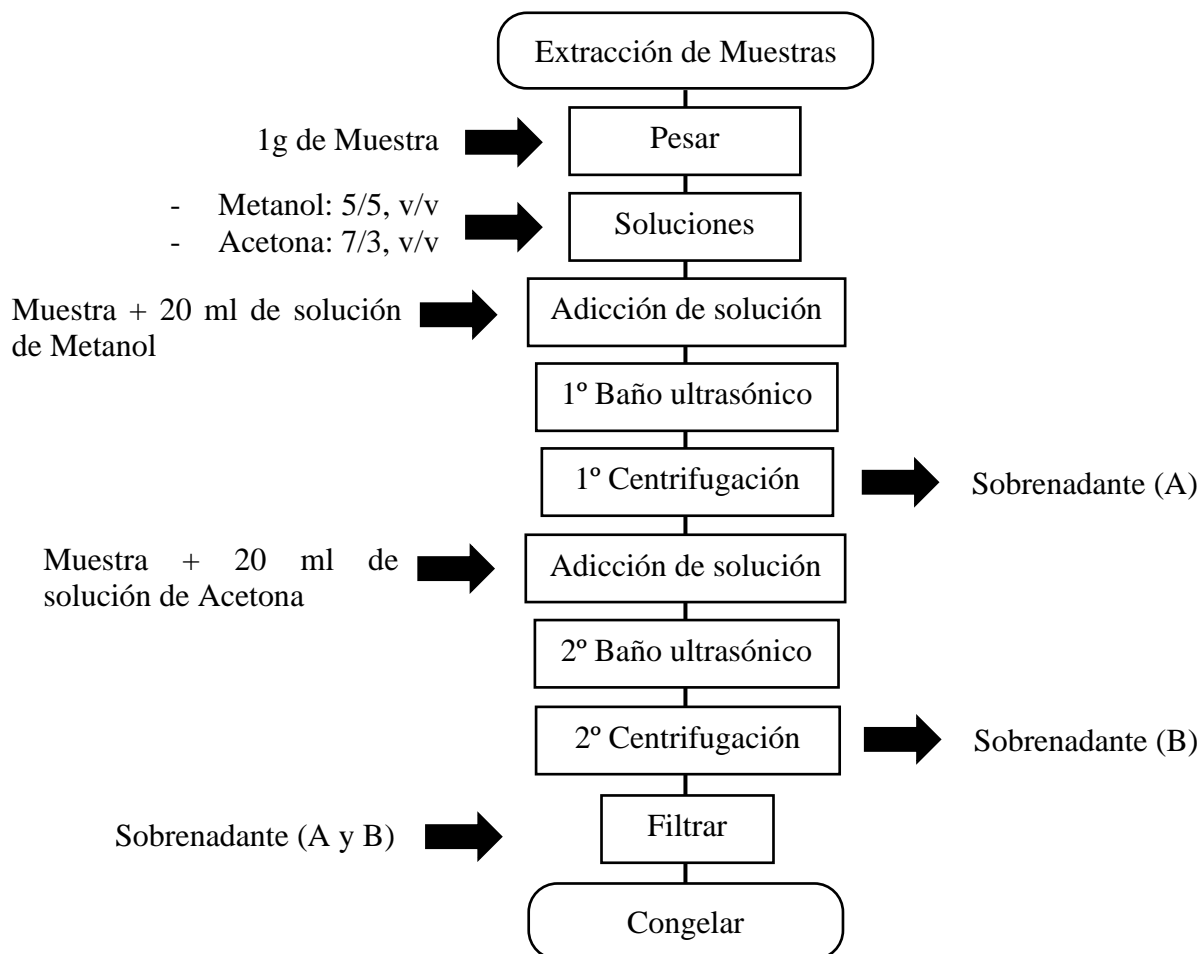
*Colocación de las muestras en el Texturómetro*



*Resultados de dureza instrumental.*

## Anexo 12.

*Procedimiento de obtención del extracto.*





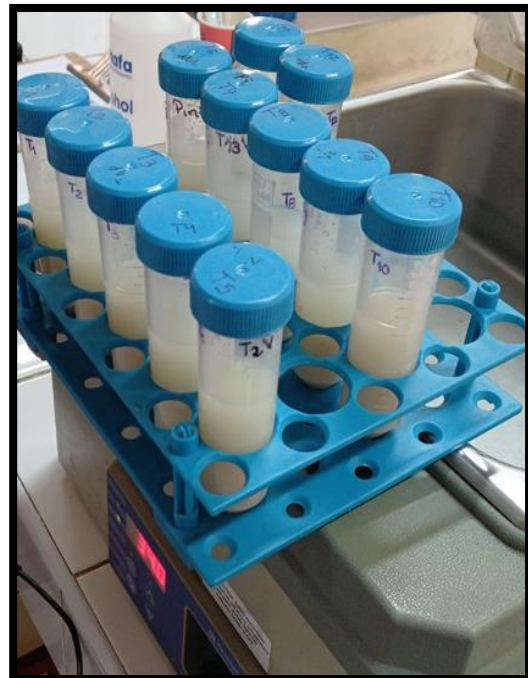
*Materiales, instrumentos y reactivos.*



*Adición de reactivo de metanol a las muestras del snack extruido.*



*Equipo de baño ultrasónico.*



*Primer Baño ultrasónico para la extracción de las muestras del snack extruido.*



*Primera centrifugación para la extracción de las muestras del snack extruido.*



*Segundo Baño ultrasónico para la extracción de las muestras del snack extruido.*



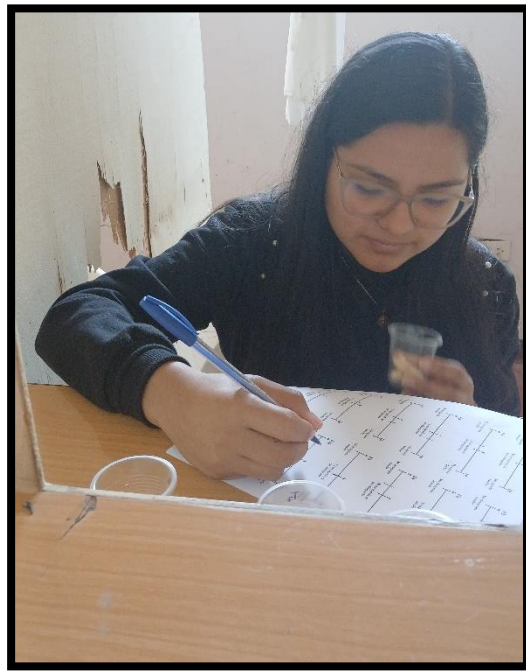
*Adición de reactivo de acetona a las muestras del snack extruido.*



*Segunda centrifugación para la extracción de las muestras del snack extruido.*

**Anexo 13.**

*Panel de evaluadores sensoriales.*



## Anexo 14.

Ficha técnica de la miel de abeja empleado en la elaboración del snack extruido.



# FICHA TÉCNICA

## MIEL DE ABEJA

**HUERTO MÁGICO**  
MIEL DE ABEJA 



|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| <b>Descripción</b>                    | Miel de abeja natural, pasteurizada, obtenida del néctar de flores, con un color ámbar claro, aroma característico y sabor dulce. |
| <b>Composición</b>                    | Miel de abeja 100 % natural. Sin aditivos ni conservantes.  |
| <b>Características fisicoquímicas</b> |   |
| °Brix (sólidos solubles)              | 70 °Bx  |
| pH                                    | 3,3   |
| Densidad (20 °C)                      | 1,42 g/mL   |
| Humedad                               | Máx. 20 %   |
| Acidez libre                          | Máx. 50 meq/kg  |
| Cenizas                               | Máx. 0,6 %  |
| Color                                 | Ámbar claro   |
| Apariencia                            | Líquido viscoso, transparente, libre de impurezas   |
| <b>Forma de consumo</b>               | Directo o como ingrediente en la preparación de alimentos y bebidas.  |
| <b>Presentación</b>                   | Botella PET de 175 g.   |
| <b>Vida útil</b>                      | 24 meses a partir de la fecha de envasado.  |
| <b>Condiciones de almacenamiento</b>  | Conservar en un lugar fresco, seco y protegido de la luz solar directa. Cerrar bien después de cada uso.                          |

Producto natural, puede presentar variaciones de color, aroma y sabor debido a su origen floral.

## Anexo 15.

Registro fotográfico de la miel de abeja y refractómetro portátil utilizados durante el desarrollo experimental.

