

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



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

---

**“Optimización de snack extruido a base de harinas de *Zea Mays L.*, *Oryza Sativa L.* y torta de *Salvia Hispanica L.*”**

---

**Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial**

**Autores:**

Bach. Zamudio Limas, Antony Jean

Bach. Zavaleta Cotrina, Ariana Juliet

**Asesor:**

Dr. Símpalo López, Wilson Daniel

**DNI:** 40186130

**Código ORCID:** 0000-0002-8397-7145

**Coasesor:**

Ing. Morales Valdiviezo, Miuller Darwin

**DNI:** 45907113

**Código ORCID:** 0009-0008-8484-4310

**Nuevo Chimbote – Perú**

**2025**

# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

## FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

### CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

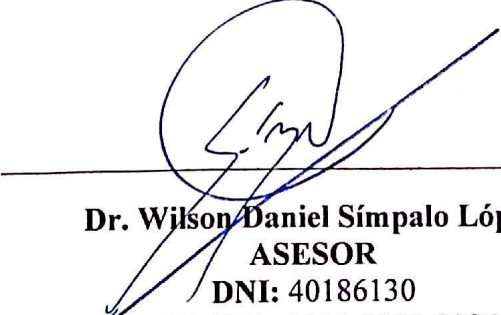
La presente tesis para la obtención del Título profesional ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando en cuadro dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa de acuerdo con la denominación siguiente:

### TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

**“OPTIMIZACIÓN DE SNACK EXTRUIDO A BASE DE HARINAS DE ZEA MAYS L.,  
ORYZA SATIVA L. Y TORTA DE SALVIA HISPANICA L.”**

#### **Autores:**

Bach. Zamudio Limas Antony Jean  
Bach. Zavaleta Cotrina Ariana Juliet



---

**Dr. Wilson Daniel Símpalo López**  
**ASESOR**  
DNI: 40186130  
Código ORCID: 0000-0002-8397-7145

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



**ACTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO**

El presenta trabajo de tesis titulado “OPTIMIZACIÓN DE SNACK EXTRUIDO A BASE DE HARINAS DE *ZEA MAYS L.*, *ORYZA SATIVA L.* Y TORTA DE *SALVIA HISPANICA L.*” para obtener el Título profesional de Ingeniero Agroindustrial, presentado por los bachilleres: Zamudio Limas Antonny Jean, con código de matrícula 0201912007 y Zavaleta Cotrina Ariana Juliet, con código de matrícula 0201912013, que tienen como Asesor al Dr. Wilson Daniel Símpalo López, designado por resolución N° 812-2023-UNS-FI. Ha sido revisado y aprobado por el siguiente jurado evaluador, designado mediante la resolución N° 379-2025-UNS-CFI.

\_\_\_\_\_  
**Dra. Elza Berta Aguirre Vargas**  
Presidente

\_\_\_\_\_  
**Ms. Saúl Marco Eusebio Lara**  
Secretario

\_\_\_\_\_  
**Dr. Wilson Daniel Símpalo López**  
Integrante

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Siendo las 11:00 horas del día uno de setiembre del año dos mil veinticinco, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 379-2025-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dra. Elza Berta Aguirre Vargas** (Presidente)
- **Ms. Saúl Marco Eusebio Lara** (Secretario)
- **Dr. Wilson Daniel Símpalo López** (Integrante)

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis titulado **OPTIMIZACIÓN DE SNACK EXTRUIDO A BASE DE HARINAS DE ZEA MAYS L., ORYZA SATIVA L. Y TORTA DE SALVIA HISPANICA L.**, elaborado por los Bachilleres en Ingeniería Agroindustrial:

- ZAMUDIO LIMAS ANTONNY JEAN
- ZAVALETA COTRINA ARIANA JULIET

Asimismo, tienen como Asesor al docente: **Dr. Wilson Daniel Símpalo López**

Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador. El Jurado después de deliberar sobre aspectos 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
ZAMUDIO LIMAS ANTONNY JEAN	18	BUENO

Siendo las 12:30 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 01 de setiembre del 2025

  
\_\_\_\_\_  
**Dra. Elza Berta Aguirre Vargas**  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
**Ms. Saúl Marco Eusebio Lara**  
Secretario

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Wilson Daniel Símpalo López**  
Integrante

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Siendo las 11:00 horas del día uno de setiembre del año dos mil veinticinco, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 379-2025-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dra. Elza Berta Aguirre Vargas** (Presidente)
- **Ms. Saúl Marco Eusebio Lara** (Secretario)
- **Dr. Wilson Daniel Símpalo López** (Integrante)

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis titulado **OPTIMIZACIÓN DE SNACK EXTRUIDO A BASE DE HARINAS DE ZEA MAYS L., ORYZA SATIVA L. Y TORTA DE SALVIA HISPANICA L.**, elaborado por los Bachilleres en Ingeniería Agroindustrial:

- ZAMUDIO LIMAS ANTONNY JEAN
- ZAVALETA COTRINA ARIANA JULIET


Asimismo, tienen como Asesor al docente: **Dr. Wilson Daniel Símpalo López**

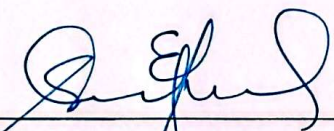
Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador. El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 103° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

NOMBRES Y APELLIDOS	NOTA VIGESIMAL	CONDICIÓN
ZAVALETA COTRINA ARIANA JULIET	18	BUENO

Siendo las 12:30 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 01 de setiembre del 2025

  
\_\_\_\_\_  
**Dra. Elza Berta Aguirre Vargas**  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
**Ms. Saúl Marco Eusebio Lara**  
Secretario

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Wilson Daniel Símpalo López**  
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: Ariana Juliet ZAVALA COTRINA  
Título del ejercicio: POSGRADO EJERCICIO 02  
Título de la entrega: TESIS\_FINAL\_-\_ZAMUDIO\_Y\_ZAVALA\_-\_CORREGIDO  
Nombre del archivo: TESIS\_FINAL\_-\_ZAMUDIO\_Y\_ZAVALA\_-\_CORREGIDO.pdf  
Tamaño del archivo: 4.16M  
Total páginas: 158  
Total de palabras: 37,861  
Total de caracteres: 202,926  
Fecha de entrega: 04-nov-2025 01:57p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 2803440634

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



---

*“Optimización de snack extruido a base de harinas de Zea Mays L.,  
Oryza Sativa L. y torta de Salvia Hispanica L.”*

---

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero  
Agroindustrial

**Autores:**  
Bach. Zamudio Limas, Antony Jean  
Bach. Zavaleta Cotrina, Ariana Juliet

**Asesor:**  
Dr. Simpalo López, Wilson Daniel  
**DNI:** 40186130  
**Código ORCID:** 0000-0002-8397-7145

**Coasesor:**  
Ing. Morales Valdiviezo, Miuller Darwin  
**DNI:** 45907113  
**Código ORCID:** 0009-0008-8484-4310

2025  
i

## INFORME DE ORIGINALIDAD

21%

INDICE DE SIMILITUD

21%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a> Fuente de Internet	10%
2	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad Nacional del Santa Trabajo del estudiante	1%
4	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
5	<a href="http://www.scielo.org.pe">www.scielo.org.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://repositorio.utn.edu.ec">repositorio.utn.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="http://qdoc.tips">qdoc.tips</a> Fuente de Internet	<1%
9	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	<1%
10	<a href="http://repositorio.unicauca.edu.co:8080">repositorio.unicauca.edu.co:8080</a> Fuente de Internet	<1%
11	<a href="http://saber.ucv.ve">saber.ucv.ve</a> Fuente de Internet	<1%
12	<a href="http://repositorio.uta.edu.ec">repositorio.uta.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%

## DEDICATORIA

A Dios, mi padre celestial, quien me guía durante cada paso que doy en mi vida, por siempre brindarme la fortaleza y felicidad para poder lograr mis metas, por la salud y bendiciones que me brinda día a día, porque él conoce mis sueños y solo con su apoyo las lograré.

A mis queridos padres Marlene y Valentín, por su gran amor, consejos y el gran sacrificio realizado a lo largo de estos años, por ser mi ejemplo y motivación para seguir cumpliendo mis metas, gracias por confiar en mí, los amo. A mis hermanos y sobrino: José, Fernando, Alex, Milagros Añi, y Dayiro, por sus ocurrencias y compañía durante cada etapa de mi vida.

A mis queridos abuelos Luis, Catalino, Rosa, que desde el cielo me cuidan y me inspiran cada día, por su cariño y confianza que siempre me brindaron. A mis tíos y primos por su apoyo constante, en especial a Pablo, Nichi, Maxi, Marga, Ricardo, Germán y Añi.

A mis amigos Cristofer Pajuelo, Renzo Sotomayor, Juan, Nicolás y Ariana, por el apoyo brindado y las inolvidables experiencias compartidas a lo largo de este camino.

**ANTONNY ZAMUDIO**



## DEDICATORIA

A Dios, el todo poderoso, por siempre cuidarme y guiarme durante toda mi vida, por su inmenso amor y nunca dejarme sola, por la felicidad de darme una linda familia y sé que con su ayuda podre cumplir todas mis metas.

A mis queridos padres Deyvi y Katy, gracias por el apoyo que siempre me han brindado, gracias a ustedes es que estoy cumpliendo mis metas, su gran amor me motiva a seguir adelante. A mis hermanos Alessia y Adrian, quienes me brindan su cariño y me alegran los días con cada ocurrencia.

A mi querida abuela Hilda, por siempre estar para mí, por su gran amor, su paciencia y por siempre cuidarme mucho, esto es para ella. A mis tíos y primos por su cariño.

A Luna una gran amiga que extraño mucho, que siempre fue mi alegría y aunque ya no este presente siempre la llevo en mi corazón. Al ing. Willy Sierra, por ser mi mentor en el mundo profesional y por confiar en mí.

**ARIANA ZAVALETA**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, nuestro Padre Celestial, por guiarnos y brindarnos la fortaleza para alcanzar la meta de culminar este trabajo. Gracias por sus inmensas bendiciones, su gran amor y siempre estar cuando lo necesitábamos.

A nuestros Padres, quienes fueron nuestro apoyo y motivación para poder cumplir nuestra meta, gracias por sus palabras de aliento y amor.

A nuestros amigos Alonso y Erick, por el apoyo brindado mientras desarrollamos nuestra tesis.

A nuestro asesor y mentor, el Dr. Wilson Símpalo López, expresamos nuestros agradecimientos por su dedicación, paciencia y consejos. Su amplio conocimiento y guía han sido fundamentales para el desarrollo y culminación de este trabajo.

A nuestro coasesor, el Ing. Darwin Morales Valdiviezo, gracias por su constante apoyo, consejos y palabras de aliento durante cada etapa de esta investigación.

A los ingenieros Lenin, John, Pedro, Williams, Janet, Manuel, Juanita y Melisa, gracias por su comprensión y apoyo mientras se realizaba el desarrollo de la tesis.

Finalmente, agradecemos a nuestros profesores de la escuela académica profesional de ingeniería agroindustrial por compartirnos sus consejos y conocimientos a lo largo de nuestros estudios universitarios.

**ARIANA Y ANTONNY**

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN .....</b>	<b>xxii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xxiii</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>24</b>
<b>II.MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>27</b>
<b>2.1. Arroz.....</b>	<b>27</b>
<b>2.1.1. Generalidades .....</b>	<b>27</b>
<b>2.1.2. Composición nutricional.....</b>	<b>28</b>
<b>2.1.3. Propiedades saludables .....</b>	<b>29</b>
<b>2.1.4. Potencial de aplicación en productos extruidos.....</b>	<b>30</b>
<b>2.2. Maíz morado .....</b>	<b>31</b>
<b>2.2.1. Generalidades .....</b>	<b>31</b>
<b>2.2.2. Composición nutricional.....</b>	<b>32</b>
<b>2.2.3. Propiedades saludables .....</b>	<b>34</b>
<b>2.2.4. Potencial de aplicación en productos extruidos.....</b>	<b>34</b>
<b>2.3. Chía .....</b>	<b>35</b>
<b>2.3.1. Generalidades .....</b>	<b>35</b>
<b>2.3.2. Composición nutricional.....</b>	<b>36</b>
<b>2.3.3. Propiedades saludables .....</b>	<b>38</b>
<b>2.3.4. Torta desgrasada de Chía .....</b>	<b>39</b>
<b>2.3.4.1. Propiedades saludables de la torta de chía.....</b>	<b>40</b>
<b>2.3.4.2. Potencial de aplicación en productos extruidos .....</b>	<b>40</b>
<b>2.4. Snack extruido.....</b>	<b>41</b>
<b>2.4.1. Definición .....</b>	<b>41</b>
<b>2.4.2. Clasificación .....</b>	<b>41</b>
<b>2.4.3. Propiedades de Calidad del Snack Extruido .....</b>	<b>42</b>

2.4.3.1. Calidad Sensorial.....	42
2.4.3.2. Calidad Tecnológica.....	43
2.5. Tecnología de extrusión para la obtención del snack.....	45
2.5.1. Definición de extrusión .....	45
2.5.2. Proceso de extrusión.....	46
2.5.3. Tipos de extrusores.....	48
2.5.3.1. Extrusor de tornillo simple .....	48
2.5.3.2. Extrusor de doble tornillo .....	49
2.5.4. Efectos de la extrusión en la composición química del alimento .....	50
2.5.4.1. Proteínas .....	50
2.5.4.2. Grasas .....	50
2.5.4.3. Fibras .....	50
2.5.4.4. Vitaminas.....	50
2.5.4.5. Carbohidratos .....	51
2.6. Capacidad Antioxidante y polifenoles en extruidos.....	51
2.6.1. Capacidad Antioxidante .....	51
2.6.2. Polifenoles .....	52
2.6.3. Efecto del proceso de extrusión en la estabilidad de antioxidantes y polifenoles.....	52
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>53</b>
3.1. Lugar de ejecución .....	53
3.2. Materiales y equipos .....	53
3.2.1. Materia prima.....	53
3.2.2. Insumos .....	53
3.2.3. Materiales de laboratorio y otros.....	53
3.2.4. Reactivos .....	54

3.2.5. Equipos.....	55
3.3. Métodos.....	56
3.3.1. Metodología del proceso de elaboración de extruidos .....	56
3.3.1.1. Obtención de la harina de arroz.....	56
3.3.1.2. Obtención de la harina de maíz morado .....	57
3.3.1.3. Obtención de la harina de torta desgrasada de Chía .....	59
3.3.1.4. Obtención de los extruidos.....	61
3.3.2. Métodos de análisis .....	64
3.3.2.1. Caracterización químico proximal de las materias primas y harinas obtenidas.....	64
3.3.2.2. Caracterización tecnológica de las formulaciones de snack extruido .....	69
3.3.2.3. Evaluación sensorial de las formulaciones .....	73
3.3.2.4. Caracterización del snack extruido de formulación óptima.....	73
3.3.2.4.1. Caracterización químico proximal.....	73
3.3.2.4.2. Caracterización tecnológica .....	74
3.3.2.4.3. Análisis sensorial .....	75
3.3.2.4.4. Valor energético.....	75
3.3.2.4.5. Análisis funcional .....	75
3.3.6. Esquema experimental de la investigación .....	78
3.4. Diseño Experimental.....	79
3.5. Análisis Estadístico .....	80
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>81</b>
4.1. Análisis químico proximal del grano de Arroz, Maíz Morado y semillas de Chía .....	81
4.1.1. Grano de Arroz.....	81
4.1.2. Grano de Maíz morado.....	82

4.1.3. Semillas de Chía .....	84
4.2. Obtención de las harinas de Arroz, harina de Maíz Morado y harina de torta desgrasada de Chía. ....	84
4.3. Análisis químico proximal de la harina de Arroz, harina de Maíz Morado y harina de torta desgrasada de Chía .....	86
4.3.1. Harina de Arroz.....	89
4.3.2. Harina de Maíz Morado .....	90
4.3.3. Harina de torta desgrasada de Chía.....	92
4.4. Snacks extruidos elaborados a partir de las 14 formulaciones considerados en el estudio .....	93
4.5. Evaluación tecnológica y sensorial de las 14 formulaciones .....	93
4.5.1. Evaluación de las propiedades tecnológicas.....	94
4.5.1.1. Índice de expansión (IE) .....	94
4.5.1.2. Volumen específico.....	98
4.5.1.3. Índice de solubilidad en agua (ISA) .....	102
4.5.1.4. Índice de absorción de agua (IAA).....	104
4.5.2. Evaluación sensorial.....	107
4.5.2.1. Color organoléptico .....	107
4.5.2.2. Sabor organoléptico.....	109
4.5.2.3. Olor organoléptico .....	112
4.5.2.4. Textura organoléptica .....	114
4.6. Optimización de la formulación del snack extruidos .....	118
4.7. Evaluación de las propiedades proximales, tecnológicas, sensoriales, capacidad antioxidante y contenido de polifenoles del snack extruido con formulación óptima.....	119
4.7.1. Análisis proximal del snack extruido con formulación óptima.....	119
4.7.2. Evaluación tecnológica del snack extruido con formulación óptima ...	120

4.7.3. Evaluación sensorial del snack extruido con formulación óptima .....	121
4.7.4. Determinación de la capacidad antioxidante y contenido de polifenoles del snack extruido de formulación óptima.....	122
V. CONCLUSIONES.....	123
VI. RECOMENDACIONES.....	124
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	125
VIII. ANEXOS .....	141

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutricional en base a 100 gr de arroz.....	29
Tabla 2. Composición nutricional en base a 100 gr de maíz morado.....	33
Tabla 3. Principales regiones productoras de Chía del Perú.....	36
Tabla 4. Composición nutricional en base a 100 gr de semillas de Chía. ....	37
Tabla 5. Equivalencia en nutrientes entre la semilla de Chía y otros alimentos.....	38
Tabla 6. Composición nutricional en base a 100 gr de torta desgrasada de chía. ..	39
Tabla 7. Rango de valores referenciales de parámetros tecnológicos óptimos en snacks extruidos a base de cereales.....	44
Tabla 8. Parámetros de extrusión del snack extruido a base de harina de arroz, maíz morado y torta desgrasada de chía. ....	63
Tabla 9. Variables independientes con valores máximos y mínimos.....	79
Tabla 10. Variables dependientes de evaluación de las formulaciones de los extruidos. ....	79
Tabla 11. Formulaciones del diseño experimental (Diseño D-óptimo) para la elaboración de extruidos. ....	80
Tabla 12. Composición proximal del grano de arroz por cada 100 gr. ....	81
Tabla 13. Composición proximal del grano de maíz morado por cada 100 gr.....	82
Tabla 14. Composición proximal de las semillas de chía por cada 100 gr. ....	84
Tabla 15. Composición proximal de la harina de arroz por cada 100 gr.....	89
Tabla 16. Composición proximal de la harina de maíz morado por cada 100 gr. ..	90
Tabla 17. Composición proximal de la harina de torta desgrasada de chía por cada 100 gr.....	92
Tabla 18. Valores del índice de expansión (IE) de los 14 tratamientos. ....	94
Tabla 19. Análisis de varianza de los modelos de regresión para el índice de expansión. ....	95
Tabla 20. Coeficientes del modelo matemático aplicado al índice de expansión. ...	95
Tabla 21. Valores del volumen específico de los 14 tratamientos. ....	99



<b>Tabla 22. Análisis de varianza de los modelos de regresión para el volumen específico.....</b>	<b>99</b>
<b>Tabla 23. Coeficientes del modelo matemático aplicado al volumen específico....</b>	<b>100</b>
<b>Tabla 24. Valores del índice de solubilidad en agua (ISA) de los 14 tratamientos.</b>	<b>103</b>
<b>Tabla 25. Análisis de varianza de los modelos de regresión para el índice de solubilidad en agua (ISA).....</b>	<b>104</b>
<b>Tabla 26 Valores del índice de absorción de agua (IAA) de los 14 tratamientos. .</b>	<b>105</b>
<b>Tabla 27. Análisis de varianza de los modelos de regresión para el índice de absorción de agua (IAA).....</b>	<b>106</b>
<b>Tabla 28. Valores del color organoléptico de los 14 tratamientos. ....</b>	<b>107</b>
<b>Tabla 29. Análisis de varianza de los modelos de regresión para el color organoléptico.....</b>	<b>108</b>
<b>Tabla 30. Valores del sabor organoléptico de los 14 tratamientos.....</b>	<b>109</b>
<b>Tabla 31. Análisis de varianza de los modelos de regresión para el sabor organoléptico.....</b>	<b>110</b>
<b>Tabla 32. Coeficientes del modelo matemático aplicado al sabor organoléptico...110</b>	
<b>Tabla 33. Valores del Olor organoléptico de los 14 tratamientos. ....</b>	<b>113</b>
<b>Tabla 34. Análisis de varianza de los modelos de regresión para el olor organoléptico. ....</b>	<b>114</b>
<b>Tabla 35. Valores de la textura organoléptico de los 14 tratamientos.....</b>	<b>115</b>
<b>Tabla 36. Análisis de varianza de los modelos de regresión para la textura organoléptica.....</b>	<b>115</b>
<b>Tabla 37. Coeficientes del modelo matemático aplicado a la textura organoléptica .....</b>	<b>116</b>
<b>Tabla 38. Composición proximal del snack extruido de formación óptima chía por cada 100 gr.....</b>	<b>119</b>
<b>Tabla 39. Características tecnológicas del snack extruido de formación óptima.</b>	<b>120</b>

<b>Tabla 40. Características organolépticas del snack extruido de formación óptima.</b> .....	<b>121</b>
<b>Tabla 41. Características organolépticas del snack extruido de formación óptima.</b> .....	<b>122</b>
<b>Tabla 42. Capacidad antioxidante y contenido de polifenoles del snack extruido de formulación óptima.....</b>	<b>122</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. Granos de arroz.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 2. El maíz morado. ....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 3. Semillas de Chía. ....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 4. Partes de un extrusor. ....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 5. Extrusor de tornillo simple.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 6. Esquema de extrusor de doble tornillo. ....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de arroz. ....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 8. Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de maíz morado.</b>	<b>57</b>
<b>Figura 9. Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de torta desgrasada de Chía.....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 10. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de extruidos. ....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 11. Harinas de torta de chía, arroz y maíz morado obtenidas para la elaboración de extruidos. ....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 12. Extrusor de doble tornillo (Marca: INBRAMAQ) produciendo snacks del presente estudio.....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 13. Snack extruido envasado en bolsas de polietileno de alta densidad con cierre hermético. ....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 14. Estufa (Marca: POL – EKO) utilizada en la determinación de humedad. ....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 15. Determinación de cenizas. ....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 16. Sistema extractor de grasa Soxtec utilizado para la determinación de grasa.....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 17. Equipo determinador de proteínas por combustión Dumas marca LECO. ....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 18. Equipo para determinación de fibra mediante método enzimático. ....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 19. Medición de diámetros de extruidos.....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 20. Medición de volumen específico de los extruidos.....</b>	<b>71</b>

<b>Figura 21. Determinación del Índice de absorción de agua (IAA).....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 22. Determinación del Índice de solubilidad en de agua (ISA).....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 23. Análisis sensorial ejecutado en la planta piloto agroindustrial – UNS..</b>	<b>73</b>
<b>Figura 24. Esquema experimental de la investigación. ....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 25. Harinas de arroz, maíz morado y torta desgrasada de chía obtenidas.</b>	<b>85</b>
<b>Figura 26. Balance de materia del proceso de obtención de harina de arroz.....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 27. Balance de Materia del proceso de obtención de harina de maíz morado.....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 28. Balance de materia del proceso de obtención de harina de torta desgrasada de chía.....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 29. Snacks extruidos de harina de arroz, maíz morado y torta de chía elaboradas a partir de las 14 formulaciones del presente estudio.....</b>	<b>93</b>
<b>Figura 30. Gráfico de contorno para la variable índice de expansión.....</b>	<b>96</b>
<b>Figura 31. Gráfico de superficie respuesta para la variable índice de expansión. .</b>	<b>97</b>
<b>Figura 32. Gráfica de contorno para la variable volumen de expansión. ....</b>	<b>100</b>
<b>Figura 33. Gráfica de superficie respuesta para la variable volumen de expansión. ....</b>	<b>101</b>
<b>Figura 34. Gráfica de contorno para la variable sabor organoléptico. ....</b>	<b>111</b>
<b>Figura 35. Gráfica de superficie respuesta para la variable sabor organoléptico.</b>	<b>111</b>
<b>Figura 36. Gráfica de contorno para la variable textura organoléptica. ....</b>	<b>116</b>
<b>Figura 37. Gráfica de contorno para la variable textura organoléptica. ....</b>	<b>117</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1. Proceso de la obtención de la harina de arroz. ....</b>	<b>141</b>
<b>Anexo 2. Proceso de la obtención de la harina de maíz morado. ....</b>	<b>141</b>
<b>Anexo 3. Proceso de la obtención de la harina de torta desgrasada de chía. ....</b>	<b>142</b>
<b>Anexo 4. Proceso de elaboración de snack extruido. ....</b>	<b>143</b>
<b>Anexo 5. Determinación de contenido de Humedad. ....</b>	<b>144</b>
<b>Anexo 6. Determinación de contenido de Cenizas. ....</b>	<b>145</b>
<b>Anexo 7. Determinación de contenido de Grasas. ....</b>	<b>146</b>
<b>Anexo 8. Determinación de contenido de proteínas. ....</b>	<b>147</b>
<b>Anexo 9. Determinación de contenido de fibra dietaria.....</b>	<b>148</b>
<b>Anexo 10. Determinación del índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción de agua (IAA) de extruidos. ....</b>	<b>149</b>
<b>Anexo 11. Extracción de la muestra para análisis de capacidad antioxidante y polifenoles. ....</b>	<b>151</b>
<b>Anexo 12. Determinación de polifenoles. ....</b>	<b>152</b>
<b>Anexo 13. Determinación de capacidad antioxidante ....</b>	<b>153</b>
<b>Anexo 14. Snack extruido de formulación óptima.....</b>	<b>154</b>
<b>Anexo 15. Ficha de evaluación sensorial. ....</b>	<b>155</b>
<b>Anexo 16. Cálculo del aporte energético del snack extruido de formulación óptima.....</b>	<b>163</b>

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo la finalidad de formular y elaborar óptimamente un snack extruido a base de maíz morado (*Zea mays* L.), arroz (*Oryza sativa* L.) y torta de chía (*Salvia Hispanica* L), que presente mejor aceptabilidad sensorial y características tecnológicas. Se utilizó un diseño de mezclas (D-optimal), generando 14 formulaciones con harinas de arroz (65-75%), maíz morado (15-25%) y torta de chía (5-15%). Los parámetros utilizados durante el proceso de extrusión en un extrusor de doble tornillo fueron de velocidad de alimentación (1kg/min), caudal de agua (15 ml/min), velocidad de tornillo de 1200 rpm, velocidad de cuchilla de 600 rpm y temperaturas ( $T_1$ : 32,  $T_2$ : 45,  $T_3$ :55,  $T_4$ :75,  $T_5$ :93,  $T_6$ :105,  $T_7$ :115). Se realizaron análisis tecnológicos (índice de expansión (IE), volumen específico, índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción de agua (IAA)) y sensoriales (color, olor, sabor y textura) a las 14 formulaciones obtenidas, demostrando que un alto contenido de harina de arroz, maíz morado y bajo contenido de harina de torta desgrasada de chía favorece la aceptabilidad sensorial y a las características tecnológicas. Se analizaron las variables respuestas en el programa el software Design expert v 7.0 y se determinaron cuáles presentaban una significancia estadística ( $p < 0.05$ ) y ( $R^2 > 0.70$ ). La formulación óptima del snack extruido, que permitió obtener mejores características tecnológicas y sensoriales, estuvo compuesta por 72.2% de harina de arroz, 22.8% de harina de maíz morado y 5% de harina de torta desgrasada de chía; presentó una humedad (6.71%), proteína (10.32%), grasa (0.66%), ceniza (0.84%), fibra dietaria (4.12%), carbohidratos (76.55%), energía (353.44 kcal), IE (3.38), Volumen específico (13.27 ml/g), ISA (19.05%), IAA (5.14 g gel/g muestra), capacidad antioxidante (251.14  $\mu\text{mol}$  trolox/g), contenido de polifenoles (76.36 mg EAG/100 g) y buena aceptabilidad sensorial. Este producto combina propiedades nutraceuticas y nutricionales con buena aceptabilidad sensorial.

**Palabras claves:** snacks, extrusión, propiedades tecnológicas, antioxidantes, polifenoles.

## ABSTRACT

The present research aimed to optimally formulate and produce an extruded snack based on purple corn (*Zea mays* L.), rice (*Oryza sativa* L.), and chia cake (*Salvia hispanica* L.) that exhibits improved sensory acceptability and technological characteristics. A mixture design (D-optimal) was used, generating 14 formulations with rice flour (65–75%), purple corn flour (15–25%), and chia cake flour (5–15%). The extrusion process parameters in a twin-screw extruder were a feed rate of 1 kg/min, water flow of 15 ml/min, screw speed of 1200 rpm, blade speed of 600 rpm, and temperature profile of T1: 32°C, T2: 45°C, T3: 55°C, T4: 75°C, T5: 93°C, T6: 105°C, and T7: 115°C. Technological analyses (expansion index (EI), specific volume, water solubility index (WSI), and water absorption index (WAI)) and sensory evaluations (color, odor, flavor, and texture) were performed on the 14 formulations obtained. The results demonstrated that a high content of rice flour and purple corn flour combined with a low content of defatted chia cake flour favored sensory acceptability and technological characteristics. Response variables were analyzed using Design Expert software v7.0, identifying those with statistical significance ( $p < 0.05$ ) and good model fit ( $R^2 > 0.70$ ). The optimal extruded snack formulation, which yielded the best technological and sensory characteristics, consisted of 72.2% rice flour, 22.8% purple corn flour, and 5% defatted chia cake flour. This formulation presented moisture (6.71%), protein (10.32%), fat (0.66%), ash (0.84%), dietary fiber (4.12%), carbohydrates (76.55%), energy (353.44 kcal), expansion index (3.38), specific volume (13.27 ml/g), water solubility index (19.05%), water absorption index (5.14 g gel/g sample), antioxidant capacity (251.14  $\mu\text{mol Trolox/g}$ ), total polyphenol content (76.36 mg GAE/100 g), and good sensory acceptability. This product combines nutraceutical and nutritional properties with favorable sensory acceptance.

**Keywords:** snacks, extrusion, technological properties, antioxidants, polyphenol

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la alimentación es un tema crucial, ya que la población mundial sufre de problemas de malnutrición en todas sus formas, como la desnutrición, carencia de minerales o vitaminas, el sobrepeso, obesidad, enfermedades no transmisibles como la diabetes y ciertos tipos de cáncer. Según datos de la Organización Mundial de la Salud (2024), en el año 2022 se reportaron datos preocupantes de malnutrición a nivel global. En niños menores a 5 años, se reportaron: retraso del crecimiento en 149 millones, pesos muy bajos para su estatura (Emaciación) en 45 millones y problemas de obesidad y sobrepeso en 37 millones. En cuanto a los adultos, se presentó problemas de obesidad y sobrepeso en 2500 millones y 390 millones de adultos presentaron peso insuficiente. Además, la desnutrición sigue siendo un factor importante en la mortalidad infantil, contribuyendo con la mitad de las muertes de niños menores a 5 años, sobre todo en países en vías de desarrollo.

En el Perú, la desnutrición aumento en niños menores de cinco años de un 11.5% a 12.1% entre el año 2023 al 2024 según la Encuesta Nacional de Demografía y Salud (Ángulo, 2025). Por otro lado, En el año 2023, el Perú presentó un 24.1% de personas mayores de 15 años con problemas de obesidad y un 37.2% con problemas de sobrepeso (Ministerio de Salud del Perú, 2024). Asimismo, Valdez (2019) menciona que, en el Perú, el 8.2% de niños menores de 5 años presentan exceso de peso y que el consumo de alimentos procesados como los snacks es frecuente en personas de bajo ingreso socioeconómico, menor edad y menor nivel de educación.

Este problema también afecta económicamente al país, ya que según el Ministerio de salud del Perú (2022), la malnutrición representó en el 2019 un costo elevado al sistema de salud del Perú, con un costo de \$6,499 millones relacionados a la desnutrición y un costo de \$2,605 millones, relacionados a problemas de sobrepeso y obesidad, estas enfermedades significan altos costos asociados al bajo rendimiento escolar, la baja productividad y las atenciones del sistema de salud.

Gran parte de los problemas de malnutrición están asociados al consumo de alimentos procesados como los snacks, los cuales suelen ser populares entre niños, adolescentes y adultos. Estos productos son considerados no saludables y se caracterizan por tener altas cantidades de azúcar, grasa y sal, así como saborizantes artificiales y colorantes, y que aportan alta densidad energética pero escasos nutrientes; y su consumo está asociado con



enfermedades como la diabetes tipo 2, obesidad, cáncer y enfermedades cardiovasculares (Rauber *et al.*, 2022). Los tipos de cáncer que se asocian positivamente con la ingesta de alimentos procesados y ultraprocesados como los snacks son: cáncer colorectal y cáncer gástrico (Díaz & Glaves, 2020). La relación se explica por la baja ingesta de fibra, frutas y verduras, y por la presencia de aditivos con potencial carcinogénico en estos alimentos (Romaguera *et al.*, 2021).

Debido a ello, los consumidores actuales, sobre todo adultos y jóvenes, muestran una creciente preferencia por snacks elaborados a base de materias primas saludables que puedan brindar una buena composición nutricional, especialmente los snacks elaborados con granos andinos, frutas o vegetales. El principal motivo del incremento de la demanda de este tipo de snacks es debido a las crecientes preferencias de los consumidores por un estilo de vida saludable. Asimismo, estos consumidores están dispuestos a pagar un precio ligeramente superior por snacks saludables (Quispe, 2020).

Los snacks extruidos son alimentos ampliamente consumidos por su bajo costo y facilidad de almacenamiento. La extrusión es una tecnología clave en la elaboración de dichos snacks, ya que permite inactivar compuestos antinutricionales (como fitatos), mejora la digestibilidad del almidón y las proteínas, conserva propiedades sensoriales y permite desarrollar opciones saludables con diversos ingredientes (Vega *et al.*, 2023). Debido a todo ello, en la presente investigación se planteó la elaboración de un snack extruido, utilizando materias primas nutritivas como la harina de arroz, maíz morado y torta desgrasa de chía.

La harina de arroz aporta un alto contenido de almidón (75%-90%) que favorece la expansión y textura crujiente del extruido, además presenta un bajo contenido en grasa y un perfil hipoalergénico (Dalbhagat & Mishra, 2019). En cuanto al maíz morado se resalta su alto contenido en antocianinas, que le confieren su color característico y propiedades protectoras frente al estrés oxidativo. Además, presenta un alto contenido de proteína (8 – 10%) y fibra dietaria (8-14%) (Tinoco, 2024). Por otro lado, la harina de torta de chía desgrasada presenta un bajo contenido de carbohidratos (21.10%), pero es muy valorado por su alto contenido en fibra dietaria (38.71%) y proteína (22.39%) (Bravo y Ortega, 2017), lo cual lo convierte en un ingrediente muy nutritivo y beneficioso para la salud intestinal.

Para esta investigación se planteó como problema de estudio: ¿Cuál será la formulación óptima de snack extruido a base de harinas maíz morado, arroz y torta de chía que permita obtener la mejor aceptabilidad sensorial y características tecnológicas? Y se plantea la siguiente hipótesis de investigación: La formulación óptima de un snack extruido a base de harina de arroz (65-75%), harina de maíz morado (15-25%) y harina de torta de chía (5-15%) brindará la mejor aceptabilidad sensorial y características tecnológicas.

Por lo tanto, el presente trabajo tuvo como objetivo principal Determinar la formulación óptima de snack extruido a base de harinas de Arroz, Maíz morado y torta desgrasada de Chía.

Los objetivos específicos fueron:

- Caracterizar la materia prima mediante un análisis químico proximal.
- Elaborar las harinas de cada materia prima.
- Caracterizar las harinas elaboradas mediante un análisis químico proximal.
- Elaborar snacks extruidos a base de harinas de Arroz, Maíz morado y torta de Chía.
- Determinar cuál es la formulación óptima de snack extruido a base de harinas de Arroz, Maíz morado y torta de Chía, mediante un análisis sensorial y análisis de características tecnológicas.
- Realizar un análisis químico proximal, análisis de características tecnológicas, análisis sensorial, determinación de la capacidad antioxidante y polifenoles al snack extruido de formulación óptima.

## II.MARCO TEÓRICO

### 2.1. Arroz

#### 2.1.1. Generalidades

El arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los cereales más consumidos a nivel mundial, constituyendo la base alimentaria de más de la mitad de la población global. Su cultivo se ha adaptado a diversas condiciones agroecológicas, lo que ha permitido su expansión en diferentes regiones del mundo. En Perú, el arroz es un componente esencial de la dieta diaria, especialmente en la costa norte, donde se concentra la mayor producción nacional (León, 2022).

El arroz integral es un grano entero que conserva sus tres componentes: salvado, germen y endospermo. Durante el proceso de molienda, se elimina el salvado y el germen, resultando en arroz blanco, que es menos nutritivo. El arroz integral contiene aproximadamente un 6–7% de salvado, un 2–3% de germen y un 90% de endospermo, este perfil de composición contribuye a su mayor contenido de fibra, vitaminas y minerales en comparación con el arroz blanco (FAO, 2023).

Según un estudio de Saleh *et al.* (2019), el arroz integral contiene mayores cantidades de Fibra Dietaria, vitaminas del complejo B, minerales como magnesio y fósforo, y compuestos bioactivos, en comparación con el arroz blanco. Este mayor contenido nutricional se debe a la conservación del salvado y el germen en el arroz integral, que se pierden durante el proceso de pulido del arroz blanco. Además, el arroz integral tiene un índice glucémico más bajo, lo que contribuye a una liberación más lenta de energía y puede ser beneficioso para el control de la glucosa en sangre.

Por otro lado, el autor Gondal *et al.* (2021) menciona que el arroz integral presenta una mayor concentración de Fibra Dietaria y nutrientes esenciales en comparación con el arroz blanco. Sin embargo, también los autores señalan que el arroz integral contiene niveles más altos de fitatos, lo que puede reducir la biodisponibilidad de ciertos minerales como hierro y zinc. A pesar de esta limitación se concluye que los beneficios nutricionales del arroz integral superan sus posibles efectos anti nutricionales. En la figura 1, se muestran los granos de arroz blanco.

## Figura 1.

*Granos de arroz.*



**Nota.** De “Granos de arroz” Freepik (2023), <https://www.freepik.es/fotos-vectores-gratis/granos-arroz>

### 2.1.2. Composición nutricional

La composición nutricional del arroz varía según el tipo de grano, el procesamiento y las prácticas agrícolas, lo que influye directamente en su valor para la salud humana. Desde una perspectiva nutricional, el arroz es una fuente importante de carbohidratos complejos, proporcionando energía esencial, asimismo contribuye vitaminas del grupo B, hierro, zinc y Fibra Dietaria (Menon *et al.*, 2022).

El arroz integral, al conservar el salvado y el germen, ofrece mayores cantidades de fibra, minerales y compuestos bioactivos. Estudios han demostrado que el consumo de arroz integral está asociado con una mejor salud digestiva y un menor riesgo de enfermedades crónicas (Duan *et al.*, 2024). Desde el punto de vista nutricional, el arroz integral destaca por su elevado contenido de vitaminas del complejo B, entre las que se incluyen la tiamina (B1), riboflavina (B2), niacina (B3) y ácido fólico (B9). En cuanto a su composición química, el almidón constituye la principal biomolécula presente en el grano, representando entre el 72 % y el 82 % del peso seco en el arroz integral, y aproximadamente el 90 % en el arroz molido. Esta elevada concentración de almidón influye directamente en las características texturales y propiedades culinarias del arroz. (Muchlisiyah *et al.*, 2018).

Asimismo, el arroz se caracteriza por un contenido promedio del 87 % de carbohidratos totales, siendo este el componente predominante entre los cereales. Contiene también aproximadamente un 8 % de proteínas y un 1,4 % de fibra dietaria. En comparación con

otros almidones de origen cereal (como los del trigo, la cebada o el centeno), el almidón de arroz presenta ventajas tecnológicas relevantes, tales como su sabor suave, su grano fino y su color blanco, lo que lo hace especialmente atractivo para diversas aplicaciones alimentarias (Senguttuvel *et al.*, 2023). A continuación, en la tabla 1 se presenta la composición nutricional en 100 gr de arroz.

**Tabla 1.**

*Composición nutricional en base a 100 gr de arroz.*

<b>Nutrientes en base a 100 gr de arroz</b>	
Humedad (%)	15.5
Proteínas (g)	8.23
Grasas (g)	0.44
Carbohidratos (g)	81.26
Fibra (g)	0.3
Cenizas (g)	0.6
Fósforo (mg)	77.36
Calcio (mg)	3.97
Magnesio (mg)	11.97
Potasio (mg)	72.61
Tiamina (mg)	4.15
Riboflavina (mg)	3.41
Niacina (mg)	2.60

**Fuente:** Mora y Pérez (2019).

### **2.1.3. Propiedades saludables**

El arroz es un alimento naturalmente libre de gluten, lo que lo convierte en una opción segura para personas con enfermedad celíaca o sensibilidad al gluten no celíaca. No contiene proteínas como las gliadinas y gluteninas presentes en el trigo, que son responsables de desencadenar la enfermedad celíaca. Sin embargo, es fundamental evitar la contaminación cruzada durante su procesamiento y preparación para garantizar su seguridad (Celiac Disease Foundation, 2023).

El arroz posee diversas propiedades saludables que lo convierten en un alimento funcional. Su contenido en almidón resistente contribuye a la salud intestinal al actuar como prebiótico, favoreciendo el crecimiento de bacterias beneficiosas en el colon, el contenido de almidón resistente encontrados en algunos tipos de arroz también actúa como Fibra Dietaria y puede mejorar la salud metabólica al reducir la respuesta glucémica postprandial. Además, estudios recientes han demostrado que ciertos compuestos bioactivos presentes en el arroz, como los polifenoles y los flavonoides, tienen efectos antioxidantes y antiinflamatorios, lo que puede ayudar en la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles (Kim *et al.*, 2023).

Cabe destacar que el consumo de arroz integral se asocia con un menor riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo 2, debido a su mayor contenido de Fibra Dietaria lo cual favorece la salud digestiva al promover el tránsito intestinal y prevenir el estreñimiento, la fibra aumenta la sensación de saciedad, lo que puede ayudar en el control del peso corporal al reducir la ingesta calórica total, también el arroz presenta compuestos bioactivos. Por tanto, la inclusión de arroz, especialmente en su forma integral, en la dieta diaria puede contribuir significativamente a la promoción de la salud y la prevención de enfermedades (Duan *et al.*, 2024).

#### **2.1.4. Potencial de aplicación en productos extruidos**

El arroz presenta un gran potencial para la elaboración de productos extruidos debido a su composición rica en almidón, su bajo contenido en grasa y su perfil hipoalérgico (Dalbhagat & Mishra, 2019). El arroz presenta entre el 75% y el 90% de almidón en peso seco, esto favorece la extrusión ya que el almidón es el principal responsable de las transformaciones fisicoquímicas que ocurren durante la extrusión, como la gelatinización, expansión y formación de estructuras porosas. Estas características son las que brindan productos con buena textura, crocancia y aceptabilidad sensorial (Gao *et al.*, 2022).

La extrusión térmica mejora la digestibilidad del almidón y las proteínas del arroz, lo que hace que sea más accesible como fuente de energía rápida y fácil de procesar para el organismo humano. En comparación con otros almidones de cereales como el trigo, la cebada o el centeno, el almidón de arroz se caracteriza por su sabor suave, gránulos finos y color blanco, atributos que lo hacen especialmente aceptable para los consumidores y adecuado para la elaboración de alimentos extruidos (Yu *et al.*, 2022).

## 2.2. Maíz morado

### 2.2.1. Generalidades

El maíz morado se ha cultivado históricamente en regiones del Perú ubicadas entre los 1,200 y 3,200 m s. n. m., adaptándose a condiciones agroecológicas diversas (Rabanal-Atalaya & Medina-Hoyos, 2021). La domesticación de este producto ha sido una selección empírica realizada por los pueblos originarios del Perú, quienes valoraban las propiedades nutricionales y funcionales del maíz morado, esto originó que con el tiempo se logrará conservar dicho alimento, el cual no es solo considerado como una fuente de alimento, sino también como un importante componente de la identidad cultural andina. (Medina-Hoyos *et al.*, 2020).

El maíz morado (*Zea mays* L.) es una variedad nativa de los Andes peruanos, ampliamente cultivada en regiones como Cusco, Ancash, Cajamarca, Junín y Ayacucho. Se caracteriza por su color púrpura intensa en grano y coronta, este color es atribuido al alto contenido de antocianinas, especialmente cianidina-3-glucósido (C3G), este es un compuesto fenólico con fuerte capacidad antioxidante, debido a estas propiedades el maíz morado se convierte en una fuente natural de pigmentos funcionales con aplicaciones alimentarias (Delgado & Bedoya, 2020). El grano del maíz morado se divide en 3 estructuras principales: el pericarpio (capa externa rica en antocianinas en el caso del maíz morado), el endospermo (tejido de reserva compuesto mayoritariamente por almidón) y el embrión (la futura plántula) (Aguilar-Hernández *et al.*, 2019). La coronta también presenta pigmentación morado, al igual que las brácteas externas, esto permite que se pueda aprovechar no solo los granos del maíz sino también los subproductos (coronta, brácteas) para la obtención de colorantes naturales y compuestos bioactivos (Rabanal-Atalaya & Medina-Hoyos, 2021).

En el Perú, el maíz morado se cultiva en formas nativas como Morado Cusco, Negro de Junín, Arequipeño y Canteño, las cuales presentan una gran diversidad en pigmentación, tamaño y adaptación a distintas zonas agroecológicas. Para mejorar su rendimiento y estandarizar su calidad nutricional, el Instituto Nacional de Innovación Agraria ha desarrollado cultivares mejorados como INIA-601 (Para la sierra norte – Cajamarca), INIA-615 (“Negro Canaán” para la sierra centro y sur y en la costa sur) caracterizados por su alto contenido de antocianinas, buena adaptación a alturas entre 2,500 y 3,500 m s. n. m., y resistencia a enfermedades (INIA, 2021).

En cuanto al rendimiento agronómico, estudios en localidades altoandinas han mostrado que variedades como la INIA 615 pueden alcanzar hasta 9,800 kg/ha bajo condiciones adecuadas (Quispe, 2019). A continuación, en la Figura 2 se muestran los granos de maíz morado.

### **Figura 2.**

*El maíz morado.*



**Nota.** De “Día Nacional del Maíz morado”. El Peruano (2023), <https://www.elperuano.pe/noticia/211935-dia-nacional-del-maiz-sepa-los-multiples-beneficios-a-la-salud-que-brinda-el-maiz-morado/>

### **2.2.2. Composición nutricional**

El maíz morado (*Zea mays* L.) presenta una composición química rica en compuestos fenólicos, entre los cuales destacan las antocianinas, responsables de su intensa coloración púrpura y que se encuentran principalmente en el pericarpio, brácteas y coronta del maíz, las antocianinas más abundantes en el maíz son: la cianidina-3-glucósido, la pelargonidina y la peonidina, con estructuras que le otorgan una alta capacidad antioxidante (Nolazco y Araujo, 2015). Además de las antocianinas, el maíz morado contiene una variedad de compuestos fenólicos no pigmentarios como los ácidos ferúlico, cafeico y p-cumárico, así como flavonoides como la quercetina y la luteolina. Estos compuestos refuerzan su capacidad antioxidante, antiinflamatoria y anticarcinogénica, por lo que su consumo se asocia con la prevención de enfermedades crónicas como la diabetes tipo 2 y enfermedades cardiovasculares (Kim *et al.*, 2023).



Desde el punto de vista nutricional, el maíz morado presenta una alta proporción de carbohidratos complejos, representados principalmente por almidón (aproximadamente 70-75%), seguido por proteínas (8-11%), fibra dietaria (5-6%) y un contenido bajo de lípidos (1.5-2.0%) (Guillén *et al.*, 2014). Asimismo, Peru Bean (2019) mencionan que el maíz morado posee una cantidad significativa de almidón, aproximadamente un 80%, así como un 10% de azúcares que le confieren un sabor dulce, un 11% de proteínas y un 2% de minerales y vitaminas, entre las que destacan el complejo B y el ácido ascórbico, principalmente concentrados en su endospermo. También el maíz morado, contiene vitaminas del complejo B, ácido ascórbico y minerales los cuales están concentrados en el germen del maíz, entre ellos encontramos al fósforo (328 mg), calcio (12 mg), zinc (2.6 mg), lo que lo convierte en un alimento denso en nutrientes (Lon & Hernández, 2024). A continuación, en la tabla 2 se presenta la composición nutricional en 100 gr de maíz morado.

**Tabla 2.**

*Composición nutricional en base a 100 gr de maíz morado.*

<b>Nutrientes en base a 100 gr de maíz morado</b>	
Humedad (%)	11.40
Proteínas (g)	7.30
Grasas (g)	3.40
Carbohidratos (g)	76.20
Energía (kcal)	355.0
Fibra dietaria (g)	1.00
Cenizas (g)	1.70
Fósforo (mg)	328.0
Calcio (mg)	12.00
Potasio (mg)	1.00
Hierro (mg)	0.20
Tiamina (mg)	0.38
Riboflavina (mg)	0.22
Niacina (mg)	2.84

**Fuente:** Instituto Nacional de Salud (INS) (2023).

### **2.2.3. Propiedades saludables**

El maíz morado posee propiedades que benefician a la salud del consumidor, ya que debido a su alto contenido en antocianinas es considerado un alimento con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y anticarcinogénicas. Estos compuestos protegen estructuras celulares del daño oxidativo, al neutralizar radicales libres, sustancias que inciden en el envejecimiento celular y el desarrollo de distintos tipos de cáncer (Rabanal-Atalaya & Medina-Hoyos, 2021). Las antocianinas del maíz morado poseen una capacidad antioxidante y antiinflamatoria destacada, ya que poseen capacidad para proteger las células de cambios cancerígenos, contribuyendo a la prevención de enfermedades degenerativas como el cáncer, enfermedades inflamatorias y patologías cardiovasculares (Kim *et al.*, 2023). También, distintos estudios han evidenciado que las antocianinas estimulan los sistemas antioxidantes en el hígado, previniendo así el desarrollo de células tumorales de cáncer de colon, entre otros tipos de cánceres. (Fernández y Lizana, 2020).

También se ha demostrado en diversos estudios que los extractos de maíz morado reducen la expresión de citoquinas proinflamatorias como el TNF- $\alpha$  e IL-6, logrando así un efecto antiinflamatorio significativo y evitan el desarrollo de células de cáncer de colon al promover la apoptosis y suprimir la angiogénesis (Kim *et al.*, 2023). Por otro lado, el Peruano (2023) menciona que el maíz morado brinda los siguientes beneficios al cuerpo humano: mejora la circulación sanguínea, ya que las antocianinas mantienen la integridad estructural de los vasos sanguíneos, disminuye el colesterol malo, favorece la síntesis de ácidos grasos acumulados en el organismo, contiene minerales esenciales como el hierro, calcio y fósforo, es rico en fibra por lo tanto, mejora la digestión y la prevención de enfermedades gastrointestinales.

### **2.2.4. Potencial de aplicación en productos extruidos**

El maíz morado posee un 80% de almidón, lo cual convierte al maíz morado en una materia prima favorable para el proceso de extrusión (Vinces y Zavala, 2020). La presencia de antocianinas en productos alimenticios brinda color purpura al producto y capacidad antioxidante, favoreciendo la aceptación del consumidor; este color natural sustituye los colorantes artificiales y satisface la creciente demanda de productos saludables, asimismo, las antocianinas del maíz morado mantienen color estable durante el tiempo con el almacenamiento adecuado (Nolazco y Araujo, 2015).

## 2.3. Chía

### 2.3.1. Generalidades

La chía (*Salvia hispánica* L.) es una planta herbácea anual perteneciente a la familia Lamiaceae, originaria de Mesoamérica, especialmente del sur de México y el Norte de Guatemala. Su cultivo se remonta a épocas precolombinas, siendo una de las principales fuentes alimenticias de las civilizaciones azteca y maya. Estas culturas valoraban la chía no solo por su valor nutricional, sino también por sus aplicaciones medicinales, los frutos son aquenios que contienen semillas pequeñas, ovaladas y planas, de tamaño aproximado de 2 mm de longitud, posee colores entre blanco, gris y negro; y presentan gran capacidad para absorber agua y formar un gel mucilaginoso útil en diversas aplicaciones alimenticias (Aslam *et al.*, 2020).

La botánica de la chía se presenta de la siguiente manera: Es una planta de temporada que llega a lograr una altura de 1 a 1.5 metros, presenta tallos ramificados, vellosos y acanalados, sus hojas presentan una longitud de 4 a 8 cm y de 3 a 5 cm de ancho, en estas hojas existe alto contenido de aceites esenciales, los cuales actúan como un repelente contra insectos. Sus flores pueden tener un color azul intenso o blanco. Con respecto a las semillas estas presentan forma ovalada y son brillantes, pueden llegar a medir entre 1.5 a 2 mm, estas semillas contienen un alto porcentaje de ácidos grasos omega-3, Fibra Dietaria, proteínas y diversos minerales, lo que las convierte en un superalimento con múltiples beneficios para la salud (Peralta & Delgado, 2019).

En el Perú la popularidad de las semillas de chía ha aumentado gracias al conocimiento de sus propiedades nutritivas. Las regiones de Arequipa y Cuzco lideran la producción nacional con un 98.5%, el rendimiento de la chía es de aproximadamente 1200 kg por hectárea. En julio de 2024, las exportaciones de chía peruana alcanzaron las 249 toneladas, por un valor de US\$ 875,000, lo que representa un incremento del 98.4% en valor y del 124.4% en volumen en comparación con el mismo mes del año anterior. Este crecimiento se atribuye a la expansión de mercados y a la mejora en la calidad del producto exportado. Los principales mercados de exportación son: Estados Unidos, Canadá, Holanda, Panamá, Hong Kong, Emiratos Árabes (Agro Perú Informa, 2024). A continuación, en la Tabla 3, se muestran datos de las principales regiones del Perú que producen chía. En la Figura 3 se visualizan imágenes de las semillas de chía.

**Tabla 3.**

*Principales regiones productoras de Chía del Perú.*

<b>Región</b>	<b>Ha</b>
Arequipa	172
Cusco	101
Otros	4
<b>Total</b>	<b>277</b>

**Fuente:** Bravo y Ortega (2017).

**Figura 3.**

*Semillas de Chía.*



**Nota.** De “Semillas de Chía saludables”. El Diario Vasco (2022), <https://www.diariovasco.com/gastronomia/despensa/chia-20221108102829-nt.html>

### **2.3.2. Composición nutricional**

Las semillas de Chía presentan un alto contenido de lípidos (30-33% de su peso seco aproximadamente), predominando los ácidos grasos poliinsaturados. Debido a esta característica la chía se convierte en fuente de omega-3, con efectos benéficos sobre la salud cardiovascular. Asimismo, presenta un contenido proteico que varía entre el 18% y el 27%, y un perfil en donde se incluye todos los aminoácidos esenciales, haciéndola una proteína completa, también presenta Fibra Dietaria en un 30% y 34%, de los cuales gran parte es fibra soluble, favoreciendo el correcto tránsito intestinal, en cuanto a minerales

se tiene a los siguiente: Calcio (560-800 mg/100g), potasio (617 mg/100g), magnesio (325-460 mg/100 g) y Hierro (10mg/100 mg) (Motyka et al., 2022).

Por otro lado, las semillas de Chía son una fuente muy importante de compuestos fenólicos como los ácidos: caféico, quercetina y rosmarínico, los cuales aportan propiedades antiinflamatorias y antioxidantes que neutralizan radicales libres y prevenir el daño y envejecimiento celular. De acuerdo a investigaciones realizadas, la germinación de las semillas de chía, incrementa su biodisponibilidad de nutrientes y concentración de compuestos bioactivos. Se ha evidenciado que luego de la germinación existe un aumento en liberación de aminoácidos libres y en la actividad antioxidante. De igual manera su consumo no genera efectos secundarios lo cual se aprovecha su incorporación en distintos productos alimenticios (Cisternas *et al.*, 2022). A continuación, en la tabla 4 se presenta la composición nutricional en 100 gr de semillas de Chía.

**Tabla 4.**

*Composición nutricional en base a 100 gr de semillas de Chía.*

<b>Nutrientes en base a 100 gr de Semillas de Chía</b>	
Humedad (%)	7.70 <sup>a</sup>
Proteínas (g)	19.9 <sup>a</sup>
Carbohidratos (g)	35.30 <sup>a</sup>
Grasas (g)	32.50 <sup>a</sup>
Fibra dietaria (g)	30.10 <sup>a</sup>
Cenizas (g)	4.60 <sup>a</sup>
Energía (kcal)	362 <sup>a</sup>
Sodio (mg)	3.00 <sup>a</sup>
Fósforo (mg)	725 <sup>a</sup>
Calcio (mg)	478 <sup>a</sup>
Omega - 6 (g)	5.8 <sup>b</sup>
Omega - 3 (g)	17.8 <sup>b</sup>

**Fuente:** Adaptado de Instituto Nacional de Salud (INS) (2023)<sup>a</sup>; Peralta y Delgado (2019)<sup>b</sup>.

Las semillas de Chía son una gran fuente de fitoquímicos y minerales, la equivalencia de las semillas de chía en cuanto al contenido de antioxidantes es tres veces más que los arándanos; en cuanto al hierro es hasta tres veces más que las espinacas, calcio cinco veces más que la leche entera y el potasio, es hasta dos veces más que los plátanos (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2024). En la Tabla 5 se visualizan equivalencia de nutrientes entre la semilla de chía y otros alimentos.

**Tabla 5.**

*Equivalencia en nutrientes entre la semilla de Chía y otros alimentos.*

<b>100 gr de Semillas de Chía</b>	
<b>Equivalen a:</b>	<b>Como fuente de:</b>
545 ml de leche	Calcio
294 g de avena	Fibra
900 g de naranja	Antioxidantes
178 g de plátano	Potasio
992 g de salmón	Omega – 3
216 g de nueces	Magnesio

**Fuente:** Hernández-Rodríguez *et al.* (2024).

### **2.3.3. Propiedades saludables**

La chía mejora la salud cardiovascular, la proporción de colesterol total y el contenido de triglicéridos, esto debido a su gran contenido de ácidos grasos poliinsaturados (omega – 3 y omega – 6), su alto contenido de Fibra Dietaria (30-34%), ayuda a mejorar el tránsito intestinal, mejora la salud digestiva y evita el cáncer de colon. Las semillas tienen efectos antiinflamatorios, antioxidantes, antidiabéticos, anticancerígeno, antihipertensivo y controlan la anemia, osteoporosis y enfermedad celíaca (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2024). Las semillas de chía están recubiertas por mucílagos, los cuales son fibra soluble, que generan una matriz gelatinosa al hidratarse, con lo cual se ralentiza la digestión, es decir la velocidad con la que el estómago digiere los alimentos, de esta manera se promueve una mayor sensación de saciedad, logrando así el control del peso corporal. Además, la chía presenta propiedades antioxidantes, los cuales pueden neutralizar radicales libres y prevenir enfermedades como el cáncer (Cisternas *et al.*, 2022).

#### 2.3.4. Torta desgrasada de Chía

La torta desgrasada de chía es un subproducto sólido que resulta del proceso de extracción de aceite de las semillas de la chía. La torta de chía se obtiene por medio de procesos como el prensado por expeller, este subproducto conserva todavía una fracción residual de lípidos (8-10.43%), gran parte de proteínas (24 - 26.94%), minerales (calcio, magnesio, zinc, fósforo), Fibra Dietaria mayormente insoluble y antioxidantes como polifenoles y flavonoides, lo cual contribuye a su valor funcional y capacidad para ser incorporada en el desarrollo de productos alimentarios funcionales (Valicenti, 2022).

La obtención de la torta de chía se da por métodos de prensado mecánico los cuales son más seguros para el consumidor y el medio ambiente, como el prensado en frío, este método se da por debajo de los 50°C, evita la degradación de nutrientes sensibles al calor y permite preservar las propiedades nutricionales y funcionales de la chía. En cuanto al prensado por Expeller se tiene que se realiza generalmente en temperaturas de 100 °C – 120°C, se alcanzan presiones y rendimientos mayores en la extracción del aceite en comparación con el prensado en frío, el prensado permite que el contenido de grasa en la torta final sea de 7% aproximadamente, manteniéndose así las propiedades funcionales útiles para el desarrollo de productos alimentarios enriquecidos (Ferreira *et al.*, 2023). La composición química proximal de la torta desgrasa de Chía se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 6.**

*Composición nutricional en base a 100 gr de torta desgrasada de chía.*

<b>Nutrientes en base a 100 gr de torta desgrasada de Chía</b>	
Humedad (%)	10.1
Proteínas (g)	27.0
Grasas (g)	7.0
Fibra dietaria (g)	48.0
Cenizas (g)	6.0
Energía (kcal)	284
Polifenoles totales (mg GAE/g)	1.3
Ácido alfa-linolénico (ALA) (g)	4.6

**Fuente:** Ferreira et al (2023).

#### **2.3.4.1. Propiedades saludables de la torta de chía**

La torta desgrasada de chía, es una fuente importante de Fibra Dietaria hasta un 48% tanto soluble como insoluble, esto la convierte en un alimento importante para la salud digestiva; esta fibra mejora el tránsito intestinal, aumenta la saciedad (con lo cual se controla el peso corporal) y regula los niveles de glucosa en sangre, lo cual es beneficioso para personas con diabetes tipo 2. Además, en la torta existe un contenido importante de proteínas con presencia de aminoácidos esenciales como la lisina y la leucina, esto favorece la reparación y mantenimiento de los tejidos corporales (Grancieri *et al.*, 2019).

A pesar de la extracción de aceite, la torta aún conserva cantidad significativa de ácidos grasos omega-3, como el ácido alfa-linolénico (ALA), el cual tiene efectos antiinflamatorias y cardioprotectoras. Su consumo ayuda a reducir riesgos de enfermedades cardiovasculares, hipertensión y colesterol. Asimismo, este producto contiene compuestos antioxidantes como polifenoles, los cuales reducen el estrés oxidativo y la inflamación celular (Ferreira *et al.*, 2023).

#### **2.3.4.2. Potencial de aplicación en productos extruidos**

La torta de chía presenta potencial para su aplicación en alimentos extruidos, desde el punto de vista tecnológico, mejora la capacidad de retención de agua del extruido, el bajo contenido de grasas mejora la expansión, crocancia y estabilidad oxidativa del producto, evitando así malformaciones en el extruido. Además, la Fibra Dietaria presente en la torta favorece la formación de una red gelatinosa, lo cual mejora la textura final del producto aumenta la saciedad del consumidor y genera efectos positivos en la digestión. Asimismo, este subproducto es adecuado para el desarrollo de alimentos funcionales, particularmente en formulaciones de snacks extruidos o panificados, es muy nutritivo debido a su alto contenido de proteínas (24%) y azúcares lo cual favorece la reacción de Maillard durante la extrusión, mejorando así las características sensoriales del producto, y su contenido de antioxidantes mejora la estabilidad oxidativa de los productos y prolonga su vida útil (Renoldi, 2022).



## **2.4. Snack extruido**

### **2.4.1. Definición**

Los snacks extruidos son productos alimenticios obtenidos mediante el proceso extrusión, una tecnología que combina presión, altas temperaturas y fuerzas de cizallamiento para transformar mezclas de ingredientes (Generalmente ricos en almidón y nutrientes) en productos con formas, texturas y características específicas que responden a las preferencias del consumidor. Durante la extrusión, se produce la gelatinización del almidón y la desnaturalización de las proteínas, lo que contribuye a la formación de productos con texturas crujientes, estructuras porosas y con bajo contenido de humedad lo cual prolonga la vida útil del producto (TechPress, 2020).

Según Martín et al., (2020) un snack extruido es una porción pequeña de alimentos, diseñada para ser consumida entre las comidas principales, con el objetivo de proporcionar energía rápida o simplemente satisfacer el apetito. El proceso de extrusión ha sido empleado desde antes para la producción de bocadillos salados, ya que permite transformar ingredientes, generalmente ricos en almidón, en productos con una alta densidad energética lo que se traduce en un elevado contenido de azúcares y lípidos.

### **2.4.2. Clasificación**

Los snacks extruidos se pueden clasificar según varios criterios, tales como los ingredientes utilizados, el tipo de proceso de extrusión o el propósito de consumo, permitiendo una diferenciación en sus características sensoriales, nutricionales y estructurales.

Los snacks extruidos se clasifican de acuerdo con el proceso de extrusión de la siguiente manera:

**Extrusión seca:** Este proceso produce snacks crujientes sin la adición de agua antes ni durante la extrusión. Durante el proceso, la masa se somete a altas temperaturas y presiones dentro del extrusor, lo que provoca una alta expansión, baja densidad y una larga vida útil debido a la baja humedad del producto final (Sanygran, 2023).

**Extrusión húmeda:** En este proceso, se añade agua o vapor a la mezcla de ingredientes antes de someterla a presión y calor. Los productos obtenidos tienen una mayor retención de nutrientes sensibles al calor, como las proteínas, ya que este tipo de extrusión favorece su gelatinización. Este tipo de extrusión es ideal para alimentos funcionales que requieren una mayor preservación de fibra y proteína, lo que mejora el valor nutricional del snack (Sanygran, 2023).

Por otro lado, según López *et al.*, (2022), los snacks extruidos pueden clasificarse de acuerdo con el propósito de consumo:

**Snacks convencionales:** Snacks de alta densidad calórica que se consumen principalmente por su sabor y como forma de disfrute, por ejemplo, palitos de maíz.

**Snack Funcionales:** Snacks que han sido enriquecidos con ingredientes funcionales, como proteínas, Fibra Dietaria, vitaminas, minerales o antioxidantes, con el objetivo de ofrecer beneficios nutricionales adicionales, por ejemplo, snacks proteicos.

### **2.4.3. Propiedades de Calidad del Snack Extruido**

#### **2.4.3.1. Calidad Sensorial**

La calidad sensorial de los snacks extruidos es crucial para su aceptación, ya que influye en cómo los consumidores perciben su apariencia, aroma, sabor y textura. Atributos como el color, la crocancia, el sabor y el aroma son evaluados mediante análisis sensoriales, y dependen tanto de la formulación como de las condiciones del proceso de extrusión. Las propiedades sensoriales de los extruidos, especialmente la textura, es un atributo clave que afecta la aceptación del consumidor, ya que una textura inusual puede generar rechazo del producto (Ainia, 2021).

La evaluación sensorial es una disciplina científica que analiza los alimentos mediante los sentidos, siendo tan importante como los métodos físico-químicos o microbiológicos en el control de calidad. El análisis permite medir e interpretar las respuestas a través de los sentidos (vista, gusto, olfato, oído y tacto) frente a las características de un producto, ya que los atributos sensoriales pueden percibirse a través de uno o varios sentidos. Además, uno de los aspectos fundamentales en el desarrollo de un producto es conocer el nivel de aceptación y preferencia que este genera en un grupo de consumidores (Von, 2022).

#### **2.4.3.2. Calidad Tecnológica**

Los productos extruidos presentan características tecnológicas fundamentales que determinan su calidad. Entre estos parámetros tecnológicos más importantes que se evalúan para definir la calidad tecnológica del snack extruido se tiene a los siguientes: el índice de absorción de agua (IAA), el índice de solubilidad en agua (ISA), el índice de expansión (IE) y el volumen específico ( $v$ ). Estos parámetros tecnológicos permiten evaluar cómo el producto responde al proceso de extrusión, así como su comportamiento durante su consumo (Bravo & Ortega, 2017).

##### **- Índice de absorción en agua**

Este parámetro mide la capacidad del producto extruido para retener agua, es decir la capacidad del almidón gelatinizado para absorber agua, lo cual está relacionado con la estructura interna del extruido y el grado de gelatinización del almidón. Una mayor capacidad de absorción indica una red porosa más desarrollada, lo que suele ser deseable para lograr texturas ligeras y crocantes. Este parámetro se expresa en gramos de gel absorbida por gramo de muestra seca (g/g) y se utiliza comúnmente para evaluar la funcionalidad y la calidad tecnológica de los snacks extruidos (Boluk et al., 2023).

##### **- Índice de solubilidad en agua**

El índice de solubilidad en agua es un parámetro relacionado con la cantidad de moléculas solubles en la muestra seca y mide la capacidad de la solubilidad en agua del almidón, la cual está influenciada por el tamaño de partículas. El ISA está relacionado con la cantidad de moléculas solubles en la muestra seca y mide la dextrinización. La solubilidad en agua del almidón también está influenciada por el tamaño de partícula: a menor tamaño de partícula, mayor será la velocidad y el grado de solubilización (Boluk et al., 2023).

##### **- Índice de expansión**

Es un parámetro que representa la relación entre el diámetro del extruido y el diámetro de la boquilla de la salida de extrusor, se relaciona con la textura y aceptabilidad del extruido. Este parámetro ocurre debido a las diferencias de presión en el proceso de extrusión; un índice de expansión alto indica una estructura más crocante y aireada (Genç & Mustafa, 2025).

## - Volumen específico

El volumen específico ( $v$ ) es un parámetro que relaciona el volumen y la masa del extruido ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ), y se relaciona directamente con atributos sensoriales como crocancia y textura general del extruido, los cuales son atributos muy valorados por el consumidor. Un mayor volumen específico brinda un producto más poroso, aireado y crujiente, lo que aumenta la aceptabilidad del consumidor, ya que se siente mejor al masticar. Por otro lado, un volumen específico bajo indica una textura densa, con menor expansión y poco agradable para el consumidor (Tyl, 2021).

No existe un valor único para las variables tecnológicas óptimas de un snack extruido, ya que dependen de la formulación y materias primas. La Tabla 7 muestra rangos referenciales comunes de las variables tecnológicas para snacks extruidos de calidad a base de cereales, bien aireados, crujientes y con buena textura, los cuales pueden ajustarse según la formulación y proceso utilizado.

**Tabla 7.**

*Rango de valores referenciales de parámetros tecnológicos óptimos en snacks extruidos a base de cereales.*

<b>Variable tecnológica</b>	<b>Rango adecuado</b>	<b>Interpretación</b>
Volumen específico ( $v$ )	9.7 – 11.5 ml/g <sup>a</sup>	Este rango indica un snack bien expandido y ligero, un volumen específico bajo significa un snack poco expandido y denso. <sup>a</sup>
Índice de expansión (IE)	1.4 – 4.0 (relación) <sup>b</sup>	Este rango indica buena expansión y textura crujiente; valores en este rango indican calidad adecuada. Un IE bajo indica un extruido compacto o duro. <sup>b</sup>
Índice de absorción de agua (IAA)	3.7 – 5.73 g gel/g muestra seca <sup>c</sup>	Este rango indica buena gelatinización y estructura del extruido, favoreciendo textura y funcionalidad. <sup>c</sup>
Índice de solubilidad en agua (ISA)	18 – 30 % <sup>ad</sup>	Valores en este rango indican suficiente degradación del almidón, textura crujiente y buena digestibilidad. <sup>a</sup>

**Fuente:** Laureano y Avellaneda (2018)<sup>a</sup>; Valderrama et al.(2021)<sup>b</sup>; Ramirez et al. (2017)<sup>c</sup>; Bravo y Ortega (2017)<sup>d</sup>

## **2.5. Tecnología de extrusión para la obtención del snack**

### **2.5.1. Definición de extrusión**

La extrusión es un proceso tecnológico por medio del cual mezclas alimenticias, son forzados a fluir por medio de un tornillo sin fin hasta salir a través de una abertura y bajo parámetros controlados de presión, temperatura y cizallamiento. Esta tecnología transforma la estructura de las materias prima y permite obtener un producto final muy apreciado por el consumidor, entre las características de dicho producto se tiene: mejor textura, nuevas formas, mejor capacidad de interacción con el agua y mezcla de diferentes sabores, y ampliamente utilizado para la fabricación de cereales, pastas, piensos para animales y snacks (Molina, 2021). Los principales ingredientes para llevar a cabo la extrusión son el almidón y proteínas, el resto de los nutrientes tienen principalmente la función de brindar olor, color y sabor al producto final, esto hace que la extrusión sea una técnica versátil y muy rentable ya que solo se necesita un equipo (Extrusor) para realizar las distintas operaciones. Durante la extrusión se debe controlar parámetros importantes que afectan la calidad del producto final como la velocidad del tornillo, velocidad de alimentación, temperatura, presión y contenido de humedad (Barrios *et al.*, 2024).

Según Molina (2021) en la industria alimentaria, existen principalmente 2 tipos de extrusión: La extrusión en caliente y la extrusión en frío.

**La extrusión en caliente:** Conocido como un proceso de alta temperatura y corto tiempo (HTST), se lleva a cabo en condiciones de temperaturas entre 100 y 180 °C y presiones elevadas. Esta tecnología brinda una cocción rápida, también la eliminación de compuestos antinutricionales y microorganismos, lo cual lo hace un método efectivo para productos como cereales, snacks y alimentos infantiles (Barrios *et al.*, 2024).

**La extrusión en frío:** La extrusión en frío se utiliza cuando no es necesario una cocción térmica, como en la fabricación de ciertas masas de panadería, pastas o productos de confitería. En este proceso solo se aplica presión mecánica para poder dar forma al producto final, logrando así conservar características sensibles al calor como aromas, colores o ciertos nutrientes. Tanto en la extrusión en frío como en caliente, la extrusión representa una tecnología versátil, eficiente y cada vez más utilizada para el desarrollo de alimentos funcionales, seguros e innovadores (Molina, 2021).

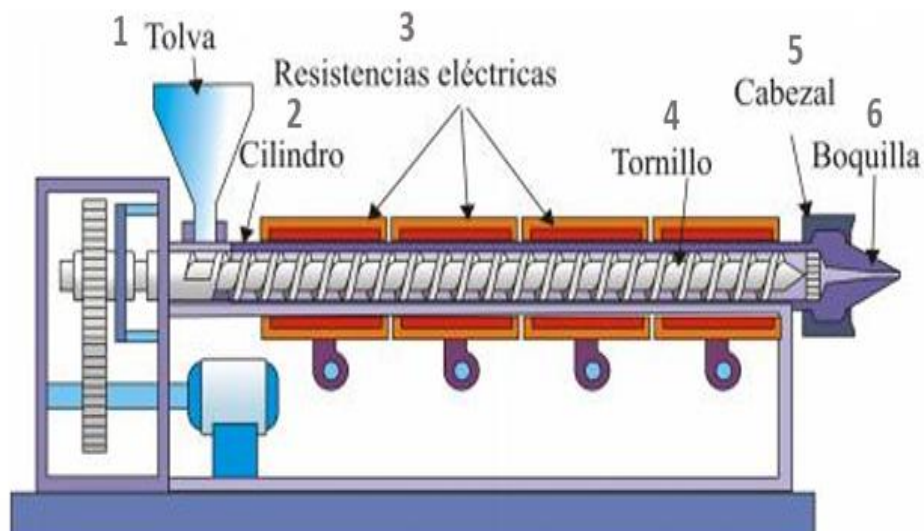
### 2.5.2. Proceso de extrusión

La extrusión es un proceso que inicia con la mezcla de ingredientes que previamente pasaron por un proceso de molienda para obtener el tamaño de partícula adecuado para el proceso. Luego, a dicha mezcla se le adiciona ingredientes líquidos como agua, aceites, emulsionantes o colorantes, dicha mezcla es introducida en la extrusora, donde fluye a través de un tornillo giratorio sin fin hasta ser cortada a la salida de la boquilla. Durante este recorrido, la fricción mecánica y la presión generadas elevan la temperatura de forma controlada. La combinación de alta presión y temperatura durante la extrusión favorece reacciones fisicoquímicas importantes, como son la gelatinización del almidón y la desnaturalización de proteínas, estas reacciones modifican la textura, mejoran la digestibilidad y otorgan estabilidad al producto final. Además, este proceso térmico permite inactivar enzimas no deseadas y reducir significativamente la carga microbiana, con lo cual se garantiza la inocuidad del alimento y se prolonga su vida útil (Rodríguez, 2024).

A continuación, en la Figura 4 se describen las partes de un extrusor:

**Figura 4.**

*Partes de un extrusor.*



**Nota.** Tomado de Molina (2021). *Extrusión en alimentos*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México].

1. **Tolva de alimentación:** Asegura el ingreso uniforme de los ingredientes.
2. **Cilindro:** Es la parte en donde se encuentra el tornillo. Este puede ser rugoso, liso o acanalado.
3. **Resistencias eléctricas:** Permite elevar la temperatura dentro del extrusor durante el proceso.
4. **Tornillo o husillo:** Es una parte fundamental del equipo, ya que facilita el transporte, mezcla, calentamiento y fusión del material.
5. **Cabezal:** Sostiene a la boquilla en su posición.
6. **Boquilla:** Se encarga de dar forma al producto final; existen diversos diseños de esta parte para obtener una variedad de formas y tipos de productos, al final de la boquilla se encuentra la cuchilla de corte y se encarga de cortar el extruido en tamaños definidos. Beltrán y Marcilla (2012), como se citó en Molina (2021).

Según Acevedo (2020) Un extrusor se divide en 4 zonas las cuales nos señalan el proceso en la que los materiales se someten, siendo estas la zona de alimentación, transición, cocción, moldeo y corte.

1. **Zona de alimentación:** Es la primera zona del extrusor, en esta zona se encuentra la tolva de alimentación instalada junto con un cilindro para descargar los ingredientes hacia el tornillo, es muy importante que la alimentación sea constante para garantizar la calidad del producto final, asimismo se necesita una mezcla homogénea.
2. **Zona de transición o compresión:** Es la segunda zona del extrusor, en esta zona se comprime, calienta y la masa se mezcla en forma homogénea alcanzando una compactación. En esta zona se comprime la mezcla y la temperatura aumenta, esto sucede debido a que el espacio entre el tornillo y el cilindro se reduce, con lo cual aumenta la presión en la mezcla. Esta zona tiene su principal objetivo el cual es acondicionar el material antes de la fusión, eliminando el aire presente y garantizando una mezcla uniforme.
3. **Zona de cocción:** En esta zona se evidencia una fusión en la masa, lo cual con el aumento de temperatura y presión se logra la plastificación de la masa. Durante esta etapa variables como la presión y temperatura se deben controlar para asegurar que el material se funda de manera adecuada y adquiera la viscosidad necesaria para la siguiente etapa.

4. **Zona de moldeado y corte:** En esta zona el producto se comprime, homogeniza y fluye a presión constante a través de una boquilla. A la salida de la boquilla el producto es cortado por unas cuchillas y el tamaño del producto dependerá de su composición y de la velocidad de estas cuchillas en RPM.

### 2.5.3. Tipos de extrusores

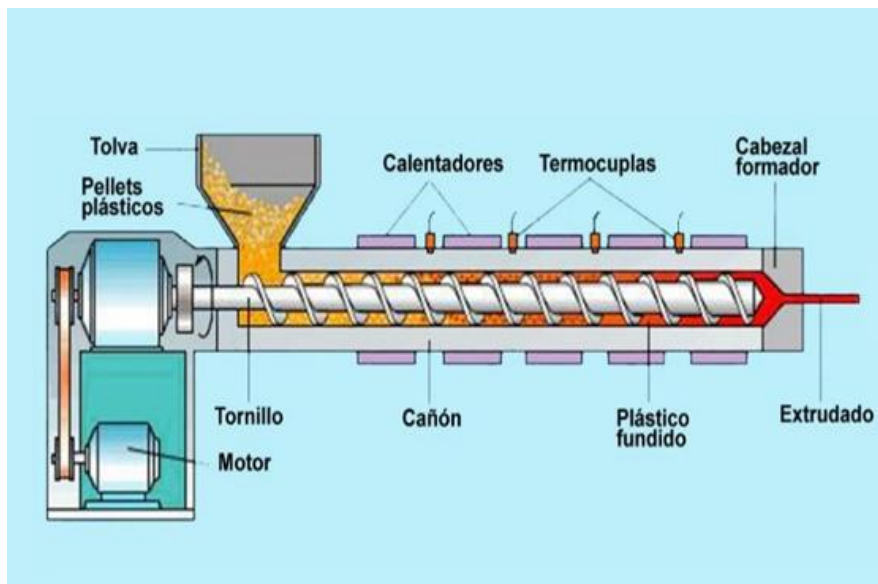
Según el autor Acevedo (2020) Los 2 tipos de extrusores que se más se utilizan en la industria alimentaria son: extrusores de tornillo simple y doble tornillo, a continuación, se describirán a detalle cada uno de dichos equipos.

#### 2.5.3.1. Extrusor de tornillo simple

Este tipo de extrusores solo tienen un solo tornillo y son los equipos más utilizados en la industria alimentaria, el tornillo dentro del cilindro transporta, mezcla y somete al producto a condiciones térmicas y mecánicas hasta su salida por la boquilla. Además, dentro de este equipo el producto es arrastrado por el canal del tornillo, debido a la superficie del barril y al movimiento del mismo tornillo. Este equipo presenta estructura más simple y económica en comparación con el extrusor de doble tornillo (Molina, 2021).

#### Figura 5.

*Extrusor de tornillo simple.*



**Nota.** Tomado de Acevedo (2020). *Extrusión en alimentos: Materias primas y su efecto en el proceso* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México].

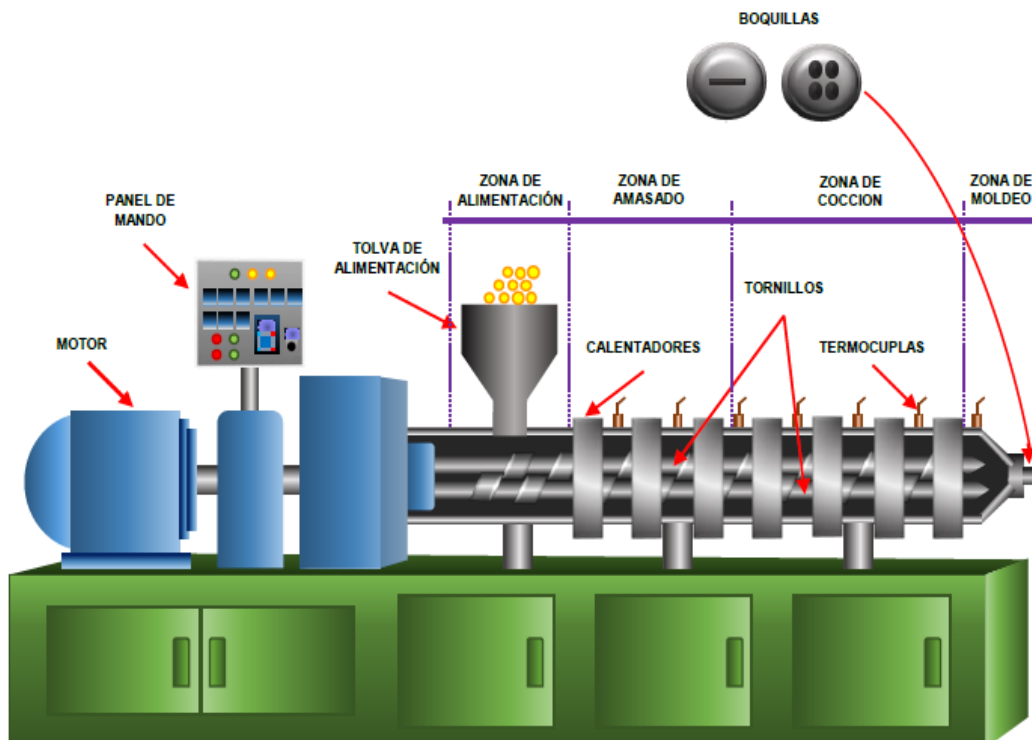


### 2.5.3.2. Extrusor de doble tornillo

Este extrusor posee dos tornillos paralelos, los cuales pueden rotar en una misma dirección (corrotativos) o direcciones opuestas (contrarrotativos), estos tornillos se unen como engranajes y rotan el uno contra el otro dentro del barril, son excelentes transportadores del producto y son frecuentemente utilizados en procesamiento de materiales complejos como por ejemplo mezclas viscosas utilizadas en la industria de dulces y confitería. Esta extrusora debido a las altas velocidades de operación presenta gran capacidad de mezclado y desgasificado, así como también menor riesgo de obstrucción. En este extrusor, el transporte del material no depende únicamente de la fricción entre el material y el cilindro como en el caso del extrusor de un solo tornillo, sino que depende del arrastre positivo entre ambos tornillos entrelazados, sobre todo si son corrotativos (Acevedo, 2020). En la Figura 6, se visualiza el esquema de un extrusor de doble tornillo.

**Figura 6.**

*Esquema de extrusor de doble tornillo.*



**Nota.** Tomado de Aburto, R., & Taboada, J. (2019). Efecto del proceso de extrusión en la calidad proteica de un snack, utilizando quinua (*chenopodium quinoa*) y harina de habas (*vicia faba*). [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Santa].

## **2.5.4. Efectos de la extrusión en la composición química del alimento**

### **2.5.4.1. Proteínas**

Durante el proceso de extrusión, las proteínas se desnaturalizan como consecuencia de la exposición a las altas temperaturas y fuerzas mecánicas del proceso, haciendo que se altere la estructura tridimensional de las proteínas. Este cambio estructural mejora la digestibilidad, solubilidad y capacidad emulsionante, mejorando la textura y estabilidad del producto final. Por otra parte, las reacciones de Maillard pueden hacer que la calidad nutricional de las proteínas disminuya, ya que en estas reacciones aminoácidos interactúan con azúcares reductores, reduciendo su valor biológico si no se controlan bien las condiciones del proceso (Aburto & Taboada, 2019).

### **2.5.4.2. Grasas**

El proceso de extrusión debido a sus altas temperaturas contribuye a la inactivación de microorganismos y enzimas como las lipasas y peroxidasas, las cuales son responsables de la degradación lipídica, logrando así la estabilidad del producto. Además, las condiciones de alta presión, temperatura y cizallamiento provocan una emulsificación de las grasas, cuyas gotas finamente dispersas quedan encapsuladas por proteínas y almidones gelatinizados. Esta encapsulación mejora la biodisponibilidad de los lípidos al facilitar la acción de las enzimas digestivas, así como también evita la oxidación inmediata de los lípidos (Velásquez & Florez, 2024).

### **2.5.4.3. Fibras**

Durante el proceso de extrusión, las fibras insolubles se pueden descomponer en fragmentos mucho más pequeños para convertirse en fibras solubles, con esto se incrementa su habilidad para formar geles y espesar el contenido intestinal. Esta transformación produce una mejor fermentación en el colon, lo cual es positivo para la salud intestinal. En un estudio realizado con bagazo de cerveza sometido a un proceso de extrusión se logró evidenciar un aumento en la fibra soluble, lo cual mejoró la función digestiva del producto (Gutiérrez-Barrutia & Castillo, 2022).

### **2.5.4.4. Vitaminas**

Cada tipo de vitamina posee distintos niveles de resistencia al calor durante la extrusión. Las vitaminas liposolubles como A, D y E se pueden conservar bien bajo condiciones de extrusión controladas. El contenido de humedad es uno de los factores más influyentes en la retención de las vitaminas, ya que a mayor humedad existe mayor conservación de

vitaminas. En cambio, las vitaminas hidrosolubles, como la vitamina C y las del complejo B, son más sensibles y pueden degradarse con facilidad (Bravo & Ortega, 2017).

#### **2.5.4.5. Carbohidratos**

El proceso de extrusión afecta significativamente a los carbohidratos de las materias primas, especialmente la estructura y funcionalidad del almidón. Durante este proceso, el almidón se gelatiniza, es decir, los gránulos absorben agua, se expanden y pierden su organización cristalina. Debido a dicha modificación estructural el almidón se vuelve fácilmente digerible y aumenta su disponibilidad como fuente de energía. (Velásquez & Florez, 2024). En un estudio con extrusor de tornillo simple, Quiroz et al., (2019) identificaron que la temperatura del cilindro y el nivel de humedad son los principales factores que influyen en la gelatinización del almidón, ya que se observó una mayor gelatinización cuando la humedad es alta y la temperatura relativamente baja. Por otro lado, velocidades elevadas del tornillo disminuyen este efecto debido al menor tiempo de residencia del material. Además, las altas presiones y fuerzas de cizallamiento propias del proceso de extrusión provocan la ruptura de enlaces en carbohidratos como sacarosa, rafinosa, y los malto-oligosacáridos, así como en las cadenas del almidón, favoreciendo su descomposición y transformación estructural.

### **2.6. Capacidad Antioxidante y polifenoles en extruidos**

#### **2.6.1. Capacidad Antioxidante**

La capacidad antioxidante se define como el potencial de una sustancia para inhibir o retardar las reacciones de oxidación que afectan a biomoléculas como lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. También contribuyen en la neutralización de los radicales libres, las cuales son moléculas inestables con electrones desapareados que buscan estabilizarse y oxidan otras moléculas generando reacciones en cadena que pueden provocar enfermedades; al neutralizarlas se retarda el proceso oxidativo, el envejecimiento celular y se previene el desarrollo de diferentes enfermedades. Entre los antioxidantes presentes en alimentos destacan las vitaminas, carotenoides y compuestos fenólicos. Los compuestos fenólicos son considerados importantes componentes antioxidantes, en alimentos como frutas, vegetales, tubérculos y cereales ya que tienen alta capacidad para donar electrones, contribuyendo de manera significativa a la capacidad antioxidante total de un alimento. (Rioja et al., 2018). La capacidad antioxidante mide la habilidad de un alimento para inhibir estos procesos oxidativos, y se evalúa comúnmente mediante métodos como DPPH, ABTS o FRAP (Ayala, 2022).

### **2.6.2. Polifenoles**

Los compuestos fenólicos o polifenoles son metabolitos secundarios de las plantas con estructuras químicas diversas y funciones antioxidantes, su principal característica estructural es la presencia de uno o más grupos hidroxilo (-OH) unidos a anillos aromáticos, lo que les confiere una alta capacidad antioxidante. Están presentes en alimentos de origen vegetal y contribuyen a su calidad sensorial, se agrupan principalmente en flavonoides, ácidos fenólicos, lignanos y estilbenos. Debido a su capacidad para neutralizar radicales libres, tienen potencial para sustituir aditivos sintéticos y formar parte de alimentos funcionales, con posibles beneficios en la prevención de enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer (Acosta, 2019). Para la determinación de polifenoles totales el método de Folin-Ciocalteu es uno de los más utilizados y se pueden existir variaciones en la forma de expresar los resultados, sin embargo, el patrón que más se recomienda es el ácido gálico (GAE) (Ayala, 2022).

### **2.6.3. Efecto del proceso de extrusión en la estabilidad de antioxidantes y polifenoles**

La extrusión térmica puede afectar la estabilidad de los compuestos fenólicos presentes en ingredientes funcionales. Según Gómez y Vanegas (2022) la extrusión disminuye los compuestos fenólicos y antocianinas de su snack extruido con harina de fresa debido a las condiciones agresivas en las cuales opera como altas temperaturas (125 °C), velocidad de tornillo, cizallamiento, humedad y altas presiones, sin embargo, cuando se emplean condiciones moderadas de temperatura junto con una humedad adecuada y tiempos de residencia cortos, es posible minimizar estos efectos negativos. Asimismo, Vences y Zavala (2020) mencionan que en el proceso de extrusión de harina de maíz morado se produjo una reducción del 71.43% de antocianinas, esto debido a las altas temperaturas y velocidades del tornillo en el extrusor. La combinación de dichos factores ocasiona la disminución en el contenido de polifenoles y antocianinas.

El proceso de extrusión puede aumentar la capacidad antioxidante de los productos, ya que según Gómez y Vanegas (2022) la capacidad antioxidante de su snack con harina de fresa aumentó después del proceso de extrusión, esto puede ser producto de la aparición de compuestos con capacidad antioxidante derivadas de las reacciones de Maillard como las melanoidinas. Por otro lado, las altas temperaturas de extrusión afectan la capacidad antioxidante debido a la reducción del contenido de polifenoles en el snack extruido (Santamaría et al., 2018).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

Los análisis de dicho estudio se llevaron a cabo en los siguientes ambientes:

- Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial (IITA) – Universidad Nacional del Santa.
- Laboratorio de Análisis y Composición de productos Agroindustriales de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial – Universidad Nacional del Santa.
- Instalaciones de Evaluación Sensorial de la planta piloto Agroindustrial - Universidad Nacional del Santa.

#### 3.2. Materiales y equipos

##### 3.2.1. Materia prima

Para la elaboración de los snacks extruidos del presente estudio se utilizaron 12 kg de Arroz, 7 kg de Maíz morado y 5 kg de Chía.

- Maíz morado (*Zea mays L.*): Proveniente del Distrito de Jimbe – Ancash y adquirida en el Mercado Mayorista “La Perla” – Chimbote
- Arroz (*Oryza sativa L.*): Proveniente del Valle del Santa – Ancash y adquirida en el Mercado Mayorista “La Perla” – Chimbote
- Chía (*Salvia Hispanica L.*): Proveniente del Provincia de Huaraz – Ancash y adquirida en el Mercado Mayorista “La Perla” – Chimbote

##### 3.2.2. Insumos

- Miel de abeja
- Agua

##### 3.2.3. Materiales de laboratorio y otros

- Probetas de 50 y 100 ml
- Fiolas de 10ml, 50ml y 100ml
- vasos precipitados de 250, 500 y 1000ml
- Matraces de Erlenmeyer (250 y 500 ml).
- Placas Petri

- Crisoles de porcelana
- Unidades de Microplacas para lector multimodal.
- Desecador
- Pera succionadora
- Mortero
- Papel filtro
- Pinzas de madera y metal
- Pipetas de 1,5 y 10 ml.
- Tubos centrífuga
- Papel aluminio
- Rejillas de acero inoxidable
- Papel toalla
- Hipoclorito de sodio (Lejía)
- Baldes de plástico
- Mesa de acero inoxidable
- Material para prueba sensorial: cabinas de degustación, fichas de análisis sensorial, lapicero, platos y vasos descartables.
- Bolsas de polietileno (31 x 27 cm, planas, Marca: Bell's, con cierre hermético)

#### **3.2.4. Reactivos**

- Agua destilada
- Éter de petróleo (P.E. 40-60 °C)
- Enzimas: Proteasa, Amilogucosidasa y  $\alpha$ -amilasa
- Etanol 96°
- Celite
- Reactivo DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil)
- Metanol
- Trolox
- Reactivo de Folin-Ciocalteu
- Carbonato sódico ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )
- Ácido Gálico
- Acetona

### 3.2.5. Equipos

- Secador de bandejas. (Marca: Torrh. Modelo: SBT – 10X10. Serie: JP0010113. País: Perú)
- Módulo de Molienda y Tamizado. (Marca: Torrh, Modelo: MDNT-60XL. Serie: JP0011112. Año:2012. País: Perú)
- Prensa Expeller. (Marca: KARAERLER. Modelo: NF80.Serie:NF802020312. Año: 2020)
- Balanza gramera. (Marca: PRECISA. Modelo: XB4200C. Desviación: 0.01 g. País: Suiza)
- Extrusor de doble tornillo. (Marca: INBRAMAQ. Modelo: PQ DRX-50. Serie: 1101150408. País: Brasil)
- Balanza analítica. (Marca: PRECISA GRAVIMETRICS A G. Modelo: LX320A. Serie: 321LX. Desviación: 0.01 g. País: Suiza.)
- Estufa. (Marca: POL-EKO APARATURA. Modelo: SW-17TC. Serie: SW-1990. País: E.E.U.U.)
- Mufla. (Marca: PROTHERM. Modelo: ECO 110/3. Serie: 22050159. País: Turquía)
- Equipo extractor de grasa - Soxtec. (Marca: FOSS, Modelo: SOXTEC. Serie: O/C 045-2015 N°161. País: China)
- Balanza analítica. (Marca: PRECISA. Modelo: LX 220A SCS. Desviación: 0.01 g. País: Suiza)
- Analizador DUMAS. (Marca: LECO. Modelo: CHNS628. País: E.E.U.U.)
- Determinador de Fibra. (Marca: FOSS. Modelo: Fibertec e System AB 2003. País: Suecia)
- Vernier digital. (Marca:TRUPER. País: China)
- Equipo de baño maría. (Marca: Coler Parmer. Modelo: 88 92)
- Pulverizador. (Marca: LEJIEYIN. Modelo: 100. País: China)
- Centrifuga. (Marca: SIGMA. Modelo: 4-16KS. Serie: 156050. País: Alemania.)
- Lector Multimodal. (Marca: Bio Tek. Modelo: Syner-gy H1. País: E.E.U.U)
- Agitador Vortex. (Marca: IKA. Modelo: MS 3 CONTROL. País: Brasil)
- Baño Ultrasonido. (Marca: BRANSONIC. Modelo: CPX5800H – E. País: México)

### 3.3. Métodos

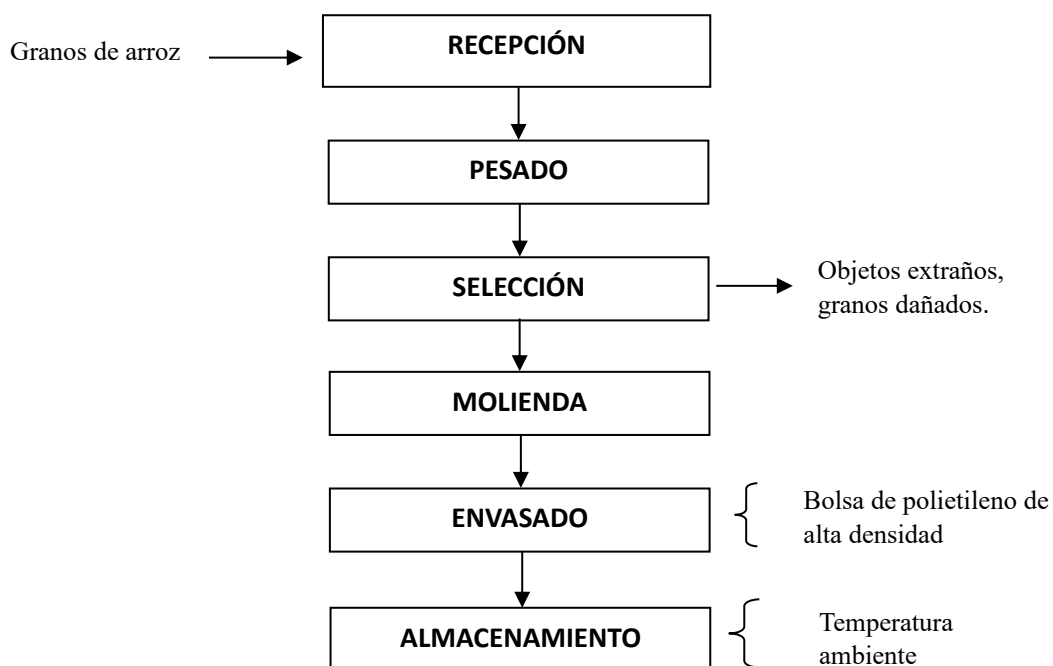
#### 3.3.1. Metodología del proceso de elaboración de extruidos

##### 3.3.1.1. Obtención de la harina de arroz

A continuación, en la Figura 7, se describe el proceso de obtención de harina de arroz que se siguió a detalle durante la presente investigación.

**Figura 7.**

*Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de arroz.*



#### **Procedimiento:**

##### **a. Recepción de la materia prima**

Se recibió los granos de arroz en la planta piloto agroindustrial, previamente se acondicionó el área de trabajo.

##### **b. Pesado**

Se procedió a pesar la materia prima obteniéndose un peso de 12 kg.

##### **c. Selección**

Se transportó a las mesas de acero inoxidable previamente desinfectadas para extraer de forma manual las impurezas presentes, como piedrecillas, pajillas y granos de otra especie.



#### d. Molienda.

Esta operación se realizó en el molino de martillos del Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial, en donde se logró convertir los granos de arroz en harina.

#### e. Envasado

La harina obtenida de la molienda fue pesada (11.4 kg) y envasada en una bolsa de polietileno de alta densidad y sellada herméticamente.

#### f. Almacenamiento

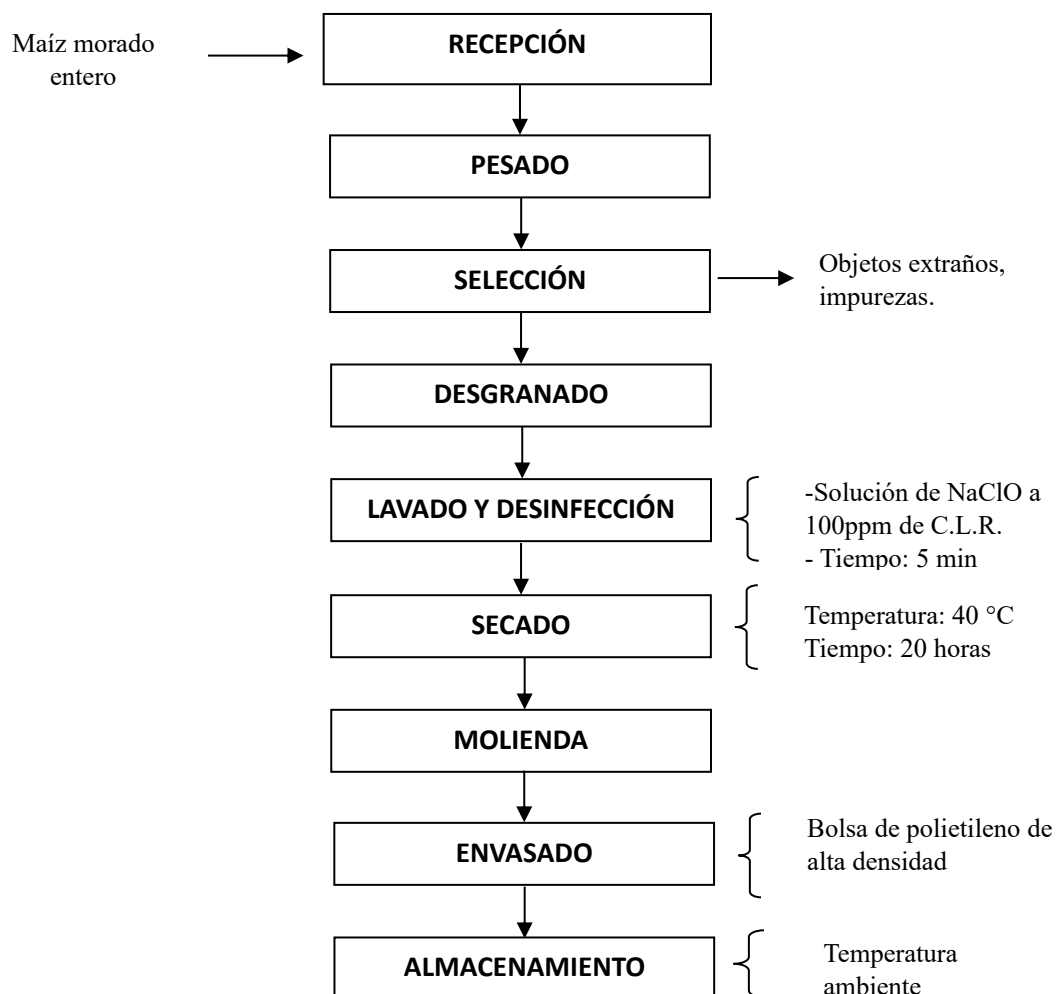
La harina de arroz envasada se almacenó a temperatura ambiente.

#### 3.3.1.2. Obtención de la harina de maíz morado

A continuación, en la Figura 8, se describe el proceso de obtención de harina de maíz morado que se siguió a detalle durante la presente investigación.

**Figura 8.**

*Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de maíz morado.*



**Procedimiento:****a. Recepción de la materia prima**

Se recepcionó las mazorcas de maíz morado en la planta piloto agroindustrial.

**b. Pesado**

Se procedió a pesar la materia prima obteniéndose un peso de 7 kg.

**c. Selección**

Se transportó a las mesas de acero inoxidable previamente desinfectadas para separar de forma manual las mazorcas en buen estado de las defectuosas; se extrajo las impurezas presentes, como piedrecillas, pajillas y granos de otra especie.

**d. Desgranado**

Esta operación se llevó a cabo de forma manual.

**e. Lavado y desinfección**

Los granos fueron serán lavados con agua a presión eliminando suciedad e impurezas. En un recipiente se utilizó una solución de NaClO a 100ppm donde se sumergió la materia prima por aproximadamente 5 minutos.

**f. Secado**

Los granos de maíz morado ya desinfectados fueron llevados al secador de bandejas del Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial, un tiempo de 20 horas y una temperatura de 40°C

**g. Molienda.**

Esta operación se realizó en el molino de martillos Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial, en donde se logró convertir los granos de maíz morado en harina

**h. Envasado**

La harina obtenida de la molienda fue pesada (3.059 kg), envasada en una bolsa de polietileno de alta densidad y sellada herméticamente para prolongar la vida útil del producto.

## i. Almacenamiento

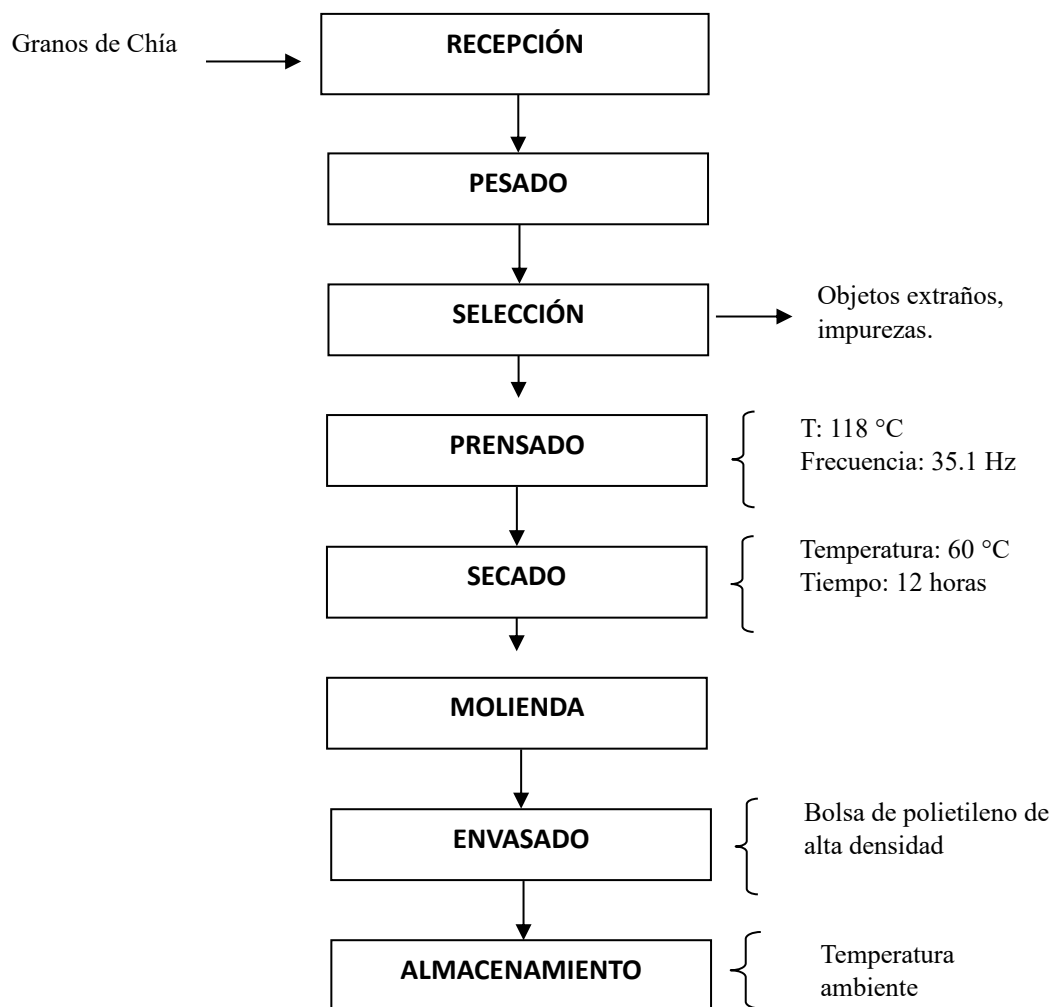
La harina de maíz morado envasada se almacenó a temperatura ambiente en el almacén del Laboratorio de Operaciones Unitarias del Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial.

### 3.3.1.3. Obtención de la harina de torta desgrasada de Chía

A continuación, en la Figura 9, se describe el proceso de obtención de harina de torta desgrasada de chía que se siguió a detalle durante la presente investigación.

**Figura 9.**

*Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de torta desgrasada de Chía.*



**Procedimiento:****a. Recepción de la materia prima**

Se recibió la chía a la planta piloto agroindustrial, previamente se preparó el área de trabajo.

**b. Pesado**

Se procedió a pesar la materia prima obteniéndose un peso de 6 kg.

**c. Selección**

Se procedió a distribuir las semillas de chía sobre una meza de acero inoxidable debidamente desinfectada, y se extrajo las impurezas presentes, como piedrecillas, pajillas y semillas de otra especie.

**d. Prensado**

Se realizó mediante el prensado en la prensa Expeller a condiciones de temperatura (118 °C) y frecuencia (35.1 Hz). Este prensado se realizó para poder separar la grasa a la materia prima para que no pueda afectar en la molienda de la harina de chía.

**e. Secado**

Luego del prensado se realizó el secado de la torta desgrasada de chía en un secado de bandejas a temperatura de 60°C por un tiempo de 12 horas.

**f. Molienda.**

Esta operación se realizó en el molino de martillos Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial, en donde se logró convertir la torta de chía en harina

**g. Envasado**

La harina obtenida de la molienda fue pesada (3.15 kg), envasada en una bolsa de polietileno de alta densidad y sellada herméticamente para prolongar la vida útil del producto.

**h. Almacenamiento**

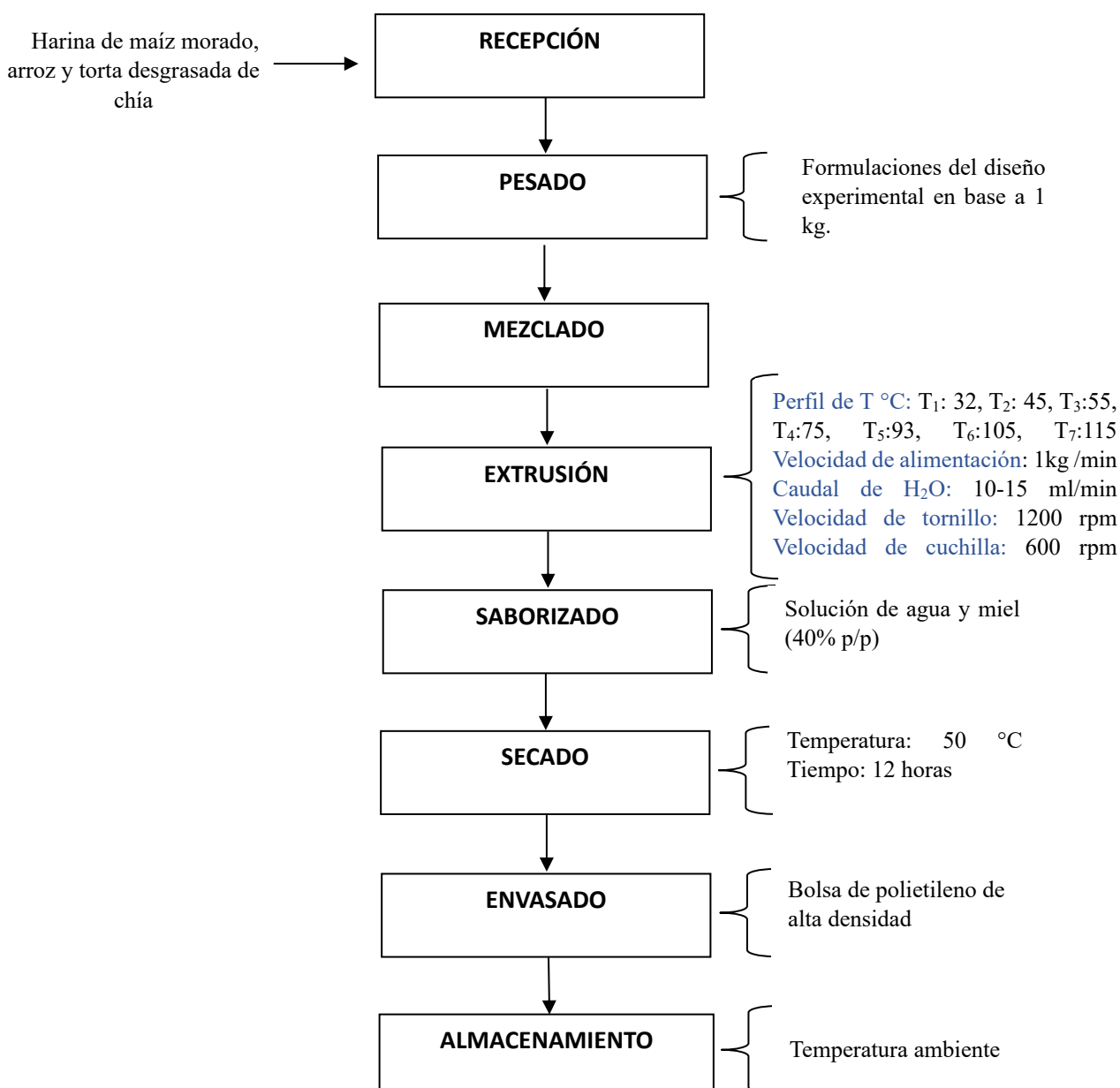
La harina de torta desgrasada de chía envasada se almacenó a temperatura ambiente en el almacén del Laboratorio de Operaciones Unitarias del Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial.

### 3.3.1.4. Obtención de los extruidos

A continuación, en la Figura 10, se describe el proceso de obtención de snacks extruidos que se siguió a detalle durante la presente investigación.

**Figura 10.**

*Diagrama de flujo del proceso de elaboración de extruidos.*



#### **Procedimiento:**

##### **a. Recepción de las harinas**

Se recibió las harinas de maíz morado, arroz y torta desgrasada de chíá para la elaboración del extruido como se puede apreciar en la Figura 11.

### **Figura 11.**

*Harinas de torta de chía, arroz y maíz morado obtenidas para la elaboración de extruidos.*



#### **b. Pesado**

Se procedió a pesar en las harinas de maíz morado, arroz y torta desgrasada de chía de acuerdo con los porcentajes de cada formulación y en base a 1 kg de mezcla.

#### **c. Mezclado**

Se realizó el mezclado uniforme de las harinas para cada formulación (1kg).

#### **d. Extrusión**

El proceso de extrusión se realizó con los parámetros de la Tabla 8, previamente se realizó la limpieza de impurezas que se encontraban al interior del equipo, para ello se utilizó granos de soja, una vez limpio el interior del extrusor se procedió a extruir cada formulación de snack, primero se ingresó la mezcla a la tolva de alimentación, esta mezcla es transportada por los tornillos a las temperaturas programadas hacia la boquilla del extrusor, la mezcla expandida es cortada con una cuchilla rotatorio a la salida de la boquilla. Durante el proceso de extrusión es crucial poder controlar los parámetros para evitar un producto de baja calidad, especialmente los parámetros de temperatura y caudal de H<sub>2</sub>O de alimentación (Ver anexo, 4).

**Tabla 8.**

*Parámetros de extrusión del snack extruido a base de harina de arroz, maíz morado y torta desgrasada de chía.*

<b>Parámetros de extrusión</b>	
Perfil de T °	T <sub>1</sub> : 32 °C, T <sub>2</sub> : 45°C, T <sub>3</sub> :55 °C, T <sub>4</sub> :75 °C, T <sub>5</sub> :93 °C, T <sub>6</sub> :105 °C, T <sub>7</sub> :115 °C
Caudal de H <sub>2</sub> O de alimentación	10 – 15 ml/min
Velocidad de alimentación	1 kg/min
Velocidad de tornillos	1200 rpm
Velocidad de cuchilla	600 rpm
Diámetro de la boquilla	0.5 cm

**Figura 12.**

*Extrusor de doble tornillo (Marca: INBRAMAQ) produciendo snacks del presente estudio.*



**e. Saborizado**

Para el saborizado de los extruidos se preparó una solución de agua con miel a 40 % (p/p), luego los extruidos fueron roseados con dicha solución.

**f. Secado**

El producto fue llevado al secador de bandejas por 12 horas a temperatura de 50°C.

### **g. Envasado**

Los extruidos de cada formulación fueron envasados en bolsas de polietileno de alta densidad y sellados herméticamente para prolongar la vida útil del producto (Figura 13).

#### **Figura 13.**

*Snack extruido envasado en bolsas de polietileno de alta densidad con cierre hermético.*



### **h. Almacenamiento**

El producto fue almacenado a temperatura ambiente.

#### **3.3.2. Métodos de análisis**

##### **3.3.2.1. Caracterización químico proximal de las materias primas y harinas obtenidas**

La caracterización químico proximal de las materias primas (granos de arroz, maíz morado y semillas de chía) y de las harinas obtenidas (arroz, maíz morado y torta desgrasada de chía) se realizó individualmente. Los análisis se llevaron a cabo en el Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial (IITA) y el laboratorio de Análisis y Composición de productos Agroindustriales de la EPIA – Universidad Nacional del Santa. A continuación, se describen dichos análisis:

##### **➤ Humedad:**

La determinación de humedad se llevó a cabo mediante el método gravimétrico de la AOAC 931.04. 18th. Se pesaron 5 g de muestra homogenizada en placas Petri previamente secadas (2 h a 103 °C) y taradas, las muestras se llevaron a la estufa a temperatura de 105 °C por 4 horas o hasta peso constante, posteriormente,



se enfrió en el desecador cada muestra por 30 min antes de realizar el pesado final (Ver anexo, 5). En la Figura 14, se aprecia la estufa utilizada en la determinación de humedad.

**Fórmula para determinar la Humedad (%):**

$$H (\%) = \frac{(M_i - (M_f - m)) * 100}{M_i}$$

$M_i$  = Peso inicial de la muestra (g)

$M_f$  = Peso de la muestra seca + masa de placa Petri (g)

$m$  = Peso de placa Petri (g)

**Figura 14.**

*Estufa (Marca: POL – EKO) utilizada en la determinación de humedad.*



➤ **Cenizas:**

La determinación de cenizas se llevó a cabo siguiendo el método gravimétrico AOAC 931.04 (2005). Se pesaron 3g de muestra en crisoles de porcelana previamente taradas. luego las muestras se incineraron en un horno mufla a 550°C por 4 horas, hasta conseguir cenizas de color gris claro, posteriormente se procedió a enfriar en el desecador los crisoles con las muestras calcinadas para su posterior pesado (Ver anexo, 6). En la Figura 15, se observa la mufla utilizada para la determinación de cenizas.

**Fórmula para determinar Cenizas (%):**

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{(P_f - m) * 100}{P_i}$$

$P_i$  = Peso inicial de la muestra (g)

$P_f$  = Peso de la muestra calcinada + crisol (g)

$m$  = Peso del crisol (g)

**Figura 15.**

*Determinación de cenizas.*



➤ **Grasa:**

La determinación de grasa se llevó a cabo siguiendo el método gravimétrico AOAC 963.15 (2005), se utilizó el equipo extractor de grasa tipo Soxtec marca FOSS. Se pesaron 3 g de muestra, estas muestras se colocaron en cartuchos de papel filtro y fueron llevados a la cámara de extracción del equipo soxtec, se agregó el solvente orgánico (Éter de petróleo) y se dio inicio al proceso de extracción, el solvente se evaporo y condenso en varios ciclos generando la extracción de las grasas de la muestra. El éter de petróleo se evaporó quedando el residuo graso en el vaso colector (previamente tarada), finalmente se realiza el pesado del residuo graso (Ver anexo, 7). En la Figura 16, se aprecia el equipo soxtec utilizado en la determinación de grasas.

**Fórmula para determinar Grasa (%):**

$$\text{Grasa (\%)} = \frac{(P_{vg} - V) * 100}{m_i}$$

$m_i$  = Peso de la muestra (g)

$P_{vg}$  = Peso del vaso colector con la grasa (g)

$V$  = Peso del vaso colector (g)

**Figura 16.**

*Sistema extractor de grasa Soxtec utilizado para la determinación de grasa.*



➤ **Proteínas:**

La determinación de proteínas se llevó a cabo siguiendo el método AOAC. 992.23, 2012. Se pesó 100 mg de muestra molida en una cápsula de estaño, la capsula se introduce al equipo Dumas Marca LECO, se programa el software, el equipo ejecuta la combustión de la muestra y la medición del nitrógeno liberado, finalmente el software arroja los resultados de proteínas (%) (Ver anexo, 8).

**Fórmula para determinar Proteínas (%):**

$$\text{Proteínas (\%)} = \%N * \text{Factor de conversión}$$

$\%N$  = Nitrógeno (%) total en la muestra.

**Figura 17.**

*Equipo determinador de proteínas por combustión Dumas marca LECO.*



➤ **Fibra dietaria:**

La Fibra Dietaria total se determinó siguiendo el método AOAC 991.43, 1997. Se utilizó 1g de muestra seca y desgrasada, luego la muestra fue gelatinizada con  $\alpha$  –amilasa térmicamente estable, posterior a ello fue digerida enzimáticamente con proteasa y amiloglucosidasa para retirar el almidón y la proteína. La fibra soluble es precipitada debido a la adición de alcohol etílico, el residuo total se filtra, se lava con etanol y acetona, se seca y se pesa. En el residuo en duplicado, se determina ceniza en una parte, y en la otra se determina proteína (Ver anexo, 9). En la Figura 18 se muestra el equipo utilizado para la determinación de Fibra Dietaria.

**Fórmula para determinar Fibra Dietaria total (%):**

$$FDT (\%) = \frac{\text{Peso residuo} - (\text{Proteínas} + \text{cenizas})}{\text{Peso muestra inicial}} * 100$$

**Figura 18.**

*Equipo para determinación de fibra mediante método enzimático.*



➤ **Carbohidratos:**

Se empleó el método de la diferencia, que consiste en la obtención del contenido de carbohidratos disponibles restando del 100%, el porcentaje de los macrocomponentes: Humedad (%), Grasa (%), Proteína (%), Fibra (%) y Cenizas (%) (Instituto Nacional de Salud, 2017).

**Fórmula para determinar carbohidratos (%):**

$$\text{Carbohidratos (\%)} = 100 - (H + G + P + C + FD)$$

**3.3.2.2. Caracterización tecnológica de las formulaciones de snack extruido**

Se realizó la evaluación tecnológica para cada una de las 14 formulaciones de snack extruido elaboradas, dichos análisis se describen a continuación:

➤ **Índice de expansión (IE):**

Para determinar el índice de expansión de los extruidos se siguió la metodología descrita por Meza et al., (2019, citado por Bravo y Ortega, 2017), el cual consiste en determinar la relación entre el diámetro promedio de los extruidos y el diámetro de la boquilla del extrusor (5 mm). Se utilizó un vernier y se realizó 10 mediciones por cada formulación, como se visualiza en la Figura 19.

**Fórmula para determinar el Índice de expansión:**

$$\text{Índice de expansión (IE)} = \frac{\text{Diámetro del extruido (mm)}}{\text{Diámetro de la boquilla (mm)}}$$

**Figura 19.**

*Medición de diámetros de extruidos.*



➤ **Volumen específico:**

El volumen específico se determinó por el método de desplazamiento de semillas propuesto por Laínez (2006, citado por Bravo y Ortega, 2017). Se procedió de la siguiente manera: Se vierten las semillas de alpiste en el recipiente vacío de PVC hasta repletarlo (retirando el exceso al pasar sobre el ras), luego se vierte todas las semillas del recipiente en una probeta para determinar el volumen inicial de las semillas. Posteriormente en el recipiente vacío se deposita el snack y se llena con semillas de alpiste de la probeta hasta llenar el recipiente (retirando el exceso al pasar sobre el ras), finalmente el alpiste contenido en el recipiente se vierte en la probeta y se determina el volumen del snack por diferencia entre el volumen inicial y final de las semillas de alpiste. La masa del extruido se determina con ayuda de una balanza analítica. En la Figura 20 se aprecia los materiales usado para la determinación del volumen específico.

**Fórmula para determinar el Volumen específico (ml/g):**

$$\text{Volumen específico} = \frac{\text{Volumen del extruido (ml)}}{\text{masa del extruido (g)}}$$

$\text{Volumen del extruido (ml)} = \text{Volumen inicial de las semillas} - \text{Volumen final de las semillas}$

**Figura 20.**

*Medición de volumen específico de los extruidos.*



➤ **Índice de Absorción de agua (IAA) e Índice de solubilidad en agua (ISA):**

Para la determinación del IAA se siguió la metodología de Lázaro y Sotelo (2017), para ello se pesó 2,5 g de muestra de extruido previamente molida y se agregó 30 ml de agua destilada (se pesó en tubos de centrifuga secos y previamente tarados). Posterior a ello se agitó los tubos de centrifuga con la muestra contenida por 30 minutos en Baño María a 30°C, luego se centrifugo los tubos a 4000 rpm por 10 minutos, el sobrenadante del tubo se vierte en una placa Petri previamente tarada y el gel que quedó al interior del tubo se pesa para determinar el IAA. Las placas Petri con el sobrenadante se colocan en la estufa a 70 °C por 12 horas siguiendo la metodología de Cerón et al., (2016), finalmente se pesa el residuo seco.

**Fórmula para determinar el IAA:**

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

$\text{Peso del gel (g)} = \text{Peso del tubo con el gel (g)} - \text{Peso del tubo (g)}$

**Figura 21.**

*Determinación del Índice de absorción de agua (IAA).*



*Nota. <sup>a</sup> Centrifuga; <sup>b</sup> Tubos de centrifuga con el sobrenadante y el gel.*

**Fórmula para determinar el ISA:**

$$ISA = \frac{\text{Sólidos Solubles (g)}}{\text{Peso de muestra (g)}}$$

**Peso de sólidos solubles (g)** = Peso placa Petri con sólido soluble seco (g) – Peso de placa Petri (g)

**Figura 22.**

*Determinación del Índice de solubilidad en de agua (ISA).*



*Nota. <sup>a</sup> Muestras en la estufa; <sup>b</sup> Residuos secos del sobrenadante.*



### 3.3.2.3. Evaluación sensorial de las formulaciones

Se realizó el análisis sensorial de las 14 formulaciones de snack extruido, elaboradas según diseño experimental D-óptimo. En este análisis se evaluaron los siguientes atributos, sabor, olor, color y textura. Para ello, participaron de la degustación un grupo de 40 panelistas semi – entrenados, pertenecientes a la UNS. Se empleó una escala no estructurada de 10 cm de longitud, desde “0” a “10”, teniendo a “0” como “me disgusta mucho” y “10” como “me gusta mucho”. Las muestras de snack de cada formulación fueron servidas en vasos descartables rotulados de acuerdo a su formulación y presentadas de forma aleatoria para su posterior evaluación por los panelistas, los cuales recibieron una ficha de evaluación para cada muestra (Ver anexo, 15). Los resultados fueron procesados con el software Design expert versión 7.0. En la Figura 23 se aprecia el análisis sensorial de las 14 formulaciones del presente estudio, llevado a cabo en la planta Piloto Agroindustrial – UNS.

#### Figura 23.

*Análisis sensorial ejecutado en la planta piloto agroindustrial – UNS.*



### 3.3.2.4. Caracterización del snack extruido de formulación óptima

#### 3.3.2.4.1. Caracterización químico proximal

Al snack extruido de formulación óptima se le realizó la caracterización químico proximal (proteínas, grasas, humedad, cenizas, fibra dietaria y carbohidratos) siguiendo la metodología descrita anteriormente en el punto 3.3.2.1.

➤ **Humedad**

La determinación de humedad se llevó a cabo mediante el método gravimétrico de la AOAC 931.04. 18th.

➤ **Cenizas**

La determinación de cenizas se llevó a cabo siguiendo el método gravimétrico AOAC 931.04 (2005).

➤ **Proteínas**

La determinación de proteínas se llevó a cabo siguiendo el método AOAC. 992.23, 2012.

➤ **Grasas**

La determinación de grasa se llevó a cabo siguiendo el método gravimétrico AOAC 963.15 (2005).

➤ **Fibra dietaria**

La Fibra Dietaria total se determinó siguiendo el método AOAC 991.43, 1997.

➤ **Carbohidratos**

Se empleo el método de la diferencia descrito por el Instituto Nacional de Salud. (2017).

**Fórmula para determinar carbohidratos (%):**

$$\text{Carbohidratos (\%)} = 100 - (H + G + P + C + FD)$$

#### **3.3.2.4.2. Caracterización tecnológica**

La evaluación de las propiedades tecnológicas (índice de expansión, índice de solubilidad en agua, índice de absorción de agua y volumen específico) del snack extruido de formulación óptima se llevó a cabo siguiendo la metodología descrita anteriormente en el punto 3.3.2.2.

### 3.3.2.4.3. Análisis sensorial

Se realizó el análisis sensorial de la formulación óptima de snack extruido. Se evaluaron los siguientes atributos, sabor, olor, color y textura. Para ello, participaron del análisis un grupo de 40 panelistas semi – entrenados, pertenecientes a la UNS. Se empleó una escala no estructurada de 10 cm de longitud, desde “0” a “10”, teniendo a “0” como “me disgusta mucho” y “10” como “me gusta mucho”. La muestra de snack de la formulación óptima fue servida en platos descartables para su posterior evaluación por los panelistas.

### 3.3.2.4.4. Valor energético

Para el cálculo del valor energético del snack extruido de formulación óptima se utilizó el método Atwater, dicho método estima el valor energético de los alimentos a partir de la suma de los aportes calóricos individuales de sus macronutrientes: 4 kilocalorías por cada gramo de carbohidrato, 4 kilocalorías por cada gramo de proteína y 9 kilocalorías por cada gramo de grasa.

**Fórmula para determinar el valor energético:**

$$\text{Energía (kcal)} = \left( \frac{4 \text{ kcal}}{\text{g}} * \text{g de carbo.} + \frac{4 \text{ kcal}}{\text{g}} * \text{g de prot.} + \frac{9 \text{ kcal}}{\text{g}} * \text{g de gras.} \right)$$

### 3.3.2.4.5. Análisis funcional

Para cada análisis funcional: determinación de polifenoles totales y capacidad antioxidante se necesita realizar la obtención de extracto, dicha determinación se realizó siguiendo la metodología de Barrionuevo y Castro (2025) que consiste en lo siguiente:

➤ **Obtención de extracto**

- Pesar 0.5 g de la muestra molida en un tubo de ensayo.
- Añadir 5 ml de una solución metanol: agua (5:5, pH 2), y posteriormente se agitó la mezcla durante 2 a 4 minutos utilizando un vórtex. Luego llevar al baño de ultrasonido por un tiempo de 30 min, centrifugar por 30 min a 4000 rpm. Separar el sobrenadante resultante (A).
- Añadir 5 ml de una solución acetona: agua (7:3) al sedimento, agitar por 3 min utilizando un vórtex. Luego llevar al baño de ultrasonido por un tiempo de 30 min, centrifugar por 30 min a 4000 rpm. Separar el sobrenadante resultante (B).

- Finalmente combinar ambos sobrenadantes (A y B), posteriormente emplear papel filtro para filtrar (A y B) y guardar en refrigeración.

#### ➤ **Contenido de Polifenoles totales**

La determinación del contenido de polifenoles totales se realizó siguiendo la metodología de Folin - Ciocalteu descrita por Barrionuevo y Castro (2025) (Ver anexo, 12), el cual se basa en la capacidad de los polifenoles para reaccionar con agentes oxidantes, los resultados se expresaron en mg ácido gálico equivalente (GAE)/ 100 g muestra. Dicho método se realizó de la siguiente manera:

#### **Preparación de soluciones: ácido gálico (450 ug/ml), Folin- Ciocalteu (2N) y carbonato de sodio (20%)**

Se pesó 0.0225 g de ácido gálico y 2g de carbonato de sodio, se tomó 5 ml del reactivo Folin – Ciocalteu, y cada reactivo se aforo con agua destilada en una fiola color ámbar o forrada con papel aluminio de 50 ml, 10 ml y 10 ml, respectivamente. Posteriormente se llevó cada fiola al vortex por 3-5 min para homogenizar cada solución.

#### **Determinación de la curva estándar**

Se prepararon 6 tubos Eppendorf para la curva estándar. En 5 tubos añadir 20µl, 40µl, 60µl, 80µl, 100µl de solución de ácido gálico respectivamente, en el sexto no se agregó la solución de ácido gálico. A todos los tubos se agregaron 100 µl de la solución Folin- Ciocalteu 2N (F-C 2N), se dejaron reposar por 5 min. Luego se agregaron 50 µl de la solución de carbonato de sodio al 20% a cada uno de los tubos, y en los 6 tubos Eppendorf añadir 1080µl, 1060µl, 1040µl, 1020µl, 1000µl y 1100µl (Blanco) de agua destilada respectivamente, reposar por 2 hora a temperatura ambiente, protegidas de la luz.

#### **Lectura de muestras**

En tubo de microcentrífuga Eppendorf de 1.5ml, se agregaron 800 µl del extracto de la muestra, seguido de la adición de 100µl de solución F- C 2N. La mezcla se deja reposar 5 min a temperatura ambiente. Luego, se añadieron 50 µl de la

solución de carbonato de sodio al 20% y 300  $\mu$ l de agua destilada, reposar durante 2 horas y protegidas de la luz para permitir la reacción.

Al terminar las 2 horas se agregaron 200 $\mu$ l de los 6 tubos Eppendorf de la curva y 200 $\mu$ l de las muestras a una microplaca. Finalmente, se lectura absorbancia a 739 nm.

### ➤ **Capacidad Antioxidante**

La determinación de la capacidad antioxidante se realizó siguiendo la metodología de Radical 2,2 – difenil – 1- picrilhidracilo (DPPH) empleado por Barrionuevo y Castro (2025) (Ver anexo, 13). Dicho método se realizó de la siguiente manera:

#### **Preparación de solución DPPH 1mM**

Se pesaron 0,02 g de DPPH y se disolvieron en metanol, completando el volumen a 50 ml en una fiola forrada con papel aluminio para ser protegida de la luz. Luego, homogenizar la solución con un equipo vórtex durante 3-5 minutos. Posteriormente, se diluyó con metanol hasta alcanzar una absorbancia aprox. de 0,800 a 515 nm.

#### **Preparación de solución de Trolox 1mM**

Se pesaron 0.0125 g de Trolox y se aforo con 50 ml de metanol en una fiola forrada con papel aluminio para proteger de la luz. Posteriormente se llevó al vortex por 3-5 min para homogenizar la solución.

#### **Determinación de la curva estándar**

Se prepararon ocho tubos Eppendorf con 500 $\mu$ l, 400 $\mu$ l, 200 $\mu$ l, 100 $\mu$ l, 50 $\mu$ l, 25 $\mu$ l, 10 $\mu$ l, y 5 $\mu$ l de la solución estándar de Trolox respectivamente, y se completó el volumen con metanol.

#### **Lectura de las muestras**

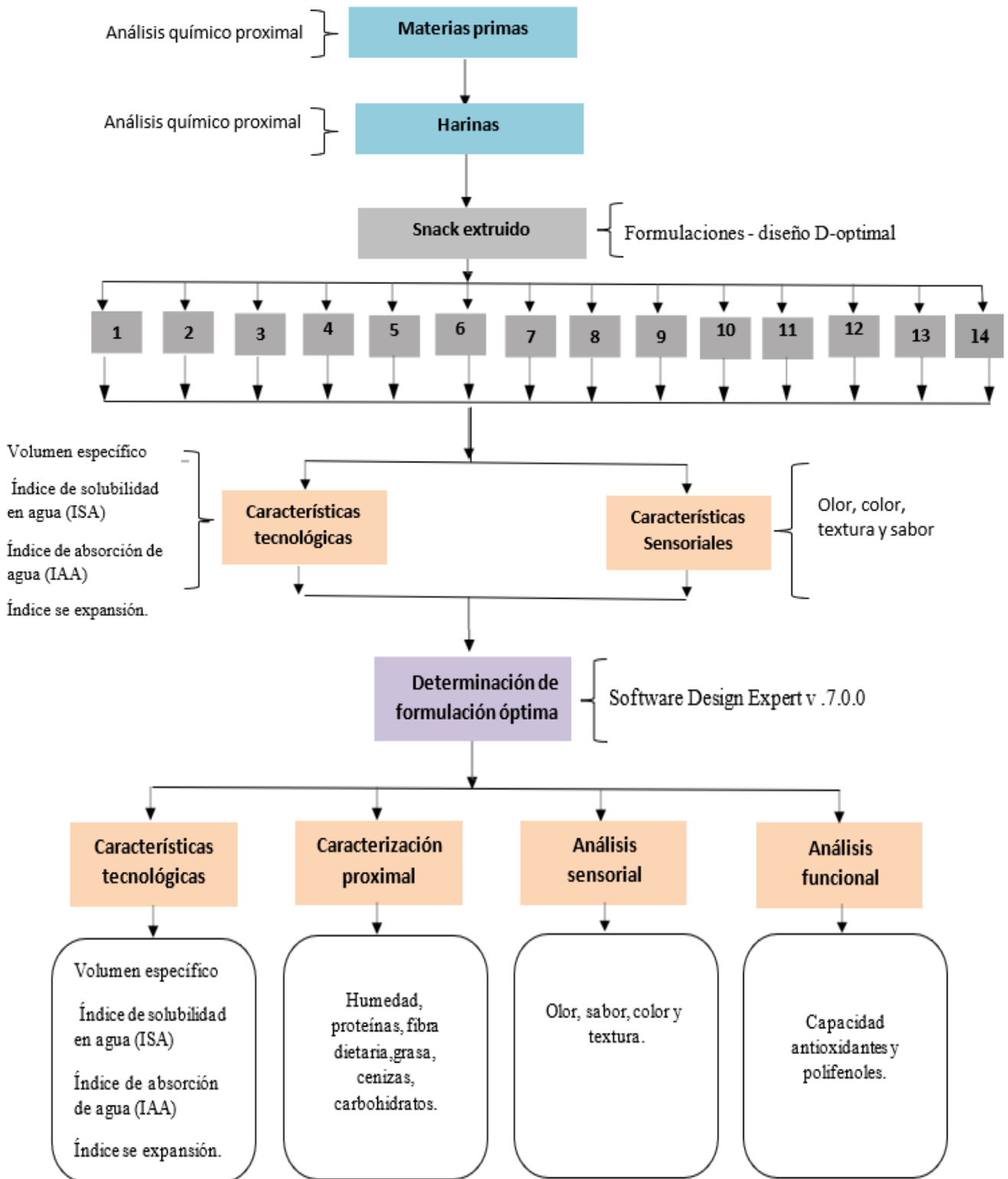
En una microplaca para lectura en el equipo multimodal, se colocaron 10  $\mu$ L de cada una de las soluciones estándar de la curva y 10  $\mu$ L de cada muestra. Posteriormente, se añadieron 190  $\mu$ L de la solución de DPPH ajustada a cada pocillo. Finalmente, se midió la absorbancia a 515 nm.

### 3.3.6. Esquema experimental de la investigación

En la Figura 24 se presenta el esquema experimental aplicado en la presente investigación.

**Figura 24.**

*Esquema experimental de la investigación.*



### 3.4. Diseño Experimental

En el presente trabajo se utilizó el Software Design Expert V.7.0 para el desarrollo del diseño experimental, se llevó a cabo 14 formulaciones utilizando un Diseño D-óptimo, el cual corresponde a un diseño de mezclas dentro de la metodología de superficie de respuesta.

Las **variables independientes** consideradas en este estudio son: harina de arroz, harina de maíz morado y harina de torta de chía, en la tabla 9 se muestran los valores máximos y mínimos de las variables independientes consideradas:

**Tabla 9.**

*Variables independientes con valores máximos y mínimos.*

<b>Variabes</b>	<b>Valor Mínimo (%)</b>	<b>Valor Máximo (%)</b>
Harina de Arroz	65	75
Harina de Maíz Morado	15	25
Harina de Torta de Chía	5	15

En cuanto a las **variables dependientes** se tiene lo siguiente:

**Características tecnológicas:** Las características tecnológicas de los extruidos que se evaluaron en este trabajo son: volumen específico, índice de absorción de agua (WAI), índice de solubilidad en agua (WSI) e índice de expansión.

**Características sensoriales:** Las características sensoriales de los extruidos que se evaluaron en este trabajo son: textura, olor, sabor y color.

En la Tabla 10, se muestran las variables dependientes tecnológicas y sensoriales de la investigación.

**Tabla 10.**

*Variables dependientes de evaluación de las formulaciones de los extruidos.*

<b>Variabes dependientes</b>	
<b>Características tecnológicas</b>	<b>Características sensoriales</b>
Volumen específico	
Índice de absorción de agua (WAI)	Color
Índice de solubilidad en agua (WSI)	Olor
Índice de expansión	Textura
	Sabor

Con base en el diseño experimental seleccionado, específicamente el Diseño D-óptimo el cual es un diseño adecuado cuando existe restricciones en la proporción de los componentes de la mezcla; y considerando las condiciones previamente establecidas, se elaboró una matriz experimental conformada por 14 formulaciones distintas, las cuales se presentan en la Tabla 11.

**Tabla 11.**

*Formulaciones del diseño experimental (Diseño D-óptimo) para la elaboración de extruidos.*

Formulaciones	Componentes		
	A: Harina de arroz (%)	B: Harina de Maíz morado (%)	C: Harina de torta de Chía (%)
1	70	25	5
2	70	15	15
3	70	20	10
4	75	15	10
5	65	25	10
6	75	20	5
7	65	20	15
8	75	17.5	7.5
9	70	22.5	7.5
10	70	20	10
11	70	20	10
12	65	25	10
13	65	20	15
14	70	15	15

**Fuente:** Design Expert v.7.0

### 3.5. Análisis Estadístico

Se empleó el software Design Expert v.7.0. para procesar los datos experimentales de las 14 formulaciones, considerando variables tecnológicas y sensoriales. Se desarrollaron los modelos de regresión, se efectuó el análisis de varianza (ANOVA) y se evaluó la significancia estadística de los coeficientes, empleando un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ . Además, se obtuvo gráficos de superficie respuesta tridimensional y gráfico de contorno para brindar una mejor explicación del efecto de los ingredientes de la mezcla sobre las variables. La optimización de la formulación se realizó a través de la función deseabilidad del Software Design Expert v.7.0. Se optimizaron las variables respuestas que mostraron significancia estadística ( $p < 0.05$ ), el objetivo se definió como la maximización de las siguientes variables: IE, Volumen específico, Textura y sabor. La formulación óptima fue aquella que presentó mayor valor de deseabilidad global.



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. Análisis químico proximal del grano de Arroz, Maíz Morado y semillas de Chía

Se llevó a cabo la caracterización químico proximal de las materias primas: grano de arroz, Maíz morado y semillas de Chía; evaluando lo siguiente: humedad, grasa, fibra, proteínas, ceniza y carbohidratos.

#### 4.1.1. Grano de Arroz

En la tabla 12 se muestran los resultados de la composición porcentual del grano de arroz.

**Tabla 12.**

*Composición proximal del grano de arroz por cada 100 gr.*

<b>Componentes</b>	<b>(%)</b>
Humedad	12.21 ± 0.07
Proteína	8.67 ± 0.05
Grasa	0.73 ± 0.02
Cenizas	0.20 ± 0.003
Fibra Dietaria	0.94 ± 0.02
Carbohidratos	77.02 ± 0.07

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

En la Tabla 12 se muestran los valores porcentuales de cada componente químico presente en la estructura del grano de arroz. Se determinó un valor para la humedad de 12.21%, este valor es apropiado para el correcto almacenamiento del grano, ya que, según Sánchez et al., (2020) el grano de arroz debe mantener una humedad inferior a 13%, de esta manera se previene el desarrollo de microorganismos y se asegura su estabilidad durante el almacenamiento.

En cuanto a los valores obtenidos para la grasa (0.73%) y carbohidratos de (77.02%), son cercanos a los valores reportados en la Tabla Peruana de Composición de Alimentos del Instituto Nacional de Salud (INS) (2023) que indican 0.70% de grasa y 77.60% carbohidratos para el arroz blanco, lo cual confirma que el arroz es un alimento con alto contenido de almidón. Por otro lado, la muestra presentó un mayor contenido de proteína (8.67%) y un menor contenido de cenizas (0.2%) en la muestra analizada con respecto a los valores de referencia (7.80% y 0.5%, respectivamente) de dicha fuente. Sin embargo, More y Pérez (2019) indican que el valor proteico del arroz se encuentra dentro del rango

de 7-11% y depende de la variedad, condiciones de cultivo y tipo de procesamiento que se le da al grano. Asimismo, Peñafiel (2022) menciona que los valores de cenizas de los granos varían de acuerdo con su origen (condición de suelo de cultivo) y procesamiento.

Para la fibra dietaria se determinó un valor de 0.94% para el arroz analizado, este valor se encuentra dentro del rango de 0.5% - 2% reportado para el arroz blanco, según Lovegrove et al., (2019). Además, los autores mencionan que dicho contenido depende de la variedad y el grado de procesamiento del grano.

#### 4.1.2. Grano de Maíz morado

En la Tabla 13 se muestran los resultados de la composición porcentual del grano de Maíz morado.

**Tabla 13.**

*Composición proximal del grano de maíz morado por cada 100 gr:*

<b>Componentes</b>	<b>(%)</b>
Humedad	35.28 ± 0.07
Proteína	9.73 ± 0.11
Grasa	3.64 ± 0.23
Cenizas	1.09 ± 0.06
Fibra Dietaria	2.95 ± 0.05
Carbohidratos	47.31 ± 0.68

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

En la Tabla 13 se obtuvo un contenido para la humedad del grano entero de maíz morado de 35.28%, este valor es significativamente mayor al valor de humedad (11.40%) del grano de maíz morado reportado en la Tabla Peruana de Composición de Alimentos del (INS) (2023). Dicho valor se debe a que el grano entero aún se encuentra fresco después de la cosecha, presentando por ello un valor de humedad de 30-35%. Es fundamental reducir la humedad del grano a valores inferiores a 14% para lograr un adecuado almacenamiento, para ello se ejecuta un proceso de secado natural de 30 a 45 días (Medina, 2022).

Respecto al contenido de proteína, se determinó un valor de 9.73%, el cual se encuentra dentro del rango esperado para maíces nativos andinos. Este valor es ligeramente superior al reportado por el INS (2023) para maíz morado seco (8.8%), y puede atribuirse a

diferencias varietales, de suelo, clima y técnicas agrícolas, factores que afectan el contenido proteico de los cereales. Las variedades pigmentadas de maíz, como el morado, pueden presentar niveles moderadamente superiores de proteínas respecto a variedades comerciales blancas o amarillas, debido a su menor grado de domesticación y mayor contenido de aleurona (Valderrama, 2019).

En lo que respecta al contenido de grasa y cenizas, se determinaron valores de 3.64% y 1.09%, respectivamente. Ambos resultados son inferiores a los reportados por Naigua (2023), quien encontró 5.54% de grasa y 2.4% de cenizas para la misma materia prima. Por otro lado, según la Tabla Peruana de Composición de Alimentos del (INS) (2023), el grano de maíz morado presenta un contenido de grasa (3.40%) ligeramente inferior y un contenido superior de cenizas (1.70%), con respecto a los valores del presente estudio. Estos valores se encuentran dentro de lo esperado para granos enteros que aún contienen el germen intacto. La fracción lipídica en el maíz está concentrada mayormente en el embrión, por lo que el tipo de procesamiento influye directamente en su cuantificación (Huesa, 2021).

En cuanto a los carbohidratos, se determinó un contenido de 47.31%, valor considerablemente inferior al 86.20% reportado por Serna (2022) y notablemente inferior al valor de 74% reportado en la Tabla Peruana de Composición de Alimentos (INS, 2023 para maíz morado sin coronta. Esta diferencia puede explicarse principalmente por el elevado contenido de humedad de la muestra analizada, lo cual diluye proporcionalmente el valor relativo de los macronutrientes (Arévalo, 2017). Por otro lado, el contenido de fibra dietaria fue de 2.95%, superando ampliamente el 0.51% encontrado por Tinoco Acuña (2024) y ligeramente superior al valor de 2.15% reportado por Shah *et al.*, (2015, citado en Apace, 2022), esta diferencia se debe a factores de cultivo como clima, tipo de suelo, etc. El valor encontrado resalta el aporte funcional del producto desarrollado en este estudio.

### 4.1.3. Semillas de Chía

En la Tabla 14 se muestran los resultados de la composición porcentual de la semilla de Chía.

**Tabla 14.**

*Composición proximal de las semillas de chía por cada 100 gr.*

Componentes	(%)
Humedad	8.06 ± 0.08
Proteína	21.66 ± 0.11
Grasa	30.23 ± 0.01
Cenizas	4.52 ± 0.07
Fibra Dietaria	32.86 ± 0.07
Carbohidratos	2.66 ± 0.17

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

El análisis proximal realizado determinó que el contenido de humedad de las semillas de chía fue de 8.06%, valor que concuerda con los niveles esperados para este tipo de oleaginosa. Según la Tabla Peruana de Composición de Alimentos (INS, 2017), la semilla de chía entera presenta una humedad de 7.7%, lo cual garantiza su estabilidad y adecuada conservación durante el almacenamiento.

Con respecto al contenido de proteínas, se obtuvo un valor de 21.66%, el cual se encuentra por encima del 19.90% de proteína del INS (2023). Por otro lado, García *et al.*, (2017) reportó un valor de 25.32% de contenido proteico para esta semilla, dicho valor posiciona a la chía como uno de los granos que más proteínas contiene y dicho contenido varía dependiendo de la variedad y el origen. Además, en la tabla 14 se determinó un valor de 30.23% para el contenido de grasa, este valor es similar al 30.22% encontrado por García *et al.*, (2017) para semillas de chía y cercano al 32.5% reportado en las tablas peruanas de alimentos del INS (2023). Por tanto, el valor obtenido en este estudio está dentro del rango esperado y confirma el alto potencial nutricional de la chía como fuente de lípidos saludables. Por otro lado, es importante tener en cuenta que un alto porcentaje de grasa interfiere con el proceso de gelatinización del almidón durante la extrusión, ya que recubre los gránulos e impide la absorción de agua por parte del almidón, reduciendo así el índice de expansión del extruido (Dirind, 2024).

El análisis de cenizas, indicador del contenido mineral total, arrojó un valor de 4.52%, ligeramente superior al 4.30% reportado por Peña y Nieves (2018). Este resultado es cercano a lo reportado (4.6% de cenizas) en la Tabla Peruana de Composición de Alimentos. Con todo ello, se afirma que el valor encontrado en el presente estudio se encuentra dentro del rango esperado según diversos estudios.

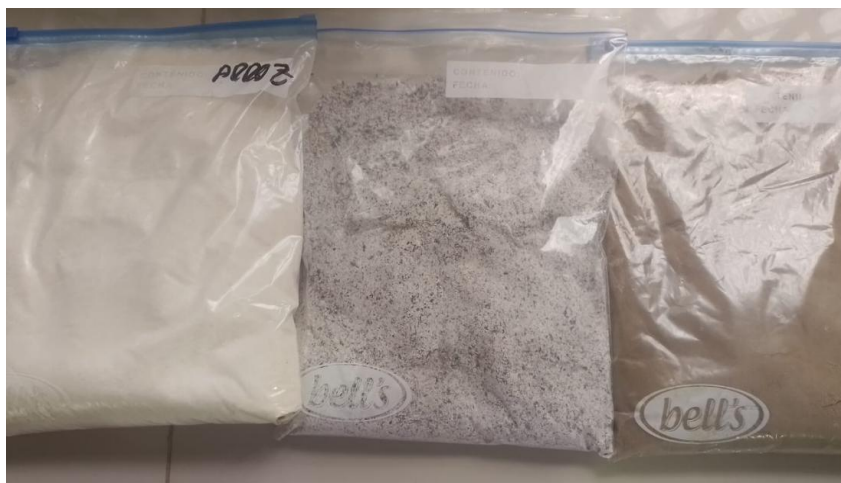
Las semillas de chía analizadas presentaron un contenido de fibra dietaria de 32.86%. Este valor es inferior al valor de 41.4% encontrado por Michajluk et al., (2018), pero superior al 30.10% reportado en el INS (2023). Por lo tanto, el valor encontrado se encuentra dentro del rango esperado y respalda el papel de la chía como un alimento que contribuye significativamente a la regulación del tránsito intestinal. Con respecto al contenido de carbohidratos disponibles se encontró un valor de 2.66%, este valor es inferior al 5.20% reportado en la tabla peruanas de alimentos del INS (2023). Por tanto, se puede afirmar que la chía se caracteriza precisamente por su bajo contenido en carbohidratos digeribles, lo que favorece su consumo en dietas con bajo índice glucémico (Suárez, 2021).

#### **4.2. Obtención de las harinas de Arroz, harina de Maíz Morado y harina de torta desgrasada de Chía.**

Se llevó a cabo los procesos de obtención de las harinas de arroz, maíz morado y de torta desgrasada de chía, siguiendo las etapas descritas en la Figura 7, 8 y 9, respectivamente. Para la obtención de las harinas de arroz, maíz morado y torta de chía, se obtuvo rendimientos de 95%, 44% y 52.5%, respectivamente. En la Figura 25 se aprecia las harinas obtenidas.

#### **Figura 25.**

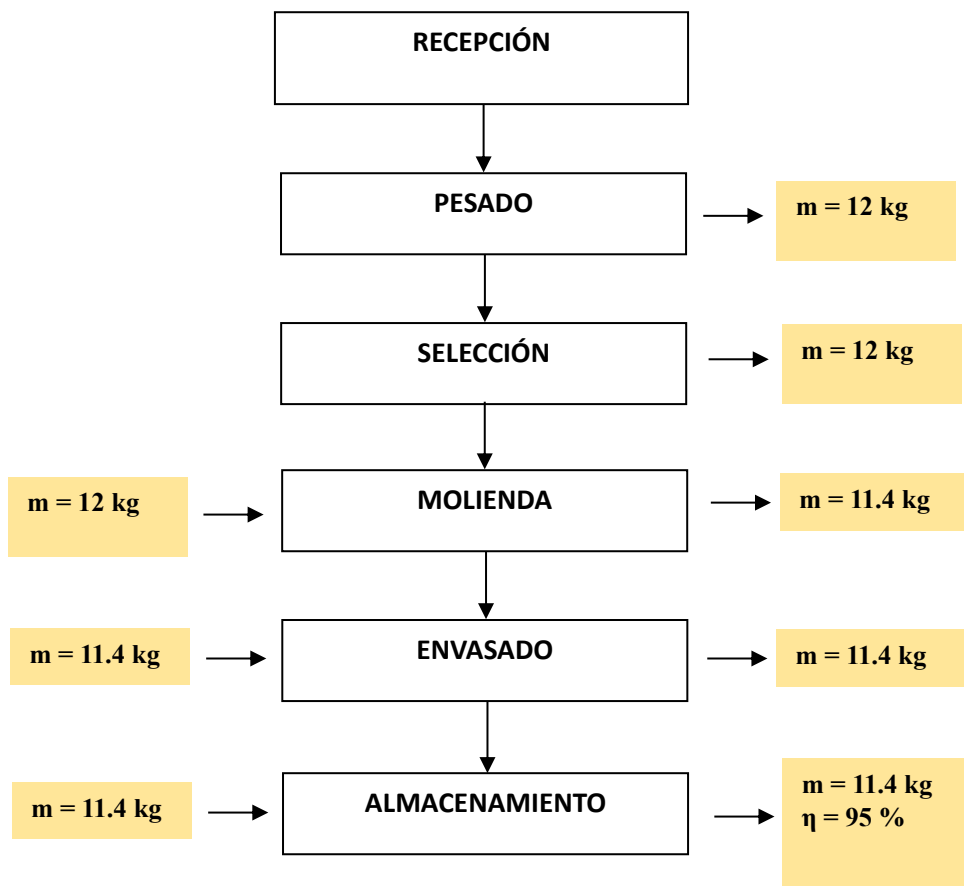
*Harinas de arroz, maíz morado y torta desgrasada de chía obtenidas.*



En la Figura 26 se presenta el balance de materia correspondiente al proceso de obtención de harina de arroz, el cual permitió obtener un rendimiento de 95%, lo cual indica una alta eficiencia. La etapa del proceso en donde se aprecia pérdida de masa fue la molienda. En el Anexo 1 se muestran imágenes detalladas del proceso de obtención de harina de arroz.

**Figura 26.**

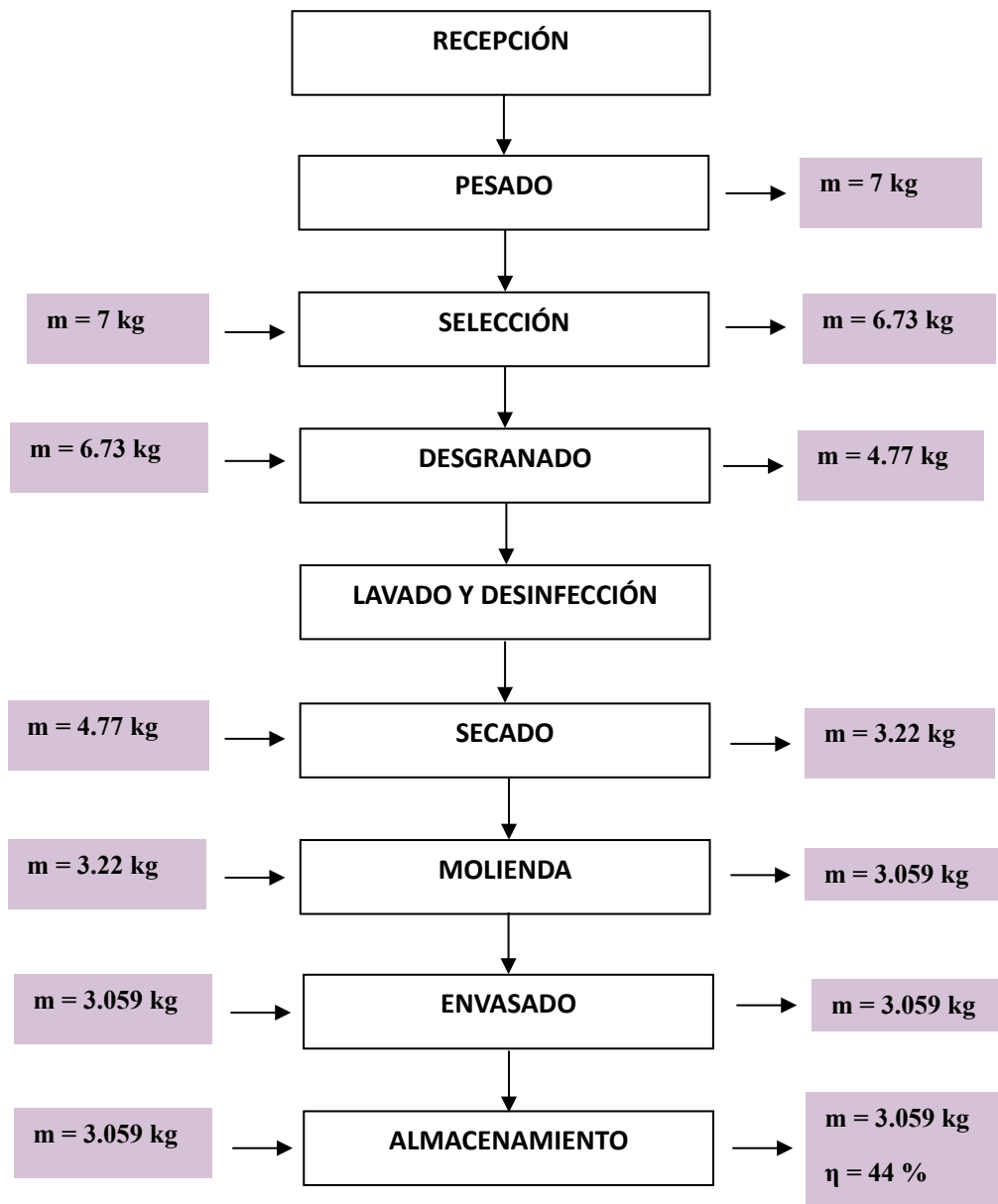
*Balance de materia del proceso de obtención de harina de arroz.*



En la Figura 27 se presenta el balance de materia correspondiente al proceso de obtención de harina de maíz morado, el cual permitió obtener un rendimiento de 44%. Las etapas del proceso en donde se aprecia pérdida de masa fueron la selección, desgranado, secado y la molienda. En el Anexo 2 se muestran imágenes detalladas del proceso de obtención de harina de maíz morado.

**Figura 27.**

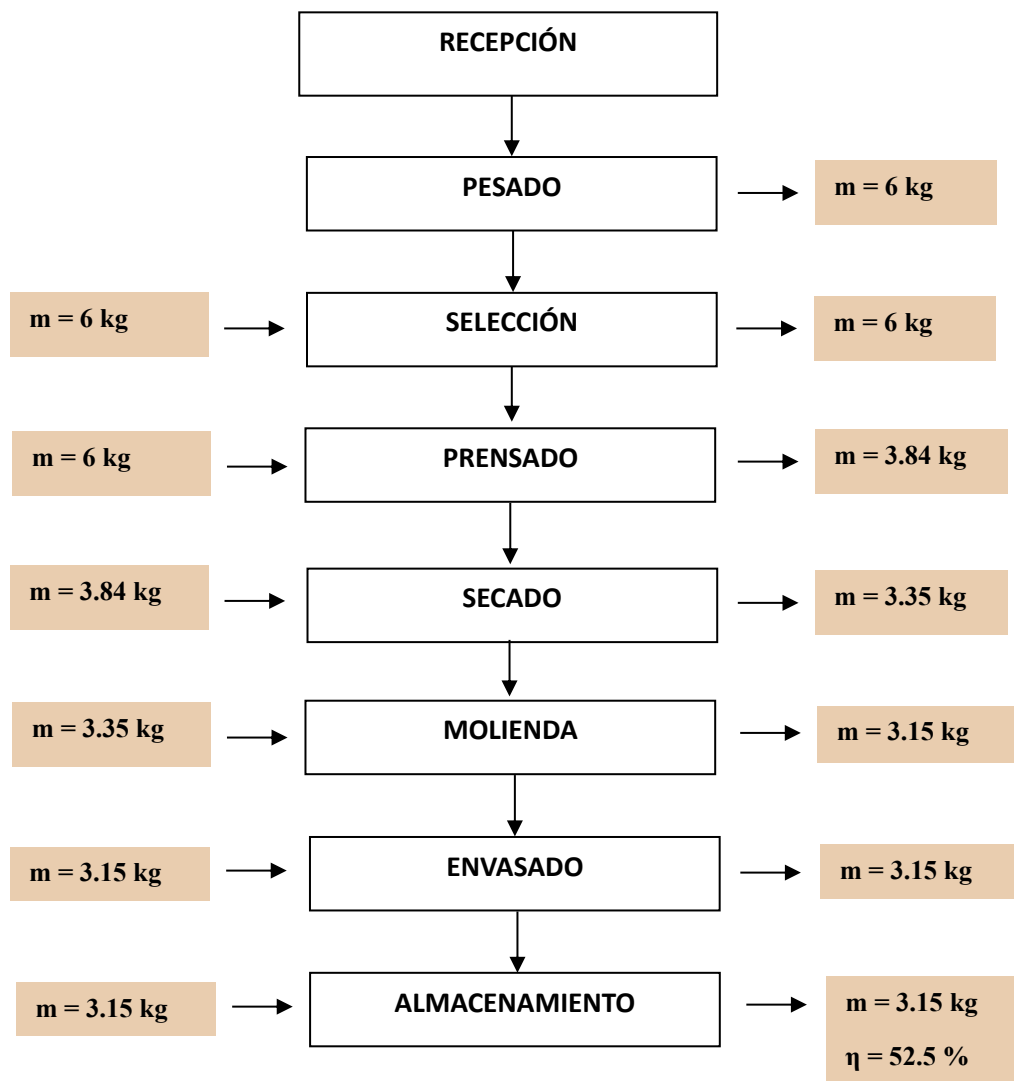
*Balance de Materia del proceso de obtención de harina de maíz morado.*



En la Figura 28 se presenta el balance de materia correspondiente al proceso de obtención de harina de torta desgrasada, el cual permitió obtener un rendimiento de 52.5%. Las etapas del proceso en donde se aprecia pérdida de masa fueron prensado, secado y la molienda. En el Anexo 3 se muestran imágenes detalladas del proceso de obtención de harina de torta desgrasada de Chía.

**Figura 28.**

*Balance de materia del proceso de obtención de harina de torta desgrasada de chía.*





### 4.3. Análisis químico proximal de la harina de Arroz, harina de Maíz Morado y harina de torta desgrasada de Chía

Se llevó a cabo la caracterización químico proximal por triplicado de las harinas: de arroz, Maíz morado y torta desgrasada de Chía; evaluando lo siguiente: humedad, grasa, fibra, proteínas, ceniza y carbohidratos.

#### 4.3.1. Harina de Arroz

En la tabla 15 se muestran los resultados de la composición porcentual de la harina de arroz.

**Tabla 15.**

*Composición proximal de la harina de arroz por cada 100 gr.*

<b>Componentes</b>	<b>(%)</b>
Humedad	11.93 ± 0.10
Proteína	8.66 ± 0.10
Grasa	0.64 ± 0.01
Cenizas	0.26 ± 0.01
Fibra Dietaria	0.93 ± 0.02
Carbohidratos	77.58 ± 0.06

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

El análisis proximal de la harina de arroz reveló un contenido de humedad de 11.93%, este valor es similar al 11.26% reportado por Laureano y Avellaneda (2018), e inferior al 14 % de humedad máximo permitido por la NTP.205.011.2014, con ello se garantiza el correcto almacenamiento del producto.

Respecto al contenido de proteína, se determinó un valor de 8.66%, cifra que representa una fuente moderada de proteínas de origen vegetal. Este resultado es cercano al 8.85% reportado por Laureano y Avellaneda (2018) y superior al 7% reportado por Palacios *et al.*, (2021) quienes, además, confirman la utilidad nutricional, especialmente en formulaciones libres de gluten. Por tanto, el valor encontrado se encuentra dentro del rango esperado. En cuanto al contenido de grasa se determinó un valor de 0.64%, este valor es superior al 0.34% reportado por Ortega y Bravo (2017), pero inferior al 1.62% escrito por Laureano y Avellaneda (2018) quienes afirman que la harina de arroz presenta bajo aporte de lípidos, lo cual la hace apropiada para dietas con restricción de grasas.

Asimismo, los valores obtenidos en la Tabla 15 para el contenido de fibra dietaria (0.93%) y carbohidratos (77.58%) son similares a los reportados por Ortega y Bravo (2017), quienes obtuvieron 0.95% de fibra y 79.03% de carbohidratos, respectivamente. En cuanto al contenido de cenizas (0.26%), este fue moderadamente inferior al valor de 0.37% reportado por los mismos autores. Por otro lado, Duarte y Cruz (2024) determinaron un contenido de 68.69% de carbohidrato para la harina de arroz, los autores mencionan que el arroz funciona como sustituto de la harina de maíz en mezclas de productos para extrusión, debido a su gran contenido de carbohidratos.

#### 4.3.2. Harina de Maíz Morado

En la Tabla 16 se muestran los resultados de la composición porcentual de la harina de maíz morado.

**Tabla 16.**

*Composición proximal de la harina de maíz morado por cada 100 gr.*

<b>Componentes</b>	<b>(%)</b>
Humedad	11.44 ± 0.28
Proteína	11.64 ± 0.05
Grasa	4.04 ± 0.06
Cenizas	1.75 ± 0.03
Fibra Dietaria	8.37 ± 0.07
Carbohidratos	62.75 ± 0.14

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

En la Tabla 16 se aprecia un valor porcentual de 11.44% para la humedad de la harina de maíz morado, dicho valor concuerda con lo reportado en la Tabla Peruana de Composición de alimentos 2017 el cual es de 11.4% de humedad para la harina de maíz morado, este valor garantiza una estabilidad adecuada durante el almacenamiento.

Con respecto al contenido de proteína se encontró un valor de 11.64% en la muestra analizada. Este valor es superior a lo reportado por Barrionuevo y Castro (2025) y el Instituto Nacional de Salud (INS) (2023) quienes reportaron valores de 9.97% y 8.50%, respectivamente, para la harina de maíz morado. Según Cedeño (2013, citado en Morales y Muñoz, 2020), el valor proteico de esta harina se encuentra en un rango de 7 – 10%.

Por lo tanto, el ligero aumento en el porcentaje de proteína obtenido en nuestra harina analizada se podría atribuir a factores como la variedad del maíz, condiciones de cultivo o método de procesamiento.

En cuanto al valor obtenidos para la grasa (4.04%) es muy cercano a lo reportado por el Instituto Nacional de Salud (INS) (2023) el cual fue de 4.20%. Asimismo, Barrionuevo y Castro (2025) determinaron un contenido de grasa ligeramente superior, de 4.8% en su análisis de harina de maíz morado. Estos resultados evidencian que el contenido de grasa se encuentra en baja proporción en la harina de maíz morado y que se ve influenciada por el tipo de molienda y procesamiento (Morales y Muñoz, 2020).

En cuanto al contenido de cenizas en la Tabla 16 se observa un valor de 1.75%, dicho valor concuerda con el valor de cenizas (1.7%) para harina de maíz morado reportado en las tablas peruanas de alimentos por el INS (2023). Por otro lado, Morales y Muñoz (2020) reportaron un valor ligeramente inferior, de 1.45% para el contenido de cenizas del mismo producto. Estos resultados indican que el contenido de cenizas en la harina de maíz morado se encuentra dentro del rango esperado según la literatura científica.

Referente al porcentaje de fibra dietaria es de 8.37%, de la misma manera, Morales y Muñoz (2020) reportaron un valor ligeramente inferior para fibra dietaria de 8.17%. Por otro lado, se reporta en las Tablas peruanas de alimentos (2023) un valor de 9.80% de fibra dietaria para el mismo producto; con todos esos datos se puede concluir que nuestro valor se encuentra dentro del rango esperado y presenta un contenido importante de fibra. Además el contenido de Fibra dietaria varía según origen genético y variedad del maíz.

Por otro lado, se obtuvo un valor de 62.75% para el carbohidrato, dicho valor es cercano al valor de 64.50% reportado en las Tablas peruanas de alimentos (2023). Estos datos evidencian a la harina de maíz morado como una materia prima rica en carbohidratos y adecuada para procesos de extrusión debido a su alto contenido en almidón (Ramírez *et al.*, 2017).

### 4.3.3. Harina de torta desgrasada de Chía

En la Tabla 17 se muestran los resultados de la composición porcentual de la harina de torta desgrasada de chía.

**Tabla 17.**

*Composición proximal de la harina de torta desgrasada de chía por cada 100 gr.*

<b>Componentes</b>	<b>(%)</b>
Humedad	5.79 ± 0.02
Proteína	37.31 ± 0.07
Grasa	7.34 ± 0.10
Cenizas	6.03 ± 0.06
Fibra Dietaria	38.50 ± 0.44
Carbohidratos	5.02 ± 0.45

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

En la Tabla 17 se observa los resultados del análisis proximal de la harina de torta desgrasada de chía, se observa 5.79% de humedad, 37.31% de proteína, 7.34% de grasa, 6.03 de cenizas, 38.50 de Fibra dietaria y 5.02% de carbohidratos. Asimismo, Ortega y Bravo (2017), reportaron valores de humedad (4.02%), Proteína (22.39%), ceniza (5.39%), grasa (7.83%), carbohidratos (21.10%) y Fibra (38.71%) para la misma harina. Por otro lado, Espinosa (2017) encontraron valores de humedad (6.84%), grasas (7.40%), proteína (27.02%) y cenizas (5.95%). Estos estudios confirman que los valores de humedad, fibra, grasa y cenizas se encuentran dentro del rango esperado y que la variabilidad de los resultados se debe a condiciones como origen y variedad.

En cuanto al alto contenido de proteína el autor Espinosa (2017) menciona que la harina de chía desgrasada concentra más sus componentes sólidos debido a la extracción de aceite, especialmente el contenido de proteína y fibra, esto eleva el porcentaje relativo de dichos componentes en comparación con la semilla entera.

Por otro lado, el bajo contenido de carbohidratos disponibles presente en la harina desgrasada de chía se debe a su elevado contenido de fibra dietaria. Además, este bajo contenido de carbohidratos influye significativamente en el proceso de extrusión ya que, reduce la disponibilidad de almidón para su gelatinización durante la extrusión, dando como resultado productos con bajo índice de expansión (León et al., 2019); por ello es importante acompañar la mezcla con harinas que contengan alto contenido de almidón.

#### 4.4. Elaboración de snacks extruidos según diseño experimental.

Se elaboró los snacks extruidos a base de harina de arroz, maíz morado y torta de chía de acuerdo con los 14 tratamientos del diseño experimental, dicho proceso se llevó a cabo en el IITA de la Universidad Nacional del Santa, se utilizó un extrusor de doble tornillo y se controló parámetros importantes como caudal de agua, temperatura y velocidad de tornillo. En la Figura 29, se muestran las 14 formulaciones de snack extruidos obtenidos.

**Figura 29.**

*Snacks extruidos de harina de arroz, maíz morado y torta de chía elaboradas a partir de las 14 formulaciones del presente estudio.*



## 4.5. Evaluación tecnológica y sensorial de las 14 formulaciones

### 4.5.1. Evaluación de las propiedades tecnológicas

#### 4.5.1.1. Índice de expansión (IE)

En la Tabla 18 se muestran los resultados del índice de expansión (IE) correspondiente a los 14 tratamientos del presente estudio. Estos valores oscilan entre  $2.36 \pm 0.010$  y  $3.41 \pm 0.004$ ; los tratamientos que presentaron mayor índice de expansión corresponden a la F9 (A:70%, B:22.5%, C:7.5%) y F1 (A:70%, B:25%, C:5%) con valores de  $3.41 \pm 0.004$  y  $3.38 \pm 0.003$ , respectivamente.

Dichos resultados evidencian que un contenido alto de harina de arroz, con una proporción moderada de harina de maíz morado y baja de harina de torta de chía, favorecen la expansión del snack. Por otro lado, los tratamientos que presentaron menor índice de expansión corresponde a la F12 (A:65%, B:25%, C:10%) y F7 (A:65%, B:20% y C:15%) con valores de  $2.36 \pm 0.010$  y  $2.69 \pm 0.024$ , respectivamente. Se evidencia que al reducir la harina de arroz y aumentar el contenido de harina de torta de chía en la mezcla, el índice de expansión disminuye considerablemente.

**Tabla 18.**

*Valores del índice de expansión (IE) de los 14 tratamientos.*

Formulaciones	A: Harina de Arroz (%)	B: Harina de Maíz morado (%)	C: Harina de torta de Chía (%)	Índice de expansión (IE)
1	70	25	5	$3.38 \pm 0.003$
2	70	15	15	$3.29 \pm 0.003$
3	70	20	10	$3.25 \pm 0.015$
4	75	15	10	$3.28 \pm 0.010$
5	65	25	10	$2.86 \pm 0.008$
6	75	20	5	$3.24 \pm 0.002$
7	65	20	15	$2.69 \pm 0.024$
8	75	17.5	7.5	$3.10 \pm 0.006$
9	70	22.5	7.5	$3.41 \pm 0.004$
10	70	20	10	$3.24 \pm 0.045$
11	70	20	10	$3.30 \pm 0.047$
12	65	25	10	$2.36 \pm 0.010$
13	65	20	15	$2.88 \pm 0.011$
14	70	15	15	$3.33 \pm 0.008$

*Nota.* Los valores representan la media  $\pm$  DS (n=10)

En la Tabla 19 se observa el análisis de varianza de los modelos de regresión que describen el comportamiento de la variable respuesta: el índice de expansión (IE).

El modelo matemático seleccionado fue el modelo cuadrático, debido a que presentó significancia estadística ( $p < 0.05$ ) al 95% de nivel de confianza, con valores de coeficientes de determinación de  $R^2$  de 0.8400 y  $R^2$  ajustado de 0.7401. Estos valores indican que el modelo explica adecuadamente la variabilidad del IE en función de las proporciones de las harinas de arroz, maíz morado y torta de chíá

**Tabla 19.**

*Análisis de varianza de los modelos de regresión para el índice de expansión.*

Modelo	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F	p	$R^2$	$R^2$ – ajustado
Media	135.80	1	135.80				
Lineal	0.55	2	0.28	4.49	0.0375	0.4495	0.3494
Cuadrático	0.48	3	0.16	6.51	0.0154	0.8400	0.7401
Cúbico especial	0.014	1	0.014	0.55	0.4836	0.8516	0.7245
Cúbico completo	0.033	3	0.011	0.30	0.8271	0.8786	0.6056
Residual	0.15	4	0.037				
Total	137.03	14	9.79				

En la Tabla 20 se muestran los coeficientes del modelo de regresión cuadrática que describe el comportamiento del índice de expansión. De acuerdo con la Tabla 20 los coeficientes lineales individuales y el término de interacción entre la harina de arroz y la harina de maíz morado resultaron estadísticamente significativos ( $p < 0.05$ ).

El modelo cuadrático que describe el comportamiento del IE es expresado de la siguiente manera:

$$IE: 2.41 * A + 2.68 * B + 2.98 * C + 3.46 * A * B + 2.51 * A * C - 0.60 * B * C \dots (1)$$

**Tabla 20.**

*Coefficientes del modelo matemático aplicado al índice de expansión.*

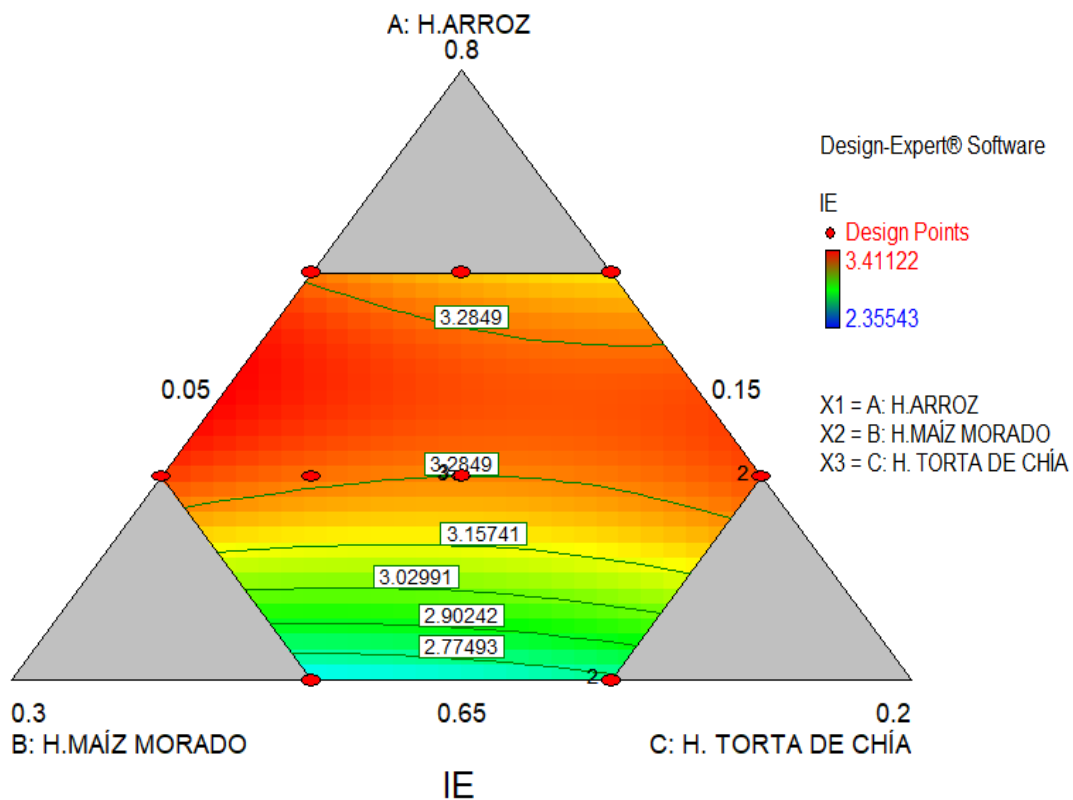
Componente	Coefficiente estimado	Error estándar	t (8)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
A-H. ARROZ	2.41	0.34	7.088	0.0001	1.61	3.20
B-H. MAÍZ MORADO	2.68	0.35	7.657	0.0001	1.87	3.49
C-H. TORTA DE CHÍA	2.98	0.32	9.313	0.0000	2.23	3.73
AB	3.46	1.11	3.117	0.0141	0.91	6.01
AC	2.51	1.12	2.241	0.0565	-0.088	5.10
BC	-0.60	1.15	-0.522	0.6141	-3.25	2.05

Los coeficientes del modelo cuadrático (Tabla 20) mostraron que los efectos lineales de las harinas de arroz, maíz morado y torta de chía, así como la interacción entre harinas de arroz y maíz morado, fueron estadísticamente significativos ( $p < 0.05$ ), indicando un efecto positivo sobre el índice de expansión (IE). En particular, esta interacción reveló un comportamiento sinérgico que favorece la expansión del extruido.

De forma similar, Verona (2022) reportó un mayor IE en formulaciones con grits de maíz (hasta 2.10), atribuido a su alto contenido de almidón. Sin embargo, la combinación con kiwicha germinada redujo la expansión. Ambos estudios destacan que la expansión depende tanto del contenido y disponibilidad de almidón como de las interacciones entre ingredientes, subrayando la necesidad de formulaciones equilibradas para optimizar esta propiedad.

**Figura 30.**

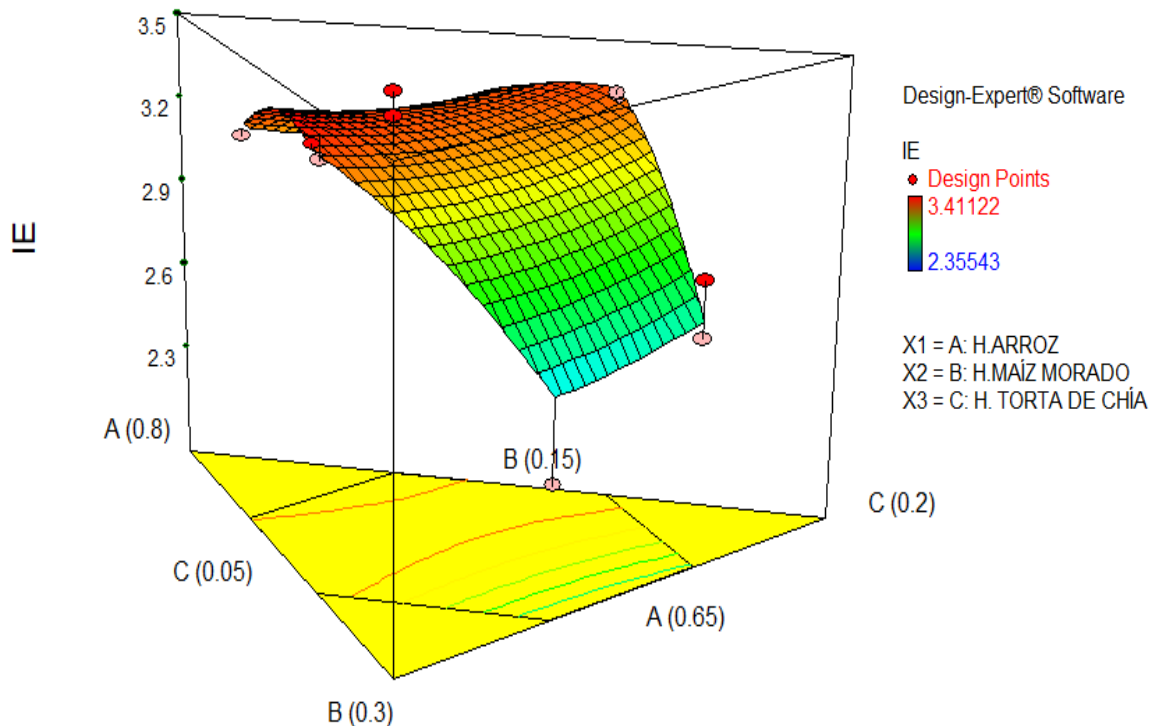
*Gráfico de contorno para la variable índice de expansión.*





**Figura 31.**

*Gráfico de superficie respuesta para la variable índice de expansión.*



A partir del modelo cuadrático ajustado se generaron las Figuras 30 y 31, correspondientes al gráfico de contorno y al gráfico de superficie de respuesta para la variable índice de expansión (IE). Ambas figuras muestran que las formulaciones con mayor proporción de harina de arroz y una proporción moderada de harinas de torta de chía y maíz morado alcanzaron los valores más altos de expansión (zonas rojas), lo cual se atribuye a la alta disponibilidad de almidón presente en el arroz y su eficaz capacidad de gelatinización durante el proceso de extrusión. Por otro lado, formulaciones con bajo contenido de harina de arroz (65%) son los que presentaron menor valor de índice de expansión (zona celeste).

El índice de expansión (IE) en este estudio osciló entre  $2.3554 \pm 0.0099$  y  $3.4112 \pm 0.0039$ , alcanzando sus valores máximos en formulaciones con mayor proporción de harina de arroz y menor contenido de torta de chía. De manera similar, Duarte y Cruz (2024) reportaron un IE máximo de 2.6050 en mezclas de arroz y maíz, mientras que extruidas con harina de maíz morado. En contraste, a medida que aumenta el porcentaje de torta de chía en la mezcla, el IE disminuye significativamente, debido al elevado contenido de fibra dietaria que interfiere con la expansión del producto. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Ramos (2024), quien también evidenció que

formulaciones con bajo contenido de harinas ricas en fibra y bajo aporte proteico favorecieron el índice de expansión relativo en botanas extruidas. Esto debido a que ingredientes con alto contenido de fibra, como la chía, tienden a reducir la expansión al interferir con la gelatinización del almidón. Este comportamiento resalta la importancia de emplear materias primas con alta disponibilidad y accesibilidad del almidón, como el arroz blanco. Según Gavilanes (2021), el arroz presenta un rendimiento de almidón del 66.59%, lo que favorece la formación eficiente de burbujas de vapor al momento de la extrusión, contribuyendo así a una mayor expansión del producto final. Asimismo, Lázaro y Sotelo (2017) mencionan que el contenido de almidón en las harinas afecta directamente al IE, principalmente por el % de amilopectina, ya que este compuesto genera productos con mayor expansión durante el proceso de extrusión. La amilopectina debido a su estructura ramificada favorece una mayor expansión durante la extrusión, ya que permite una mejor gelatinización y formación de burbujas de vapor que expanden el producto, generando productos con alto índice de expansión (Beech *et al.*, 2022).

#### **4.5.1.2. Volumen específico**

En la tabla 21 se muestran los resultados del volumen específico correspondiente a los 14 tratamientos del presente estudio. Estos valores oscilan entre  $8.47 \pm 0.185$  y  $13.43 \pm 0.068$ ; los tratamientos que presentaron los valores más altos de volumen específico fueron la F6 (A:75%,B:20%,C:5%), F4(A:75%,B:15%,C:10%) y F1(A:70%,B:25%,C:5%), con valores de  $13.43 \pm 0.068$  ml/g,  $13.24 \pm 0.239$  ml/g y  $13.09 \pm 0.087$  ml/g, respectivamente. Estos resultados evidencian que un contenido alto de harina de arroz y bajo contenido de harina de torta de chía, favorecen la formación de un producto más ligero y poroso.

Por otro lado, los tratamientos que presentaron menor volumen específico fueron F13 (A:65%,B:20%,C:15%), F7 (A:65%,B:20% y C:15%) y F5 (A:65%,B:25% y C:10%) con valores de  $8.47 \pm 0.185$  ml/g,  $9.98 \pm 0.038$  ml/g y  $10.24 \pm 0.055$ , respectivamente. Se evidencia que al reducir la harina de arroz y aumentar el contenido de harina de torta de chía en la mezcla, el volumen específico del snack se reduce considerablemente.

**Tabla 21.***Valores del volumen específico de los 14 tratamientos.*

Formulaciones	A: Harina de Arroz (%)	B: Harina de Maíz morado (%)	C: Harina de torta de Chía (%)	Volumen específico (ml/g)
1	70	25	5	13.09 ± 0.087
2	70	15	15	11.73 ± 0.099
3	70	20	10	12.56 ± 0.165
4	75	15	10	13.24 ± 0.239
5	65	25	10	10.24 ± 0.055
6	75	20	5	13.43 ± 0.068
7	65	20	15	9.98 ± 0.038
8	75	17.5	7.5	12.95 ± 0.394
9	70	22.5	7.5	12.65 ± 0.107
10	70	20	10	12.23 ± 0.040
11	70	20	10	12.13 ± 0.123
12	65	25	10	10.87 ± 0.038
13	65	20	15	8.47 ± 0.185
14	70	15	15	11.60 ± 0.055

*Nota.* Los valores representan la media ± DS (n=5)

En la Tabla 22 se observa el análisis de varianza de los modelos de regresión que describen el comportamiento de la variable respuesta: volumen específico (ml/g).

El modelo matemático seleccionado fue el modelo cuadrático, debido a que presentó significancia estadística ( $p < 0.05$ ) al 95% de nivel de confianza, con valores de coeficientes de determinación de  $R^2$  de 0.9436 y  $R^2$  ajustado de 0.9083 indicando un buen ajuste y capacidad predictiva. Aunque el modelo cúbico presentó un  $R^2$  ligeramente superior, no fue significativo ( $p > 0.05$ ), por lo que se descartó.

**Tabla 22.***Análisis de varianza de los modelos de regresión para el volumen específico.*

Modelo	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F	p	$R^2$	$R^2$ – ajustado
Media	1948.80	1	1948.80				
Lineal	22.83	2	11.41	29.86	0.0001	0.8445	0.8162
Cuadrático	2.68	3	0.89	4.69	0.0359	0.9436	0.9083
Cúbico especial	0.087	1	0.087	0.42	0.5368	0.9468	0.9012
Cúbico completo	0.095	3	0.032	0.095	0.9590	0.9503	0.8386
Residual	1.34	4	0.34				
Total	1975.83	14	141.13				

En la Tabla 23 se muestran los coeficientes del modelo de regresión cuadrática que describe el comportamiento del volumen específico. De acuerdo con la Tabla 23 los coeficientes lineales individuales y el término de interacción entre la harina de arroz y la harina de torta de chía resultaron estadísticamente significativos ( $p < 0.05$ ).

El modelo cuadrático que describe el comportamiento del volumen específico ( $v$ ) es expresado de la siguiente manera:

$$v: 12.58 * A + 12.10 * B + 8.18 * C + 3.93 * A * B + 9.11 * A * C - 1.14 * B * C \dots (2)$$

**Tabla 23.**

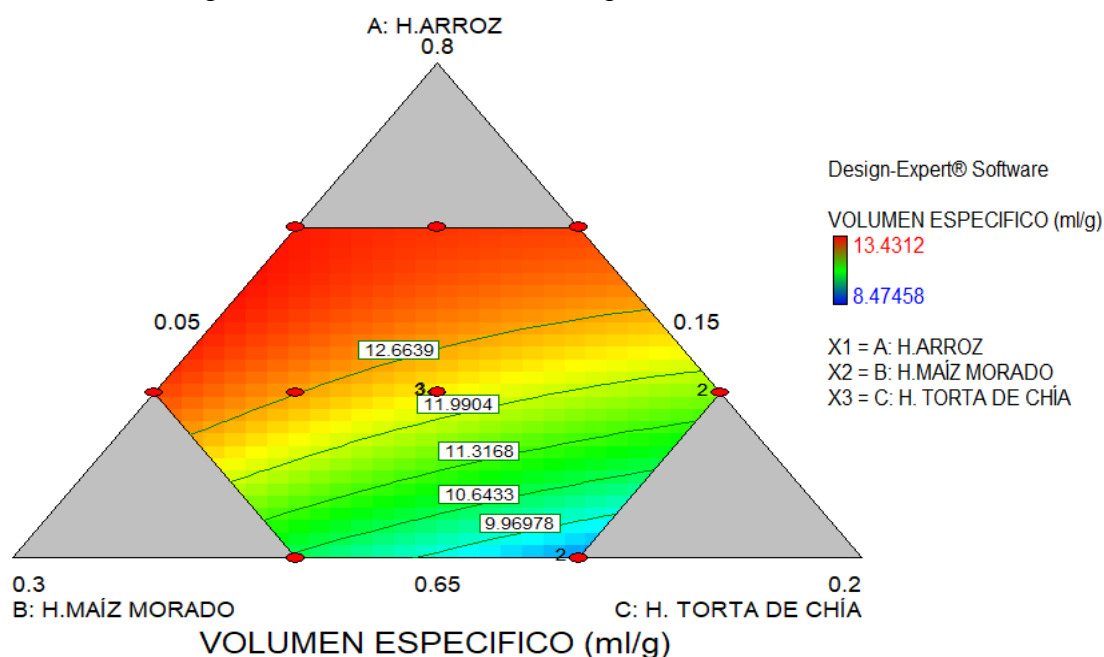
*Coefficientes del modelo matemático aplicado al volumen específico.*

Componente	Coefficiente estimado	Error estándar	t(8)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
<b>A-H. ARROZ</b>	12.58	0.96	13.104	0.0000	10.37	14.78
<b>B-H. MAÍZ MORADO</b>	12.10	0.98	12.347	0.0000	9.85	14.36
<b>C-H. TORTA DE CHÍA</b>	8.18	0.90	9.089	0.0000	6.11	10.26
<b>AB</b>	3.93	3.08	1.276	0.2381	-3.18	11.05
<b>AC</b>	9.11	3.14	2.901	0.0197	1.88	16.34
<b>BC</b>	-1.14	3.20	-0.356	0.7307	-8.53	6.25

Yupanqui (2023) menciona que los modelos matemáticos permiten interpretar con precisión la influencia de factores individuales e interactivos sobre variables tecnológicas, facilitando la predicción del comportamiento del producto.

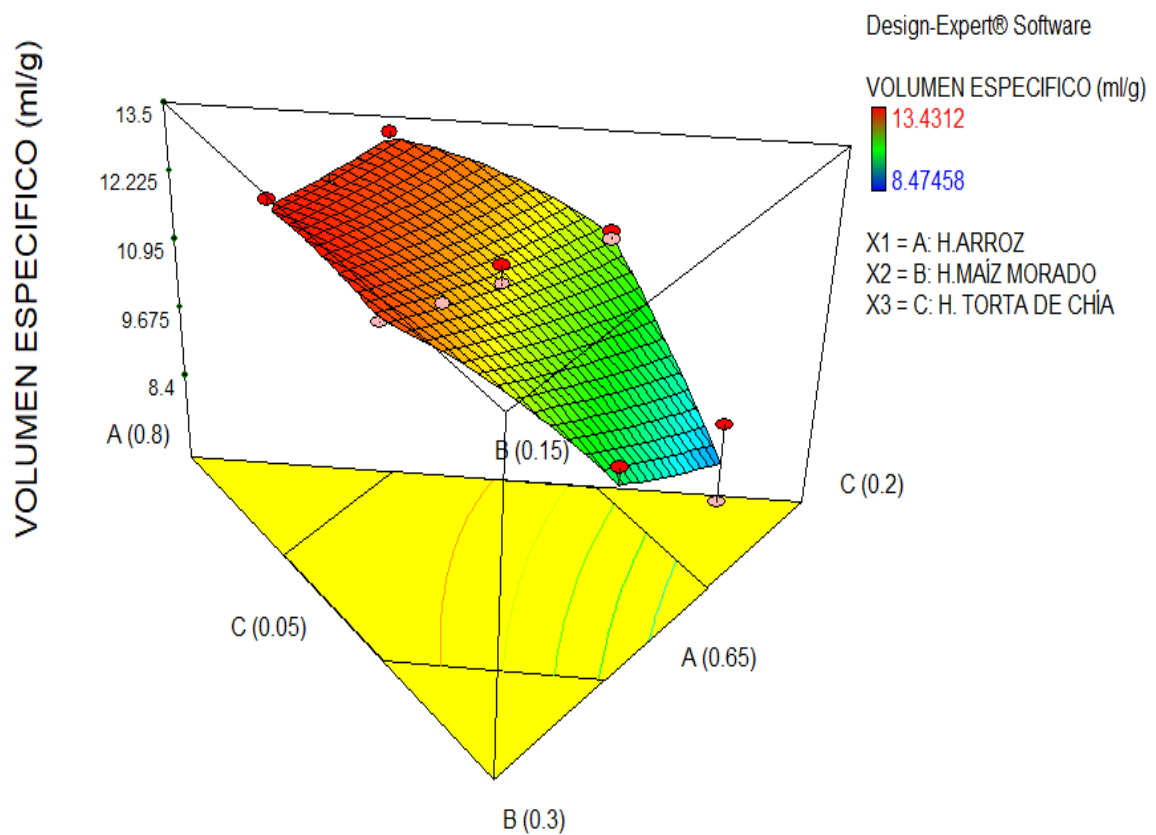
**Figura 32.**

*Gráfica de contorno para la variable volumen de expansión.*



**Figura 33.**

Gráfica de superficie respuesta para la variable volumen de expansión.



A partir del modelo cuadrático ajustado se generaron las Figuras 32 y 33, correspondientes al gráfico de contorno y al gráfico de superficie de respuesta para la variable volumen específico. Ambas representaciones confirman que las formulaciones con mayor proporción de harina de arroz, proporción moderada de harina de maíz morado y menor contenido de harina de torta de chía como la F6 (A:75%,B:20%,C:5%) y F1(A:70%,B:25%,C:5%) obtuvieron los valores más altos de volumen específico (zona roja) con valores de 13.43 ml/g y 13.09 ml/g, respectivamente. Por otro lado, las zona verde y celeste indica que formulaciones con bajo % de arroz tienden a presentar un bajo volumen específico. Este comportamiento se atribuye a la elevada disponibilidad de almidón en la harina de arroz, que favorece la gelatinización y la formación de estructuras más ligeras durante la extrusión. En contraste, al aumentar la proporción de harina de torta de chía, el Ve disminuye notoriamente debido al alto contenido de fibra dietaria, la cual limita la expansión del producto (Rodríguez, 2024).

La fibra experimenta gelatinización durante la extrusión como es el caso del almidón. La fibra absorbe agua y compite con el almidón, disminuyendo la disponibilidad de agua y afectando de manera negativa a la gelatinización del almidón, lo cual es fundamental para formar una estructura expandible y porosa en el producto final (Ek *et al.*, 2021). Kallu *et al.* (2017) observaron existe interacciones significativas entre las partículas de fibra y las moléculas de almidón durante la extrusión, lo cual influye en la expansión del volumen del producto. El encogimiento superficial del producto fue evidente a niveles elevados de fibra, esto sugiere que la fibra interfiere físicamente en la matriz de almidón, en parte debido a la competencia por el agua. De igual manera, Bravo & Ortega (2017), quienes elaboraron extruidos a base de harinas de arroz, quinua y torta desgrasada de chía, reportaron valores para el volumen específico en el rango de 8 ml/g (A: 40%, Q:45%, C:15%) a 12.82 ml/g (A: 50%, Q:40%, C:10%), evidenciando mayor volumen específico en la formulación con mayor contenido de arroz y menor contenido de torta de chía.

#### **4.5.1.3. Índice de solubilidad en agua (ISA)**

En la tabla 24 se muestran los resultados del índice de solubilidad en agua (ISA) correspondiente a los 14 tratamientos del presente estudio. Estos valores oscilan entre  $16.61 \% \pm 0.007$  y  $24.56 \% \pm 0.009$ ; los tratamientos que presentaron los valores más altos de ISA fueron la F4 (A:75%,B:15%,C:10%) y F11 (A:70%,B:20%,C:10%), con valores de  $24.56 \% \pm 0.009$  y  $23.60 \% \pm 0.007$ , respectivamente. Por otro lado, la F13 (A:65%,B:20%,C:15%) y F12 (A:65%,B:25%,C:10%) presentaron los valores más bajos de  $16.61 \% \pm 0.007$  y  $17.30 \pm 0.021$ , respectivamente.

Se observa que las formulaciones que contenían un alto porcentaje de harina de arroz y cantidades moderadas de harina de maíz morado y chía mostraron los mayores valores de índice de solubilidad en agua. Por el contrario, aquellas con niveles bajos de harina de arroz, niveles elevados de harina de maíz morado y chía registraron valores considerablemente más bajos, lo cual indicaría una menor ruptura del almidón durante la extrusión, posiblemente debido a la mayor presencia de compuestos no amiláceos los cuales interfieren con la ruptura térmica del almidón durante la extrusión.

**Tabla 24.**

Valores del índice de solubilidad en agua (ISA) de los 14 tratamientos.

Formulaciones	A: Harina de Arroz (%)	B: Harina de Maíz morado (%)	C: Harina de torta de Chía (%)	Índice de solubilidad en agua (%)
1	70	25	5	18.97 ± 0.012
2	70	15	15	19.07 ± 0.012
3	70	20	10	22.33 ± 0.045
4	75	15	10	24.56 ± 0.009
5	65	25	10	17.47 ± 0.010
6	75	20	5	20.13 ± 0.010
7	65	20	15	18.71 ± 0.012
8	75	17.5	7.5	22.55 ± 0.016
9	70	22.5	7.5	18.22 ± 0.008
10	70	20	10	23.17 ± 0.021
11	70	20	10	23.60 ± 0.007
12	65	25	10	17.30 ± 0.021
13	65	20	15	16.61 ± 0.007
14	70	15	15	20.58 ± 0.027

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

Los resultados de la Tabla 24 son comparables con los obtenidos por Bravo & Ortega (2017), quienes elaboraron extruidos a base de harinas de arroz, quinua y torta desgrasada de chía y reportaron valores para el ISA de 18.17 % a 30.11 %. Estos resultados están alineados con lo descrito por Ekielski *et al.* (2020), quienes explican que un ISA alto indica degradación del almidón y liberación de moléculas solubles, proceso favorecido por una mayor gelatinización y rompimiento de la estructura granular. El índice de solubilidad en agua (ISA) es un parámetro que determina la solubilidad de componentes degradados del almidón durante la extrusión (Verona, 2022). El ISA puede oscilar entre 16% y 46% en extruidos con alto contenido de almidón y está estrechamente relacionado al grado de gelatinización del almidón que ocurre durante el proceso de extrusión, la presencia de proteínas y grasas en el alimento extruido afectan negativamente dicho parámetro (Cuj-Laines *et al.*, 2018).

En la Tabla 25 se observa el análisis de varianza de los modelos de regresión que describen el comportamiento de la variable respuesta: índice de solubilidad en agua (ISA) de los snacks extruidos de harina de arroz, maíz morado y torta desgrasada de chía. En dicha Tabla se observa que ningún modelo matemático presentó un efecto estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ ), siendo los valores  $p$  de 0.0145, 0.0531, 0.7258 y 0.0810 para los modelos lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico completo, respectivamente; con lo que se evidencia que ninguna de las variables estudiadas, ni la interacción de estas presentaron un efecto significativo en el índice de solubilidad en agua (ISA).

**Tabla 25.**

*Análisis de varianza de los modelos de regresión para el índice de solubilidad en agua (ISA).*

Modelo	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F	p	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> – ajustado
Media	5731.77	1	5731.77				
Lineal	46.86	2	23.43	6.37	0.0145	0.5366	0.4523
Cuadrático	24.18	3	8.06	3.96	0.0531	0.8135	0.6970
Cúbico especial	0.30	1	0.30	0.13	0.7258	0.8170	0.6602
Cúbico completo	12.53	3	4.18	4.84	0.0810	0.9605	0.8715
Residual	3.45	4	0.86				
Total	5819.09	14	415.65				

#### 4.5.1.4. Índice de absorción de agua (IAA)

En la tabla 26 se muestran los resultados del índice de absorción de agua (IAA) correspondiente a los 14 tratamientos del presente estudio. Estos valores oscilan entre  $5.13 \pm 0.015$  y  $5.60 \pm 0.002$ ; los tratamientos que presentaron los valores más altos de índice de absorción de agua (IAA) fueron la F6 (A:75%,B:20%,C:5%), F8(A:75%,B:17.5%,C:7.5%) y F9(A:70%,B:22.5%,C:7.5%), con valores de  $5.60 \pm 0.002$ ,  $5.56 \pm 0.027$  y  $5.55 \pm 0.007$ , respectivamente.



Por otro lado, las formulaciones que menor valor de índice de absorción de agua (IAA) fueron la F1 (A:70%,B:25%,C:5%), F5 (A:65%,B:25%,C:10%) y F11 (A:70%,B:20%,C:10%), con valores de  $5.13 \pm 0.015$ ,  $5.14 \pm 0.009$  y  $5.16 \pm 0.016$ , respectivamente. Se evidencia que a mayor contenido de harina de arroz y menor contenido de harina de torta de chía favorece la IAA en el extruido, esto indica que en dichas formulaciones se dio una buena gelatinización del almidón.

**Tabla 26.**

*Valores del índice de absorción de agua (IAA) de los 14 tratamientos.*

Formulaciones	A: Harina de Arroz (%)	B: Harina de Maíz morado (%)	C: Harina de torta de Chía (%)	Índice de absorción de agua (g gel/ g muestra)
1	70	25	5	$5.13 \pm 0.015$
2	70	15	15	$5.30 \pm 0.008$
3	70	20	10	$5.29 \pm 0.010$
4	75	15	10	$5.31 \pm 0.003$
5	65	25	10	$5.14 \pm 0.009$
6	75	20	5	$5.60 \pm 0.002$
7	65	20	15	$5.27 \pm 0.009$
8	75	17.5	7.5	$5.56 \pm 0.027$
9	70	22.5	7.5	$5.55 \pm 0.007$
10	70	20	10	$5.44 \pm 0.017$
11	70	20	10	$5.16 \pm 0.016$
12	65	25	10	$5.27 \pm 0.013$
13	65	20	15	$5.36 \pm 0.023$
14	70	15	15	$5.39 \pm 0.015$

*Nota.* Los valores representan la media  $\pm$  DS (n=3)

Los resultados de IAA de la Tabla 26 concuerdan con datos bibliográficos de IAA para extruidos a base de harinas funcionales de origen vegetal como los reportados por Lázaro y Sotelo (2017), quienes reportaron valores de 5.55 g/g a 7.24 g/g para sus extruidos a bases de maíz, garbanzo y quinua. Así mismo, Bravo & Ortega (2017), reportaron valores para el IAA en el rango de 3.88 g/g F1 (A:50%, Q:40%,C:10%) y 5.23 g/g F9 (A:40%, 45%,C:15%), para extruidos a base de harinas de arroz, quinua y torta desgrasada de chía, evidenciando que a mayor contenido de harina de torta de chía en las formulaciones el IAA del extruido aumentaba. Se ha demostrado que la extrusión de mezclas ricas en fibras incrementa el volumen de la matriz del extruido y retienen agua en su estructura porosa,

esto junto con la gelatinización del almidón, mejoran la capacidad de absorción de agua de los extruidos resultantes (Cardoso, *et al.*, 2014). Además, el índice de absorción de agua aumenta con el procesamiento térmico y mecánico (Barrios *et al.*, 2024).

En la Tabla 27, se observa el análisis de varianza (ANOVA) de los modelos de regresión que describen el comportamiento de la variable respuesta: índice de absorción de agua (IAA) de los snacks extruidos de harina de arroz, maíz morado y torta desgrasada de chía. En dicha Tabla se observa que ningún modelo matemático presentó un efecto estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ ), siendo los valores  $p$  de 0.1525, 0.4484, 0.6415 y 0.2261 para los modelos lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico completo, respectivamente; con lo que se evidencia que ninguna de las variables estudiadas, ni la interacción de estas presentaron un efecto significativo en el índice de absorción de agua (IAA).

**Tabla 27.**

*Análisis de varianza de los modelos de regresión para el índice de absorción de agua (IAA).*

Modelo	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F	p	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> – ajustado
Media	399.40	1	399.40				
Lineal	0.088	2	0.044	2.24	0.1525	0.2896	0.1604
Cuadrático	0.058	3	0.019	0.98	0.4484	0.4808	0.1562
Cúbico especial	0.00518	1	0.00518	0.24	0.6415	0.4977	0.0672
Cúbico completo	0.096	3	0.032	2.24	0.2261	0.8125	0.3907
Residual	0.057	4	0.014				
Total	399.71	14	28.55				

## 4.5.2. Evaluación sensorial

### 4.5.2.1. Color organoléptico

En la Tabla 28 se muestran los resultados de la evaluación del color organoléptico correspondiente a los 14 tratamientos del presente estudio. Estos valores oscilan entre  $5.52 \pm 0.737$  y  $7.40 \pm 0.569$ ; los tratamientos que presentaron los valores más altos fueron la F6 (A:75%,B:20%,C:5%), y F9 (A:70%,B:22.5%,C:7.5%), con valores de  $7.40 \pm 0.569$  y  $7.34 \pm 0.483$ , respectivamente. Se evidencia que las formulaciones que presentaron alto contenido de harina de arroz, niveles moderados de harina de maíz morado y bajos de harina de torta de chía presentaron mayor aceptabilidad en cuanto al color organoléptico.

Por otro lado, las formulaciones que menor valor presentaron en cuanto al color organoléptico fueron la F8 (A:75%,B:17.5%,C:7.5%), F5 (A:65%,B:25%,C:10%) y F12 (A:65%,B:25%,C:10%), con valores de  $5.52 \pm 0.737$ ,  $5.54 \pm 0.127$  y  $5.56 \pm 0.350$ , respectivamente.

**Tabla 28.**

*Valores del color organoléptico de los 14 tratamientos.*

Formulaciones	A: Harina de Arroz (%)	B: Harina de Maíz morado (%)	C: Harina de torta de Chía (%)	Color organoléptico
1	70	25	5	$7.27 \pm 0.234$
2	70	15	15	$5.97 \pm 0.345$
3	70	20	10	$5.83 \pm 0.123$
4	75	15	10	$5.81 \pm 0.246$
5	65	25	10	$5.54 \pm 0.127$
6	75	20	5	$7.40 \pm 0.569$
7	65	20	15	$5.98 \pm 0.3412$
8	75	17.5	7.5	$5.52 \pm 0.737$
9	70	22.5	7.5	$7.34 \pm 0.483$
10	70	20	10	$5.87 \pm 0.223$
11	70	20	10	$7.26 \pm 0.457$
12	65	25	10	$5.56 \pm 0.350$
13	65	20	15	$6.09 \pm 0.745$
14	70	15	15	$6.11 \pm 0.568$

*Nota.* Los valores representan la media  $\pm$  DS (n=40)

Según Espinosa (2020), la evaluación del color se basa principalmente en la apariencia visual evaluada por el sentido de la vista del consumidor, el cual relaciona el color con otras propiedades del alimento, como, por ejemplo, el sabor; un color rojo se relaciona generalmente con la fresa.

Los resultados de la Tabla 29 muestran un rango de puntuación entre 5.52 y 7.40. Esto indica una aceptabilidad neutra o moderada para formulaciones de puntajes bajos y aceptabilidad buena para formulaciones con los puntajes más altos. Asimismo, las formulaciones que tuvieron mayor porcentaje de harina de maíz morado y bajo porcentaje de harina de torta de chía presentaron puntajes más altos como la F1(7.27), F6(7.40), F9 (7.34). En un estudio realizado por Valderrama *et al.*, (2021), se encontró que las formulaciones de snack extruido a base de quinua, maíz morado y kiwicha, que presentaron mayor contenido de maíz morado, presentan un color púrpura intenso, debido al gran contenido de antocianinas y formulaciones con menos contenido de maíz morado, presentaron colores más claros.

En la Tabla 30, se observa el análisis de varianza (ANOVA) de los modelos de regresión que describen el comportamiento de la variable respuesta: color organoléptico de los snacks extruidos de harina de arroz, maíz morado y torta desgrasada de chía. En dicha Tabla se observa que ningún modelo matemático presentó un efecto estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ ), con lo que se evidencia que ninguna de las variables estudiadas, ni la interacción de estas presentaron un efecto significativo en color organoléptico de los snacks extruidos del presente estudio.

**Tabla 29.**

*Análisis de varianza de los modelos de regresión para el color organoléptico.*

Modelo	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F	p	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> – ajustado
Media	547.60	1	547.60				
Lineal	1.60	2	0.80	1.70	0.2277	0.2359	0.0970
Cuadrático	2.86	3	0.95	3.29	0.0792	0.6578	0.4439
Cúbico especial	0.67	1	0.67	2.83	0.1362	0.7564	0.5476
Cúbico completo	0.67	3	0.22	0.92	0.5091	0.8556	0.5307
Residual	0.98	4	0.24				
Total	554.38	14	39.60				

#### 4.5.2.2. Sabor organoléptico

En la Tabla 30 se muestran los resultados de la evaluación del sabor organoléptico correspondiente a los 14 tratamientos del presente estudio. Estos valores oscilan entre  $5.69 \pm 0.344$  y  $6.74 \pm 0.158$  lo cual indica una aceptabilidad neutral para valores bajos y buena para valores altos; los tratamientos que presentaron los valores más altos respecto al sabor fueron la F6 (A:75%,B:20%,C:5%), F9 (A:70%,B:22.5%,C:7.5%) y F8 (A:75%,B:17.5%,C:7.5%) con valores de  $6.74 \pm 0.158$ ,  $6.53 \pm 0.612$  y  $6.29 \pm 0.786$ , respectivamente.

Por otro lado, las formulaciones que menor valor presentaron en cuanto al sabor organoléptico fueron la F2(A:70%,B:15%,C:15%), F14 (A:70%,B:15%,C:15%) y F4 (A:75%,B:15%,C:10%), con valores de  $5.69 \pm 0.344$ ,  $5.69 \pm 0.199$  y  $5.92 \pm 0.263$ , respectivamente. Se evidencia que las formulaciones que presentaron mayor contenido de harina de arroz y menor contenido de harina de torta de chía presentaron mejores puntajes en cuanto al análisis sensorial del sabor.

**Tabla 30.**

*Valores del sabor organoléptico de los 14 tratamientos.*

Formulaciones	A: Harina de Arroz (%)	B: Harina de Maíz morado (%)	C: Harina de torta de Chía (%)	Sabor organoléptico
1	70	25	5	$6.25 \pm 0.340$
2	70	15	15	$5.69 \pm 0.344$
3	70	20	10	$6.25 \pm 0.239$
4	75	15	10	$5.92 \pm 0.265$
5	65	25	10	$6.23 \pm 0.835$
6	75	20	5	$6.74 \pm 0.158$
7	65	20	15	$6.06 \pm 0.418$
8	75	17.5	7.5	$6.29 \pm 0.786$
9	70	22.5	7.5	$6.53 \pm 0.612$
10	70	20	10	$5.99 \pm 0.574$
11	70	20	10	$5.98 \pm 0.612$
12	65	25	10	$6.25 \pm 0.330$
13	65	20	15	$5.99 \pm 0.574$
14	70	15	15	$5.69 \pm 0.199$

*Nota.* Los valores representan la media  $\pm$  DS (n=40)

En la Tabla 31 se observa el análisis de varianza de los modelos de regresión que describen el comportamiento de la variable respuesta: sabor organoléptico. El modelo matemático seleccionado fue el modelo lineal, debido a que presentó significancia estadística ( $p < 0.05$ ) al 95% de nivel de confianza, con valores de coeficientes de determinación de  $R^2$  de 0.7841 y  $R^2$  ajustado de 0.7449.

**Tabla 31.**

*Análisis de varianza de los modelos de regresión para el sabor organoléptico.*

Modelo	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F	p	$R^2$	$R^2$ – ajustado
Media	507.27	1	507.27				
Lineal	1.20	2	0.60	19.98	0.0002	0.7841	0.7449
Cuadrático	0.095	3	0.032	1.08	0.4112	0.8463	0.7503
Cúbico especial	0.028	1	0.028	0.95	0.3617	0.8647	0.7488
Cúbico completo	0.100	3	0.033	1.25	0.4029	0.9302	0.7731
Residual	0.11	4	0.027				
Total	508.80	14	36.34				

En la Tabla 32 se muestran los coeficientes del modelo de regresión lineal que describe el comportamiento del sabor organoléptico. De acuerdo con la Tabla 32 todos los coeficientes del modelo matemático resultaron estadísticamente significativos ( $p < 0.05$ ).

El modelo lineal que describe el comportamiento del sabor organoléptico es expresado de la siguiente manera:

$$SABOR: 6.10 * A + 6.76 * B + 5.26 * C \dots (3)$$

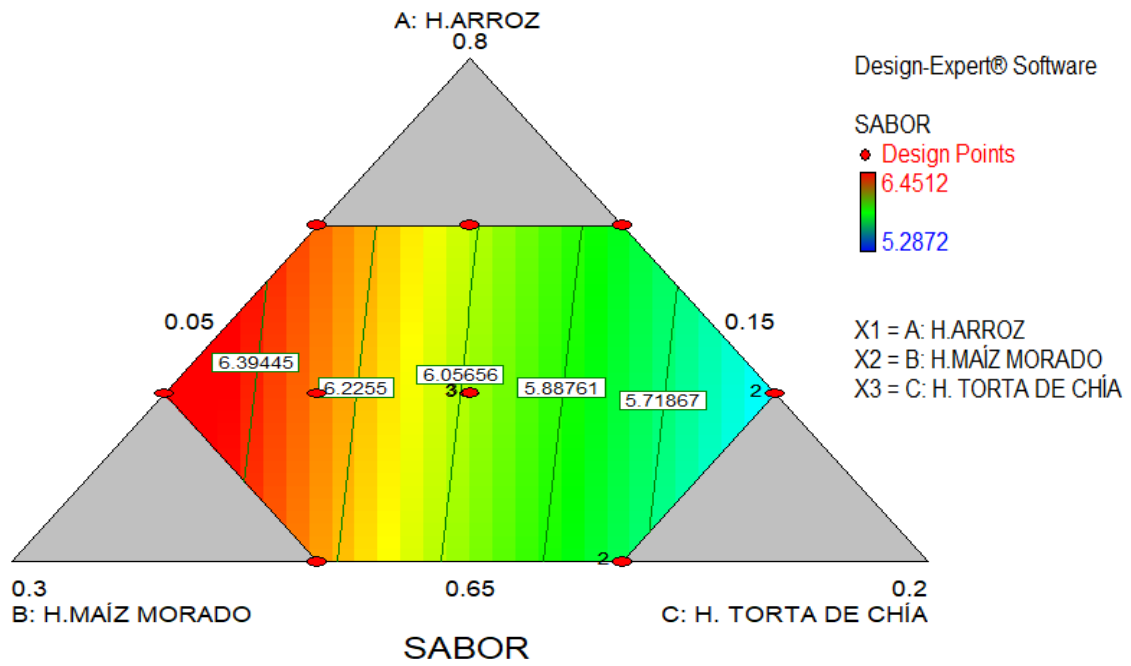
**Tabla 32.**

*Coefficientes del modelo matemático aplicado al sabor organoléptico.*

Componente	Coefficiente estimado	Error estándar	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
A-H. ARROZ	6.10	0.14	43.571	0.0000	5.79	6.42
B-H. MAÍZ MORADO	6.76	0.14	48.286	0.0000	6.44	7.08
C-H. TORTA DE CHÍA	5.26	0.14	37.571	0.0000	4.95	5.56

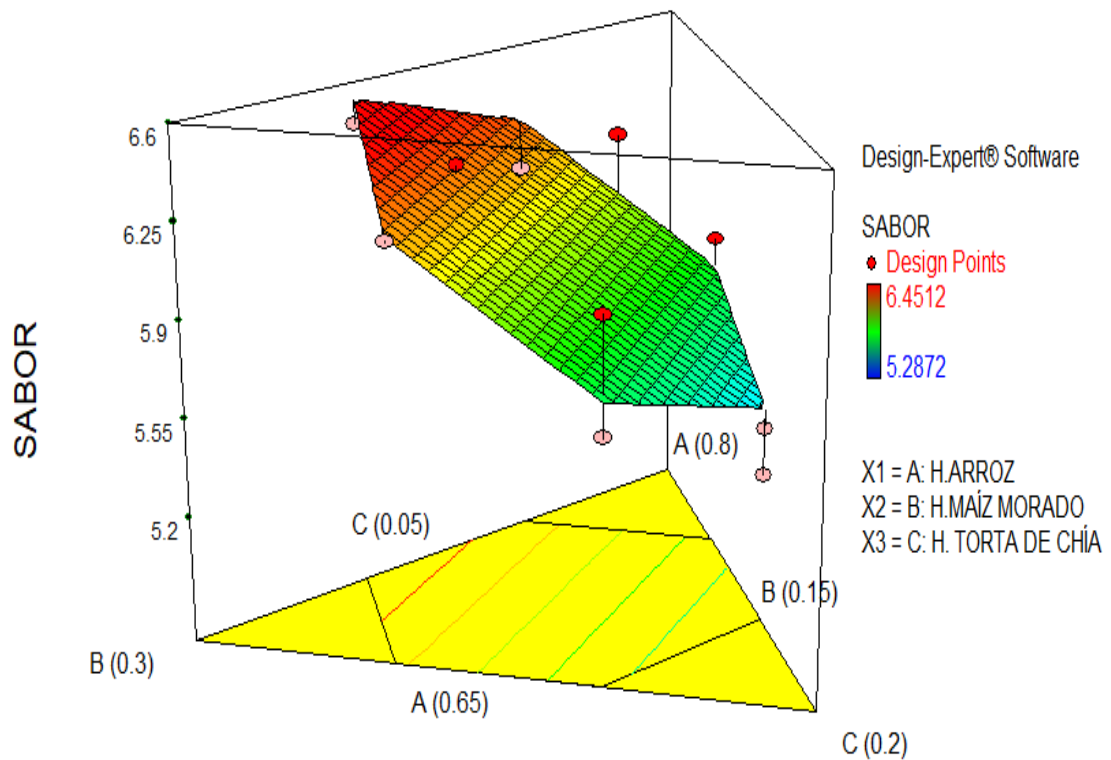
**Figura 34.**

*Gráfica de contorno para la variable sabor organoléptico.*



**Figura 35.**

*Gráfica de superficie respuesta para la variable sabor organoléptico.*



El sabor sensorial se define como las percepciones que se generan a partir del sentido del gusto, es decir a través de los receptores de la boca, sobre todo los que se encuentran en la lengua. Dichos receptores detectan y diferencian diversas sustancias químicas presente en los alimentos. Este análisis permite que el consumidor evalúe la aceptación del producto (Espinosa, 2020).

Del modelo lineal, se procedió a generar la gráfica de contorno y gráfica de superficie respuesta, Figura 34 y 35 respectivamente. En dichas figuras se observa el comportamiento de la variable sabor organoléptica sabor del snack extruido con respecto al porcentaje de harina de arroz, maíz morado y torta de chía empleadas en su elaboración. Se puede observar que las formulaciones con mayor proporción de harina de maíz morado y menor contenido de harina de torta de chía tuvieron la mejor aceptabilidad en cuanto al sabor (Zona roja). Por el contrario, cuando el porcentaje de harina de maíz morado disminuye y el de harina de torta de chía aumenta, el puntaje del sabor organoléptico de las formulaciones disminuye (zona verde-celeste), esto significa que existe una tendencia decreciente del sabor a medida que aumenta la proporción de harina de torta de chía en las formulaciones.

#### **4.5.2.3. Olor organoléptico**

En la Tabla 33 se muestran los resultados de la evaluación del Olor organoléptico correspondiente a los 14 tratamientos del presente estudio. Estos valores promedio oscilan entre  $4.93 \pm 0.891$  y  $5.96 \pm 0.645$ , lo cual indica una aceptabilidad neutra o moderada para dicha variable, estos resultados evidencian que el olor no fue un atributo destacado en las 14 formulaciones. Los tratamientos que presentaron los valores más altos respecto a la variable olor organoléptica fueron la F4 (A:75%,B:15%,C:10%), F11 (A:70%,B:20%,C:10%) y F6 (A:75%,B:20%,C:5%) con valores de  $5.96 \pm 0.645$ ,  $5.76 \pm 0.131$  y  $5.75 \pm 0.715$ , respectivamente.

Por otro lado, las formulaciones que menor valor presentaron fueron la F14 (A:70%,B:15%,C:15%), F13 (A:65%,B:20%,C:15%) y F2 (A:70%,B:15%,C:15%), con valores de  $4.93 \pm 0.891$ ,  $4.98 \pm 0.326$  y  $4.99 \pm 0.789$ , respectivamente. Se evidencia que la harina de arroz y una proporción moderada de harina de maíz morado en las formulaciones favorece la percepción del olor. Por otra parte, una proporción alta de harina de torta de chía disminuye ligeramente la aceptación del olor.



**Tabla 33.***Valores del Olor organoléptico de los 14 tratamientos.*

Formulaciones	A: Harina de Arroz (%)	B: Harina de Maíz morado (%)	C: Harina de torta de Chía (%)	Olor organoléptico
1	70	25	5	5.63 ± 0.355
2	70	15	15	4.99 ± 0.789
3	70	20	10	5.33 ± 0.789
4	75	15	10	5.96 ± 0.645
5	65	25	10	5.26 ± 0.299
6	75	20	5	5.75 ± 0.715
7	65	20	15	5.65 ± 0.498
8	75	17.5	7.5	5.26 ± 0.838
9	70	22.5	7.5	5.52 ± 0.256
10	70	20	10	5.27 ± 0.602
11	70	20	10	5.76 ± 0.131
12	65	25	10	5.02 ± 0.743
13	65	20	15	4.98 ± 0.326
14	70	15	15	4.93 ± 0.891

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

La identificación del olor durante la evaluación sensorial y la determinación de su origen suele ser muy complejo, incluso teniendo en cuenta de que el ser humano cuenta con 1000 tipos de receptores olfativos capaces de distinguir hasta 10000 aromas distintos. Sin embargo, existen ocasiones en las que el sistema olfativo no opera adecuadamente. A pesar de dichas limitaciones, la percepción del olor cumple un rol importante al momento de realizar la evaluación sensorial, ya que influye en la aceptación o rechazo de un producto (Espinosa, 2020).

En la Tabla 34, se observa el análisis de varianza (ANOVA) de los modelos de regresión que describen el comportamiento de la variable respuesta: olor organoléptico de los snacks extruidos de harina de arroz, maíz morado y torta desgrasada de chía. En dicha Tabla se observa que ningún modelo matemático presentó un efecto estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ ), con lo que se evidencia que ninguna de las variables estudiadas, ni la interacción de estas presentaron un efecto significativo en olor organoléptico de los snacks extruidos del presente estudio.

**Tabla 34.***Análisis de varianza de los modelos de regresión para el olor organoléptico.*

Modelo	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F	p	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> – ajustado
Media	405.28	1	405.28				
Lineal	0.47	2	0.23	2.59	0.1198	0.3201	0.1965
Cuadrático	0.075	3	0.025	0.22	0.8800	0.3719	-0.0207
Cúbico especial	0.28	1	0.28	3.01	0.1265	0.5606	0.1839
Cúbico completo	0.27	3	0.090	0.96	0.4917	0.7449	0.1710
Residual	0.37	4	0.093				
Total	406.74	14	29.05				

**4.5.2.4. Textura organoléptica**

En la Tabla 35 se muestran los resultados de la evaluación de la textura organoléptica correspondiente a los 14 tratamientos del presente estudio. Estos valores promedio oscilan entre  $7.12 \pm 0.221$  y  $7.97 \pm 0.132$  lo cual indica una aceptabilidad en el rango de buena a muy buena. Los tratamientos que presentaron los valores más altos respecto a la textura organoléptica fueron la F1 (A:70%,B:25%,C:5%), F4 (A:75%,B:15%,C:10%) y F6 (A:75%,B:20%,C:5%) con valores de  $7.97 \pm 0.132$ ,  $7.92 \pm 0.868$  y  $7.85 \pm 0.784$ , respectivamente.

Por otro lado, las formulaciones que menor valor presentaron fueron la F13(A:65%,B:20%,C:15%), F7 (A:65%,B:20%,C:15%) y F12 (A:65%,B:25%,C:10%), con valores de  $7.12 \pm 0.221$ ,  $7.23 \pm 0.127$  y  $7.24 \pm 0.583$ , respectivamente. Se evidencia que las formulaciones que presentaron mayor contenido de harina de arroz, una proporción moderada de harina de maíz morado y menor contenido de harina de torta de chía presentaron mejores puntajes en cuanto a la textura organoléptica.

**Tabla 35.**

*Valores de la textura organoléptica de los 14 tratamientos.*

Formulaciones	A: Harina de Arroz (%)	B: Harina de Maíz morado (%)	C: Harina de torta de Chía (%)	Textura organoléptica
1	70	25	5	7.97 ± 0.132
2	70	15	15	7.36 ± 0.734
3	70	20	10	7.42 ± 0.292
4	75	15	10	7.92 ± 0.868
5	65	25	10	7.69 ± 0.454
6	75	20	5	7.85 ± 0.784
7	65	20	15	7.23 ± 0.127
8	75	17.5	7.5	7.81 ± 0.537
9	70	22.5	7.5	7.60 ± 0.674
10	70	20	10	7.58 ± 0.342
11	70	20	10	7.76 ± 0.896
12	65	25	10	7.24 ± 0.583
13	65	20	15	7.12 ± 0.221
14	70	15	15	7.27 ± 0.544

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

En la Tabla 36 se observa el análisis de varianza de los modelos de regresión que describen el comportamiento de la variable respuesta: textura organoléptica.

El modelo matemático seleccionado fue el modelo lineal, debido a que presentó significancia estadística ( $p < 0.05$ ) al 95% de nivel de confianza, con valores de coeficientes de determinación de  $R^2$  de 0.7591 y  $R^2$  ajustado de 0.7152.

**Tabla 36.**

*Análisis de varianza de los modelos de regresión para la textura organoléptica.*

Modelo	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F	p	$R^2$	$R^2$ – ajustado
Media	800.00	1	800.00				
Lineal	0.80	2	0.40	17.33	0.0004	0.7591	0.7152
Cuadrático	0.032	3	0.011	0.38	0.7704	0.7891	0.6573
Cúbico especial	0.0023	1	0.0023	0.074	0.7932	0.7913	0.6124
Cúbico completo	0.096	3	0.032	1.04	0.4670	0.8825	0.6182
Residual	0.12	4	0.031				
Total	801.06	14	57.22				

En la Tabla 37 se muestran los coeficientes del modelo de regresión lineal que describe el comportamiento de la textura organoléptica. De acuerdo con la Tabla 37 todos los coeficientes del modelo matemático resultaron estadísticamente significativos ( $p < 0.05$ ).

El modelo lineal que describe el comportamiento del sabor organoléptico es expresado de la siguiente manera:

$$\text{SABOR: } 8.13 * A + 7.69 * B + 6.94 * C \dots (4)$$

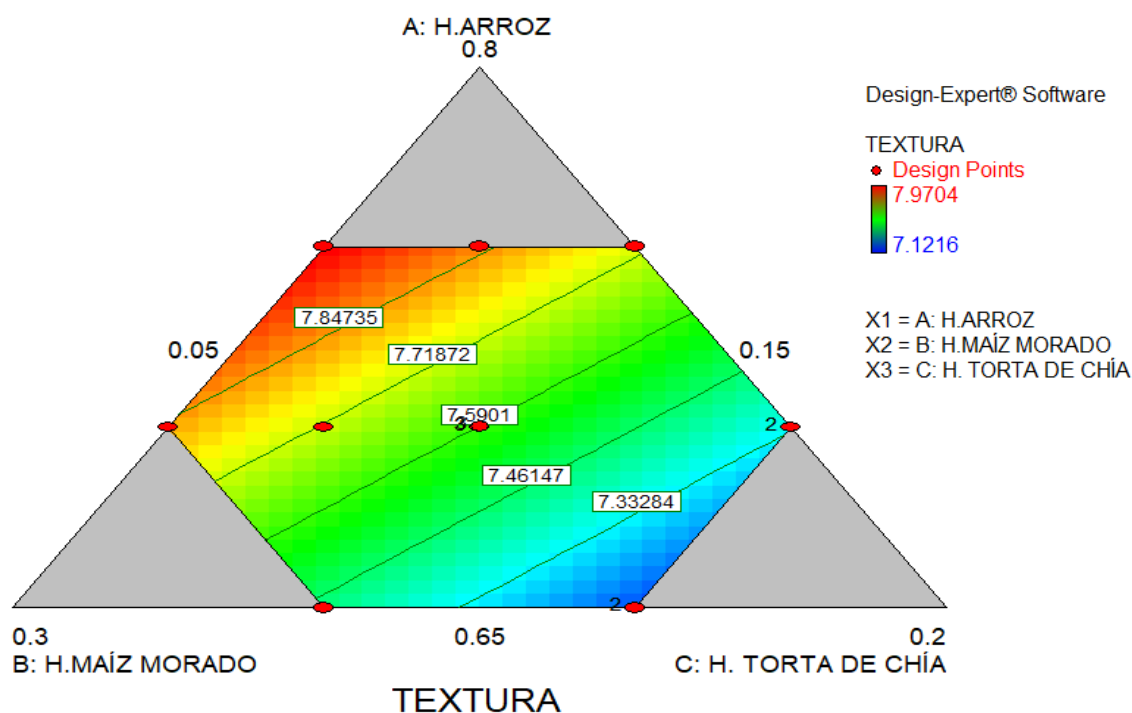
**Tabla 37.**

*Coefficientes del modelo matemático aplicado a la textura organoléptica*

Componente	Coefficiente estimado	Error estándar	t(11)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
A-H. ARROZ	8.13	0.13	62.538	0.0000	7.85	8.41
B-H. MAÍZ MORADO	7.69	0.13	59.154	0.0000	7.41	7.97
C-H. TORTA DE CHÍA	6.94	0.12	57.833	0.0000	6.67	7.21

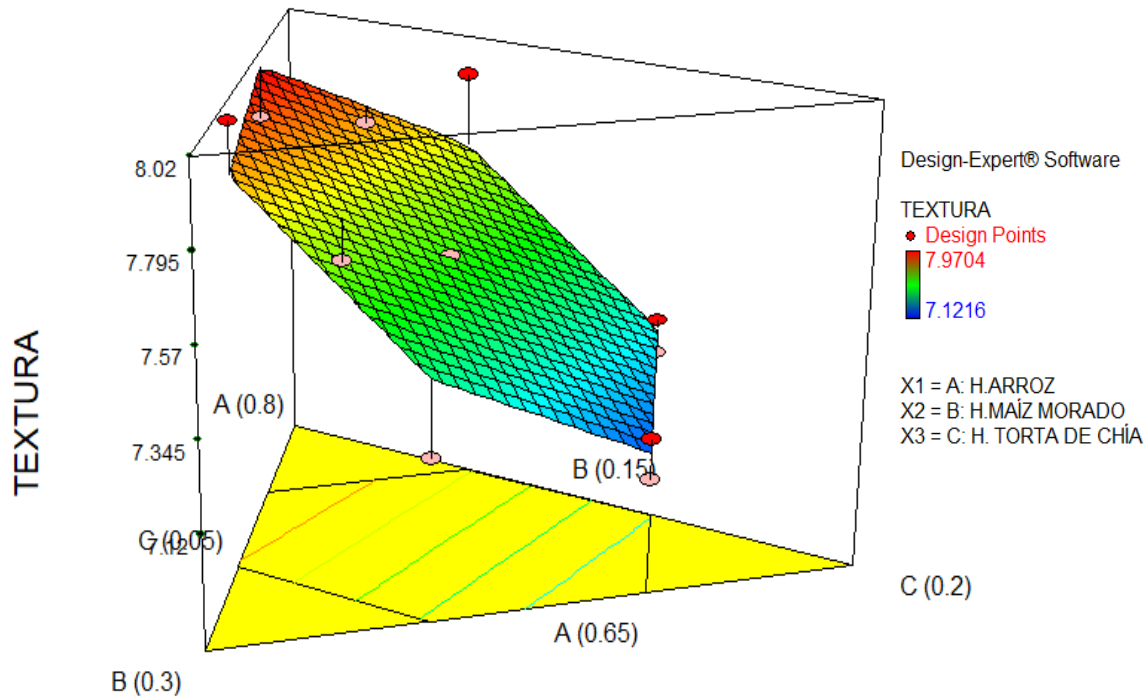
**Figura 36.**

*Gráfica de contorno para la variable textura organoléptica.*



**Figura 37.**

*Gráfica de contorno para la variable textura organoléptica.*



Una de las propiedades más complejas en el análisis sensorial es la evaluación de la textura, ya que en dicho análisis no solo interviene el sentido del tacto, sino también la percepción auditiva y visual. Debido a ello es que su interpretación se considera particularmente complicada y su análisis requiere de múltiples sentidos para poder obtener una correcta evaluación (Espinosa, 2020).

Del modelo lineal, se procedió a generar la gráfica de contorno y gráfica de superficie respuesta, Figura 36 y 37 respectivamente. En dichas figuras se observa el comportamiento de la variable textura organoléptica del snack extruido con respecto al porcentaje de harina de arroz, maíz morado y torta de chía empleadas en su elaboración. Se puede observar que las formulaciones con mayor proporción de harina de arroz y maíz morado; y un menor contenido de harina de torta de chía (Zonas de color naranja-roja) presentaron mejor aceptabilidad en cuanto a la textura.

#### 4.6. Optimización de la formulación del snack extruido

Para la determinación de la formulación óptima, se procedió a recurrir a la técnica de optimización de respuesta múltiple. Para ello, se utilizó la función de deseabilidad, se eligió las variables respuestas que fueron relevantes y mostraron significancia estadística ( $p\text{-value} < 0.05$  y  $R^2 > 0.70$ ) luego del análisis de los resultados de la evaluación tecnológica y sensorial de los extruidos. Teniendo en cuenta ello, se establecieron las siguientes restricciones:

- Maximización del índice de expansión (2.36 – 3.41)
- Maximización del Volumen específico (8.47 – 13.43 ml/g)
- Maximización del Sabor organoléptico (5.69 - 6.74)
- Maximización de la Textura organoléptica (7.12 - 7.97)

Las restricciones fueron ingresadas al software Design Expert® versión 7.0 y se le dio la misma importancia (1.0) y ponderación a cada una de las variables elegidas. Dicho método generó 2 soluciones que se muestran en la Tabla 38. Se escogió la solución 1, por ser la que presenta un valor de función de deseabilidad (0.972) más cercano a 1. La formulación óptima de snack extruido que optimiza las características tecnológicas y sensoriales presenta un 72.2 % de harina de arroz, 22.8 % de harina de maíz morado y 5 % de harina de torta desgrasada de chía. En el Anexo 14, se puede visualizar la elaboración del snack extruido de formulación óptima.

**Tabla 38.**

*Soluciones obtenidas tras la optimización de respuestas múltiples.*

N°	H.			Ve	IE	Textura	Sabor	Desirability
	H. Arroz	H. Maiz morado	Torta de Chia					
1	0.722	0.228	0.050	13.3135	3.41122	7.90207	6.44378	0.972
2	0.700	0.175	0.125	11.9444	3.29827	7.46281	5.78883	0.574

## 4.7. Evaluación de las propiedades proximales, tecnológicas, sensoriales, capacidad antioxidante y contenido de polifenoles del snack extruido con formulación óptima

### 4.7.1. Análisis proximal del snack extruido con formulación óptima

En la Tabla 39 se muestran los resultados de la composición porcentual del snack extruido de formulación óptima, los resultados son la media de 3 repeticiones. Además, se determinó la Energía (kcal) brindada por la ingesta del extruido.

**Tabla 39.**

*Composición proximal del snack extruido de formulación óptima por cada 100 gr.*

Componentes	(%)
Humedad	6.71 ± 0.04
Proteína	10.32 ± 0.11
Grasa	0.66 ± 0.14
Cenizas	0.84 ± 0.03
Fibra Dietaria	4.12 ± 0.05
Carbohidratos	76.55 ± 0.09
Energía (kcal)	353.44 ± 0.54

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

Se observa un contenido de humedad de 6.71%, dicho valor es comparable con el valor reportado por Bravo y Ortega (2017), quienes determinaron un 6.84% para la humedad de su extruido óptimo a base de harinas de arroz, quinua y torta desgrasada de chía. El bajo contenido de humedad en el extruido evitará el crecimiento microbiano y prolongará la vida útil del producto (Laime *et al.*, 2024). En cuanto al contenido de proteína (10.32%), el valor obtenido fue superior al reportado por Bravo y Ortega (2017), quienes determinaron 9.66% en un snack óptimo elaborado a base de arroz, quinua y torta de chía, así como al reportado por Castillo y Vera (2024), con 8.48% en un extruido formulado con arroz, maíz morado y kiwicha. Este valor posiciona al snack como una fuente relevante de proteína vegetal. El bajo contenido de Grasa (0.66%) demuestra que el snack es una alternativa saludable ya que aporta bajo contenido calórico. En cuanto a las cenizas (0.84%) se encuentra un contenido moderado. Ambos valores se encuentran ligeramente superior a los reportados por Castillo y Vera (2024), quienes, para su snack óptimo a base de harinas de arroz, maíz morado y kiwicha determinaron valores de 0.68% y 0.32% para la ceniza y grasa, respectivamente.

Según el Codex Alimentarius (2009), un alimento es considerado como buena fuente de fibra dietaria si por lo menos presenta 3 g de fibra por cada 100 g de producto. El contenido de fibra dietaria (4.12%) del snack lo posiciona como una buena fuente de fibra dietaria y alternativa saludable. Este aporte de fibra se debe principalmente a la incorporación de la harina de torta desgrasada de chía en la formulación.

El contenido de carbohidratos (76.55%) y Energía (353.44 kcal) son valores cercanos a los reportados por Bravo y Ortega (2017), quienes determinaron carbohidratos (77.01%) y energía (351.03 kcal) para un snack óptimo. El elevado contenido de carbohidratos constituye la principal fuente energética del snack, lo cual lo posiciona como un alimento de consumo rápido, manteniendo un equilibrio entre aporte calórico y valor nutricional.

#### 4.7.2. Evaluación tecnológica del snack extruido con formulación óptima

En la Tabla 40 se muestran los resultados de la evaluación tecnológica del snack extruido con formulación óptima, se evaluó el índice de expansión, volumen específico, índice de solubilidad en agua e índice de absorción de agua del snack extruido.

**Tabla 40.**

*Características tecnológicas del snack extruido de formulación óptima.*

<b>Característica tecnológica</b>	<b>Formulación óptima</b>
Índice de expansión (IE)	3.38 ± 0.06
Volumen específico (ml/g)	13.27 ± 0.07
ISA (%)	19.05 ± 0.14
IAA (g de gel/ g muestra)	5.14 ± 0.02

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

En la Tabla 40 se observa un valor de 3.38 para el índice de expansión del snack extruido óptimo a base de harinas de arroz, maíz morado y torta de chía. Este valor es superior al 2.753 reportado por Lázaro y Sotelo (2017) para un snack óptimo a base de grits de maíz amarillo, harina de quinoa y harina de garbanzo. Asimismo, es superior al 2.35 reportado por Castillo y Vera (2024) y al 1.733 de Bravo y Ortega (2017). Este valor indica una buena capacidad de hinchamiento del extruido durante el proceso de extrusión. En cuanto al volumen específico, se determinó un valor de 13.27 ml/g, este valor indica una estructura aireada y ligera en el extruido. Este valor es superior al 8.45 ml/g reportado por



Bravo y Ortega (2017). Un mayor volumen específico se asocia con extruido más ligeros y crujientes, las cuales son características que suelen ser atractivas para los consumidores (Sarmiento, 2023).

El índice de solubilidad en agua (ISA) obtenido (19.05%) fue inferior al valor reportado por Bravo y Ortega (2017), quienes reportaron un valor de 30.11% para el ISA en un snack óptimo a base de harinas de arroz, quinua y torta de chí. Por otro lado, el índice de absorción de agua (IAA) determinado fue de 5.14 g de gel/g muestra, este valor es superior al reportado por los mismos autores (3.88 g de gel/g muestra). Estos valores indicarían una adecuada solubilización del almidón durante la extrusión, así como una buena capacidad de retención de agua por parte del extruido.

#### 4.7.3. Evaluación sensorial del snack extruido con formulación óptima

En la Tabla 41 se muestran los resultados de la evaluación sensorial del snack extruido de formulación óptima. Esta evaluación se llevó a cabo en la planta piloto agroindustrial de la Universidad Nacional del Santa, se evaluaron las siguientes características organolépticas: Olor, Sabor, Color y Textura.

**Tabla 41.**

*Características organolépticas del snack extruido de formulación óptima.*

<b>Característica Organoléptica</b>	<b>Formulación óptima</b>
Olor (cm)	5.31 ± 0.10
Sabor (cm)	6.63 ± 0.10
Color (cm)	7.56 ± 0.09
Textura (cm)	8.13 ± 0.07

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

Los resultados de la Tabla 41 indican que el snack extruido presenta una aceptación moderada para el olor (5.31), significa que el consumidor no percibe ni como desagradable ni especialmente atractivo al snack en cuanto a dicha característica. El sabor (6.63) obtuvo una calificación favorable indicando buena aceptación, posiblemente debido al sabor dulce del maíz morado y neutro del arroz. En cuanto al color (7.56) se evidencia una alta aceptación visual por parte del consumidor. Finalmente, la textura organoléptica (8.13) fue la característica mejor valorada, indicando una sensación muy

agradable para dicha característica, dicho valor indica una textura crujiente y ligera por parte del extruido.

#### 4.7.4. Determinación de la capacidad antioxidante y contenido de polifenoles del snack extruido de formulación óptima

En la Tabla 42 se muestran los resultados del análisis de capacidad antioxidante realizado por la metodología de Radical 2,2 – difenil – 1- picrilhidracilo (DPPH), y del análisis de contenido de Polifenoles realizado por la metodología de Folin – Ciocalteu. Los análisis se llevaron a cabo en el instituto de investigación tecnológica Agroindustrial (IITA).

**Tabla 42.**

*Capacidad antioxidante y contenido de polifenoles del snack extruido de formulación óptima.*

<b>Parámetro funcional</b>	<b>Formulación óptima</b>
Capacidad antioxidante (uMol Trolox/g)	251.14 ± 0.50
Contenido de polifenoles (mg EAG/100 g)	76.36 ± 0.35

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

En la Tabla 42 se aprecia una capacidad antioxidante de 251.14  $\mu\text{mol}$  trolox/g y contenido de polifenoles de 76.36 mg EAG/100 g. Estos valores son comparables con los reportados por Castillo y Vera (2024) quienes determinaron para un snack óptimo a base de harinas de arroz, maíz morado y kiwicha valores de 319.61  $\mu\text{mol}$  trolox/g y 64 mg EAG/100g para la capacidad antioxidante y polifenoles, respectivamente. Dichos valores reflejan una alta capacidad antioxidante y considerable contenido de polifenoles en el snack extruido, lo cual indica que el producto puede neutralizar radicales libres, prevenir el estrés oxidativo y prevenir enfermedades crónicas. Estos resultados se deben principalmente a la harina de maíz morado, el cual contiene alto contenido de antocianinas y compuestos fenólicos (Castillo y Vera, 2024). Además, la torta de chía aporta ácidos grasos omega - 3 y antioxidantes naturales como polifenoles (Valicenti, 2022). La extrusión genera pérdidas parciales de compuestos bioactivos por efecto térmico y mecánico, pero también puede favorecer la extracción de compuestos fenólicos ligados a las paredes celulares (Ortiz-Cruz *et al.*, 2021).

## V. CONCLUSIONES

- Se logró caracterizar químico proximalmente las materias primas, para los granos de arroz se obtuvo una humedad (12,21%), proteína (8.68%), grasa (0.73%), cenizas (0.199%), fibra dietaria (0.94%), carbohidratos (77.03%); para el maíz morado se obtuvo una humedad (35,28%), proteína (9.73%), grasa (3.64%), cenizas (1.09%), fibra dietaria (2.95%), carbohidratos (47.31%) y las semillas de chía presentaron una humedad (8,06%), proteína (21.66%), grasa (30.23%), cenizas (4.52%), fibra dietaria (32.86%), carbohidratos (2.66%).
- Se obtuvo las harinas del arroz, maíz morado y torta de chía, con rendimientos de procesamiento de 95%, 44% y 52.5%, respectivamente.
- Se logró caracterizar químico proximalmente las harinas obtenidas, para la harina de arroz se obtuvo una humedad (11,93%), proteína (8.66%), grasa (0.64%), cenizas (0.26%), fibra dietaria (0.93%), carbohidratos (77.58%); para la harina de maíz morado se obtuvo una humedad (11,44%), proteína (11.64%), grasa (4.04%), cenizas (1.75%), fibra dietaria (8.37%), carbohidratos (62.76%) y la harina de torta desgrasada de chía presentaron una humedad (5.8%), proteína (37.31%), grasa (7.34%), cenizas (6.03%), fibra dietaria (38.5%), carbohidratos (5.02%).
- Se logró elaborar snack extruidos a base de harina de arroz, maíz morado y torta de chía de acuerdo con los 14 tratamientos del diseño experimental y se evaluaron las características tecnológicas (IE, volumen específico, ISA, IAA) y sensoriales (olor, sabor, color y textura) de los extruidos.
- La formulación óptima del snack extruido, que permitió obtener mejores características tecnológicas y sensoriales, estuvo compuesta por 72.2% de harina de arroz, 22.8% de harina de maíz morado y 5% de harina de torta desgrasada de chía; presento una humedad (6.71%), proteína (10.32%), grasa (0.66%), ceniza (0.84%), fibra dietaria (4.12%), carbohidratos (76.55%), energía (353.44 kcal), IE (3.38), Volumen específico (13.27 ml/g), ISA (19.05%), IAA (5.14 g gel/g muestra), capacidad antioxidante (251.14  $\mu$ mol trolox/g), contenido de polifenoles (76.36 mg EAG/100 g) y buena aceptabilidad sensorial. El producto presenta propiedades nutraceuticas, nutricionales y buena aceptabilidad sensorial.

## VI. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios añadiendo distintos sabores naturales a los snacks extruidos con el fin de evaluar su efecto sobre la aceptabilidad sensorial y ampliar la preferencia del consumidor.
- Realizar investigaciones optimizando los parámetros del proceso de extrusión como la velocidad de tornillo, caudal de agua y temperatura, con el fin de mejorar las características funcionales, tecnológicas y sensoriales del producto.
- Se sugiere evaluar la vida útil del producto extruido en condiciones de almacenamiento reales para determinar su estabilidad fisicoquímica y sensorial.
- Realizar el análisis de índice de absorción en agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA), en líquidos como la leche, dado que este tipo de alimentos como son los snacks extruidos se suelen consumir en compañía de productos lácteos con frecuencia.
- Realizar un estudio de factibilidad para la producción y comercialización del snack extruido de formulación óptima.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aburto, R., & Taboada, J. (2019). *Efecto del proceso de extrusión en la calidad proteica de un snack, utilizando quinua (chenopodium quinoa) y harina de habas (vicia faba)*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional del Santa]. <https://hdl.handle.net/20.500.14278/3454>
- Acevedo, G. (2020). *Extrusión en alimentos: Materias primas y su efecto en el proceso*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000801914>
- Acosta, M. (2019). Polifenoles: compuestos bioactivos con efectos benéficos en la prevención de diabetes tipo 2. *REDCien*, 1, 6-6. <http://www.redcien.com/index.php/redcien/article/view/5>
- AgroPerú Informa. (2024, agosto 1). *En julio de 2024, Perú exportó 249 toneladas de chía por un valor de \$875,000*. Recuperado de: <https://www.agroperu.pe/chia-peruana-un-potencial-agroexportador-en-auge/>
- Aguilar-Hernández, Á. D., Salinas-Moreno, Y., Ramírez-Díaz, J. L., Alemán-de la Torre, I., Bautista-Ramírez, E., & Flores-López, H. E. (2019). Antocianinas y color en grano y olote de maíz morado peruano cultivado en Jalisco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(5), 1031–1043. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i5.1828>
- Ainia (2021). *El control de calidad sensorial: Un factor clave para mantener la confianza del consumidor*. Recuperado de: <https://www.ainia.com>
- Angulo, J. (2025, 2 de abril). *Anemia infantil en menores de 3 años subió a 43.7 % y la desnutrición crónica en menores de 5 años llegó al 12.1 %, según la ENDES 2024*. Infobae, recuperado de: <https://www.infobae.com/peru/2025/04/02/anemia-infantil-en-menores-de-3-anos-subio-a-437-y-la-desnutricion-cronica-en-menores-de-5-anos-llego-al-121-segun-la-endes-2024/>
- AOAC (2005). *Método determinación de Cenizas 923.03*. Recuperado de: <https://www.scribd.com/document/532493244/AOAC-923-03-Cenizas>
- AOAC (2012). *Official Method 992.23: Crude protein in cereal grains and oilseeds — Combustion method (Dumas method)*. In *Official Methods of Analysis of AOAC International* (19th ed.). Gaithersburg, MD: AOAC International.

- AOAC 931.04 (2005). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 18 th edition.*
- AOAC 963.15 (2005). "*Fat (Crude) in Animal Feed and Pet Food - Ether Extraction Method*" (AOAC Official Method of Analysis)
- AOAC International. (1997). *Official Method 991.43: Total, soluble, and insoluble dietary fiber in foods—Enzymatic-gravimetric method.* In *Official Methods of Analysis of AOAC International* (16th ed., 4th rev.). Gaithersburg, MD: AOAC International.
- Apace, B. (2022). "*Efecto del germinado en la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos del grano del maíz morado (Zea mayz L.)*". [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://hdl.handle.net/20.500.14597/5377>
- Arévalo, S. (2017). *Agua en los alimentos.* [Tesis de grado, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana]. [https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/5052/Syumey\\_Tesis\\_Titulo\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/5052/Syumey_Tesis_Titulo_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Aslam, A., Syeda, M., Shahzad, S. & Syed, K. (2020). Comprehensive Review of Structural Components of *Salvia hispanica* & Its Biological Applications. *ResearchGate*. 5(1), 1-7. <https://doi.org/10.11648/j.ijbbmb.20200501.11>
- Ayala, A. (2022). *Evaluación de características físico químicas, polifenoles y capacidad antioxidante en pitahaya selenicereus megalanthus durante el almacenamiento en atmósferas modificadas.* [Tesis de Grado, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11904>
- Barrionuevo, D. & Castro, J. (2025). *Elaboración de galletas dulces a base de sangrecita, harina de maíz morado (Zea mays L.) y cereales andinos.* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Santa]. <https://hdl.handle.net/20.500.14278/5005>
- Barrios, E., Arrieta, A., & Cahuana, S. (2024). Extrusión y calidad física en formulaciones de alimento para engorde de camarones: una revisión. *Prospectiva*, 22(2), 2. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9693184>
- Beech, D., Beech, J., Gould, J., & Hill, S. (2022). Effect of amylose/amylopectin ratio and extent of processing on the physical properties of expanded maize

- starches. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(4), 2298-2309. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15581>
- Boluk, I., Kumcuoglu, S., & Tavman, S. (2023). Development, characterization and sensory evaluation of an extruded snack using fig molasses by-product and corn semolina. *Foods*, 12(5), 1029. <https://doi.org/10.3390/foods12051029>
- Bravo, E. & Ortega, J. (2017). “Efecto de la granulometría y formulación en la calidad de un snack extruido a base de arroz (*Oryza sativa* L.), quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y torta desgrasada de chía (*Salvia hispanica* L.)”. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Santa]. <https://hdl.handle.net/20.500.14278/2793>
- Cardoso, F., Ascheri, D., & Carvalho, C. (2014). Propiedades reológicas y de adsorción de agua de harina extrudida de arroz y bagazo de cebada. *Revista Ceres*, 61, 313-322. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2014000300003>
- Castillo, A., & Vera, J. (2024). *Formulación y elaboración óptima de un snack extruido a base de maíz morado, arroz y kiwicha*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Santa]. <https://hdl.handle.net/20.500.14278/4968>
- Celiac Disease Foundation. (2023). *Gluten-Free Foods*. Recuperado de <https://celiac.org/gluten-free-living/gluten-free-foods/>
- Cerón, C., Guerra, L., Legarda, A., Enríquez, M., & Pismag, Y. (2016). Efecto de la extrusión sobre las características físico-químicas de harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 92-99. [http://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(14\)92-99](http://dx.doi.org/10.18684/BSAA(14)92-99)
- Cisternas, C., Carrasco, M. I., Riquelme, C., & Villagrán, M. (2022). Composición química, características nutricionales y beneficios asociados al consumo de chía (*Salvia hispanica* L.). *Revista Chilena de Nutrición*, 49(4), 625–636. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182022000600625>
- Codex Alimentarius Commission. (2009). 31st session of the Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses (CCNFSDU) (Document NF31/3). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) / World Health Organization (WHO). [https://workspace.fao.org/sites/codex/Shared%20Documents/Archive/Meetings/CCNFSDU/ccnfsdu31/nf31\\_03s.pdf](https://workspace.fao.org/sites/codex/Shared%20Documents/Archive/Meetings/CCNFSDU/ccnfsdu31/nf31_03s.pdf)

- Collazos, C., White, P., White, H., & Viñas, E. (1993). *Tablas Peruanas de composición de Alimentos*. Lima: Centro Nacional de Alimentación y Nutrición.
- Cuj-Laines, R., Hernández-Santos, B., Herman-Lara, E., Martínez-Sánchez, C., Juárez-Barrientos, J., Torruco-Uco, J. & Rodríguez-Miranda, J. (2018). Aspectos relevantes del desarrollo de snacks ricos en proteínas extruidos: una alternativa para reducir la desnutrición global. *Alimentos alternativos y de reemplazo*, 141–166. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-811446-9.00005-8>
- Dalbhat, C. G., & Mishra, H. N. (2019). Effects of extrusion process conditions on system parameters; physicochemical properties and cooking characteristics of extruded fortified rice kernels. *Journal of Cereal Science*, 89, 102782. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.05.016>
- Delgado Cabrera, N. T., & Bedoya Justo, E. V. (2020). Extracción de antocianinas a partir de la coronta y grano de maíz morado (*Zea mays* L.) de la provincia de Tarata - Tacna, Perú. *Revista Ciencia y Tecnología para el Desarrollo*, 5(10), 4–9. <https://doi.org/10.37260/rctd.v5i10.149>
- Díaz, M., & Graves, A. (2020). Relación entre consumo de alimentos procesados, ultraprocesados y riesgo de cáncer: una revisión sistemática. *Revista chilena de nutrición*, 47(5), 808-821. <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182020000500808>
- Dirind. (2024). *Proceso de gelatinización de un almidón*. *Foro Industrial*. Recuperado de: <https://dirind.com/foro-industrial/post.php?i>
- Duan, S., Ai, H., Liu, S., Zhou, A., Cao, Y. & Huang, X. (2024). Functional nutritional rice: current progresses and future prospects. *Frontiers in Plant Science*, 12, 1488210. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1488210>
- Duarte, M., & Cruz, L. (2024). Elaboración de un snack salado extruido a partir de una mezcla de harinas. *Centro Azúcar*, 51(1). 2223-4861. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S222348612024000100011&script=sci\\_artext&t&lng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S222348612024000100011&script=sci_artext&t&lng=en)
- Ek, P., Gu, B. J., Saunders, S. R., Huber, K., & Ganjyal, G. M. (2021). Exploration of physicochemical properties and molecular interactions between cellulose and high-amylose cornstarch during extrusion processing. *Current Research in Food Science*, 4, 588-597. <https://doi.org/10.1016/j.crf.2021.07.001>



- Ekielski, A., Żelaziński, T., Siwek, A., Sharma, V., & Mishra, P. K. (2020). Formulation and characterization of corn grits-propylene glycol extrudates. *Materials Today: Proceedings*, 21, 1772-1780. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.230>
- El diario Vasco (2022). *Semillas de Chía saludables*. Recuperado de: <https://www.diariovasco.com/gastronomia/despensa/chia-20221108102829-nt.html>
- El Peruano (2023), *Día Nacional del Maíz morado*. Recuperado de: <https://www.elperuano.pe/noticia/211935-dia-nacional-del-maiz-sepa-los-multiples-beneficios-a-la-salud-que-brinda-el-maiz-morado/>
- Espinosa, A. (2017). *Propiedades fisicoquímicas y tecnofuncionales de la chía (salvia hispánica L.) y de su extracto desgrasado*. [Tesis de grado, Universidad Miguel Hernández]. <https://hdl.handle.net/11000/4236>
- Espinoza, J. (2020). *Evaluación sensorial de los alimentos*. Editorial Universitaria (Cuba).
- FAO. (2008). Food composition table for use in Latin America. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. Disponible en: <https://www.fao.org/3/x6872e/x6872e00.htm>
- FAO. (2023). *Rice in human nutrition - Grain structure, composition and nutritional value*. Recuperado de <https://www.fao.org/4/t0567e/t0567e08.htm>
- Fernández, C. & Romero, G. (2021). *Actividad antioxidante y polifenoles totales de una bebida funcional a base de zumo y cáscara de punica granatum*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Santa]. <https://hdl.handle.net/20.500.14278/3822>
- Fernández, R., & Lizana, X. C. (2020). Antocianinas en *Solanum tuberosum*: Una revisión. *Agro Sur*, 48(2), 1–8. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2020.v48n2-01>
- Ferreira DM, Nunes MA, Santo LE, Machado S, Costa ASG, Álvarez-Ortí M, Pardo JE, Oliveira MBPP, Alves RC. (2023). Characterization of Chia Seeds, Cold-Pressed Oil, and Defatted Cake: An Ancient Grain for Modern Food Production. *Molecules*. 28(2):723. <https://doi.org/10.3390/molecules28020723>
- Freepik (2023), *Granos de arroz*. <https://www.freepik.es/fotos-vectores-gratis/granos-arroz>

- Gao, Y., Sun, Y., Zhang, Y., Sun, Y., & Jin, T. (2022). Extrusion modification: Effect of extrusion on the functional properties and structure of rice protein. *Processes*, *10*(9), 1871. <https://doi.org/10.3390/pr10091871>
- García, M., Miranda, C., & Ramos, F. (2017). *Composición nutricional, propiedades funcionales, componentes bioactivos y actividad antioxidante de dos variedades de semillas de Chia (Salvia Hispanica L.) composición nutricional, propiedades funcionales, componentes bioactivos y actividad antioxidante de dos variedades de semillas de chia (Salvia Hispanica) de cultivo convencional y orgánico en el Perú.* [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias aplicadas] [https://www.academia.edu/download/92302130/GARCIA\\_GM.pdf](https://www.academia.edu/download/92302130/GARCIA_GM.pdf)
- Gavilanes, L. (2021). Elaboración de bioplásticos a partir del almidón de arroz (*Oryza sativa*) y arroz integral para uso como envolturas biodegradables de alimentos [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <https://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/14971>
- Genç, H., & Mustafa, M. (2025). Sensory Properties, Textural Analysis, and Some Physical Analysis of Enriched Extruded Products Produced from Different Grain Products. *Plant Foods for Human Nutrition*, *80*(2), 94. <https://doi.org/10.1007/s11130-025-01336-5>
- Gómez, J., & Venegas, A., (2022). *Evaluación de los cambios en compuestos fenólicos durante la obtención de un snack extruido adicionado con harina de fresa.* [Tesis de Grado, Universidad del Cauca]. <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/6786>
- Gondal, T. A., Keast, R. S., Shellie, R. A., Jadhav, S. R., Gamlath, S., Mohebbi, M., & Liem, D. G. (2021). Consumer acceptance of brown and white rice varieties. *Foods*, *10*(8), 1950. <https://doi.org/10.3390/foods10081950>
- Grancieri, M., Martino, H. S. D., & Gonzalez de Mejia, E. (2019). Chia seed (*Salvia hispanica* L.) as a source of proteins and bioactive peptides with health benefits: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *18*(2), 480–499. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12423>
- Guillén, J., Mori, S., & Paucar-Menacho, L. (2014). Características y propiedades funcionales del maíz morado (*Zea mays* L.) var. subnigrovioláceo. *Scientia Agropecuaria*, *5*(1), 45–53. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2014.04.05>

- Gutiérrez, M., & Castillo, M. (2022). *Valorización de bagazo de cerveza a través de su conversión mediante extrusión en nuevos ingredientes alimentarios para una salud sostenible*. [Tesis de Grado, Universidad Católica del Uruguay]. <http://hdl.handle.net/10261/287922>
- Hernández-Rodríguez, M., Ramos-García, A. A., & García-Zavala, J. J. (2024). ¿Qué sabemos del valor nutricional de la semilla de chía? *Agro-Divulgación*, 4(4). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i4.355>
- Huesa Bello, R. (2021). *Retención de compuestos fenólicos en la elaboración de un alimento tipo snack con potencial funcional a base de maíz morado nixtamalizado y no nixtamalizado* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana]. <http://hdl.handle.net/10554/58076>
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2014). *NTP 205.011:2014 arroz elaborado. Requisitos* (Norma Técnica Peruana NTP 205.011:2014). Recuperado de: <https://es.slideshare.net/slideshow/ntp-2050111-arroz/156650806>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (2021). *Varietades mejoradas de maíz morado: Ficha técnica INIA 601 e INIA 615*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú. Recuperado de: <https://www.gob.pe/inia>
- Instituto Nacional de Salud (INS) (2023). *Maíz morado*. Tablas Peruanas de Alimentos. <https://tablasperuanas.ins.gob.pe/node/462>
- Instituto Nacional de Salud (INS). (2023). *Tablas Peruanas de Composición de Alimentos: Maíz morado sin coronta*. Centro Nacional de Alimentación y Nutrición (CENAN). Recuperado de: <https://tablasperuanas.ins.gob.pe/node/462>
- Instituto Nacional de Salud (INS). (2023). *Tablas Peruanas de Composición de Alimentos: Semillas de Chía*. Centro Nacional de Alimentación y Nutrición (CENAN). Recuperado de: <https://tablasperuanas.ins.gob.pe/node/949>
- Instituto Nacional de Salud (INS). (2023). *Tablas Peruanas de Composición de Alimentos: Arroz blanco corriente*. Centro Nacional de Alimentación y Nutrición (CENAN). [https://tablasperuanas.ins.gob.pe/listaalimentos?title=arroz&field\\_grupo\\_de\\_alimentos\\_target\\_id=All&field\\_version\\_target\\_id=All](https://tablasperuanas.ins.gob.pe/listaalimentos?title=arroz&field_grupo_de_alimentos_target_id=All&field_version_target_id=All)
- Instituto Nacional de Salud. (2017). *Tablas peruanas de composición de alimentos (10ma ed.)*. Ministerio de Salud del Perú. Recuperado de:

<https://repositorio.ins.gob.pe/bitstream/handle/20.500.14196/1034/tablas-peruanas-QR.pdf>

- Kallu, S., Kowalski, R. J., & Ganjyal, G. M. (2017). Impacts of cellulose fiber particle size and starch type on expansion during extrusion processing. *Journal of food science*, 82(7), 1647-1656. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13756>
- Kim, H. Y., Lee, K. Y., Kim, M., Hong, M., Deepa, P., & Kim, S. (2023). A review of the biological properties of purple corn (*Zea mays* L.). *Pharmaceuticals*, 91(1), 6. <https://doi.org/10.3390/scipharm91010006>
- Laime, M., Aparco, R., Tadeo, F., Lipa, R., Oblitas, Y., & Cano, A. (2024). Evaluación nutricional de snacks extruidos a base de tres variedades de quinua andina peruana. *Revista Alfa*, 8(23), 424-438. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i23.275>
- Laureano, L., & Avellaneda, M. (2018). *Influencia de la temperatura de extrusión en la calidad de un snack elaborado a base de pallar (phaseolus lunatus) y arroz (oryza sativa)*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional del Santa]. <https://hdl.handle.net/20.500.14278/3233>
- Lázaro, J. & Sotelo, M. (2017). *Optimización por diseño de mezcla de un snack de grits de maíz amarillo (zea mays), harina de quinua (chenopodium quinoa) y harina de garbanzo (cicer arietinum) obtenido mediante extrusión*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Santa]. <https://hdl.handle.net/20.500.14278/3054>
- León L., Reyes, C., Ley, A., Perales, J., Milán, J., Cuevas, E., & Gutiérrez, R. (2019). Improvement of nutritional and nutraceutical value of nixtamalized maize tortillas by addition of extruded chia flour. *Biotechnia*, 21(3), 56-66. <https://www.redalyc.org/pdf/6729/672971084007.pdf>
- León, J. (2022, 17 de agosto). *Consumo per cápita de arroz en Perú alcanza un volumen aproximado de 61 kilos*. Agraria.pe. <https://agraria.pe/noticias/consumo-per-capita-de-arroz-en-peru-alcanza-un-volumen-aprox-28976>
- Lon, E., & Hernández, R. (2024). Efecto nutracéutico de compuestos bioactivos del maíz morado (*zea mays* l.) Utilizados en prevención y tratamiento de enfermedades crónicas degenerativas. *Revista Científica: BIOTECH AND ENGINEERING*, 4(1). <https://doi.org/10.52248/eb.Vol4Iss1.117>

- López, L., Santos, O., Dávila, L. & Tuesta, T. (2022). Características de snacks y componentes funcionales para consumidores jóvenes y adultos en Lima Metropolitana. *Agroindustrial Science*, 12(1), 81–88. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2022.01.10>
- Lovegrove, A., Kosik, O., Bandonill, E., Abilgos-Ramos, R., Romero, M., Sreenivasulu, N., & Shewry, P. (2019). Improving rice dietary fibre content and composition for human health. *Journal of nutritional science and vitaminology*, 65(Supplement), S48-S50. <https://doi.org/10.3177/jnsv.65.S48>
- Martin, A., Schmidt, V., Osen, R., Bez, J., Ortner, E., & Mittermaier, S. (2020). Texture, sensory properties and functionality of extruded snacks from pulses and pseudocereal proteins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(12), 5011-5021. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11041>
- Medina, A. (2022). *Guía de Manejo del Cultivo de Maiz Morado (Zea mays L.)*. Recuperado de: <https://repositorio.inia.gob.pe/bitstreams/9f468f91-40d7-4d5d-8237-7aeacf749e05/download>
- Medina-Hoyos, A., Narro-León, L., & Chávez-Cabrera, A. (2020). Cultivo de maíz morado (*Zea mays L.*) en zona altoandina de Perú: Adaptación e identificación de cultivares de alto rendimiento y contenido de antocianina. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 291–299. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.01>
- Menon M, Smith A, Fennell J. (2022). Essential nutrient element profiles in rice types: a risk-benefit assessment including inorganic arsenic. *Br J Nutr*. 128(5):888-899. <https://doi.org/10.1017/S0007114521004025>
- Michajluk, B., Piris, P., Mereles L. G., Wiszovaty, L. N., & Caballero de Colombo, S. B. (2018). Semillas de *Salvia hispanica L.*, “chía” como fuente de macronutrientes, fibra alimentaria y minerales. *Investigación Agraria*, 20(1), 74–77. <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2018.junio.74-77>
- Ministerio de Salud del Perú. (2022, 21 de junio). *Malnutrición le cuesta al Perú 10 500 millones de dólares, equivalente al 4.6 % del PBI*. Recuperado de : <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/630337-malnutricion-le-cuesta-al-peru-10-500-millones-de-dolares-equivalente-al-4-6-del-pbi>

- Ministerio de Salud del Perú. (2024, 4 de marzo). *En el Perú, una de cada cuatro personas mayores de 15 años tiene obesidad*. Recuperado de: <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/1040352-en-el-peru-una-de-cada-cuatro-personas-mayores-de-15-anos-tiene-obesidad>
- Molina, T. (2021). *Extrusión en alimentos*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000820179/3/0820179.pdf>
- Mora Zambrano, A. P., Pérez Romero, J. M., & Guzmán, V. (2019). *Calidad Nutricional del Arroz en sus diversos procesos de transformación* (Tesis de grado, Politécnica del Litoral). <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/51721/1/T-109997.pdf>
- Mora, P., & Pérez J. (2019). *Calidad nutricional del arroz en sus diversos procesos de transformación* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/51721>
- Morales, M., & Muñoz, J. (2020). *Efecto de la adición de harina de maíz morado y ácido ascórbico en las características tecnológicas de panetones*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Santa]. <https://hdl.handle.net/20.500.14278/3560>
- Motyka, S.; Koc, K.; Ekiert, H.; Blicharska, E.; Czarnek, K.; Szopa, A. (2022). The Current State of Knowledge on *Salvia hispanica* and *Salviae hispanicae* semen (Chia Seeds). *Molecules*, 27(4), 1207. <https://doi.org/10.3390/molecules27041207>
- Muchlisyyah, J., Shamsudin, R., Kadir Basha, R., Shukri, R., How, S., Niranjan, K., & Onwude, D. (2023). Parboiled rice processing method, rice quality, health benefits and applications. *Agriculture*, 13(7), 1390. <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/7/1390>
- Naigua Chuto, D. A. (2023). *Elaboración de un snack de harina de maíz morado nixtamalizado con adición de harina de quinua* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/21163>

- Nolazco, D., & Araujo, M. (2015). Obtención de un filtrante de maíz morado (*Zea mays* L.), evaluación de pérdida de color y degradación de antocianinas en el almacenaje. In *Anales Científicos*, 76(2), 350. <https://doi.org/10.21704/ac.v76i2.801>
- Organización Mundial de la Salud. (2024). *Malnutrición*. Recuperado de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition>
- Ortiz-Cruz, R., Ramírez-Wong, B., Sánchez-Machado, D., Ledesma-Osuna, A., Torres-Chávez, P., Montaña-Leyva, B., & López-Cervantes, J. (2021). Estabilidad oxidativa y contenido de compuestos fenólicos durante el almacenamiento del salvado de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) extrudido. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 24. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.300>
- Palacios, J., Florez, E., Yaruro, N., Maza, A., & Pascuales, Y. (2021). Elaboración de un pan libre de gluten a base de harina de arroz, mijo y quinua enriquecido con proteína de soya para personas con enfermedad celiaca. *Aprender a vivir para un mundo diferente*, 168-178. <https://www.researchgate.net/profile/Dennys-TenelandaLopez/publication/353274551>
- Peña Martínez, L. P., & Nieves Minaya, E. P. (2018). *Elaboración de galletas dulces a base de harina de trigo (*Triticum sativum*) y chia (*Salvia hispánica* L.) como complemento nutricional en la Corporación APC* [Tesis de grado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. <http://hdl.handle.net/20.500.14067/4381>
- Peñañiel, M. (2022). Evaluación bromatológica de Galletas de arroz Integral (*Oryza sativa*) con algarrobo (*Prosopis alba*) y Gandul (*Cajanus cajan*). Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/PE%C3%91AFIEL%20ZAMORA%20MARCIA%20JOHANNA.pdf>
- Peralta, D., & Delgado, E. (2019). *Determinación de Parámetros Tecnológicos para la Extracción de Aceite de Chia (*Salvia Hispánica* L.) y su Aplicación en la Elaboración de una Salsa Picante, y Evaluación de una Prensa Continua (Expeller)*. [Tesis de grado, Universidad Católica De Santa María, Arequipa]. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/8627>

- Peru Bean. (2019). *Propiedades del maíz morado*. Recuperado de <https://perubean.com/propiedades-del-maiz-morado/>
- Quiroz, Villacres y Taimal (2019) Efecto de la humedad de alimentación y temperatura de extrusión sobre el contenido nutricional de un snack a base de maíz, chocho y papa. *Revista Bases de la Ciencia*. e-ISSN 2588-0764, 4(3), 67-80. [https://doi.org/10.33936/rev\\_bas\\_de\\_la\\_ciencia.v4i3.1911](https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v4i3.1911)
- Quispe, A. (2020). *Estudio estratégico del sector de mercado de snacks en Perú*. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/bitstreams/f7d0a0f4-0c23-4d6a-a5de81d6750425c5/download>
- Quispe, J. (2019). Rendimiento de cuatro variedades de maíz morado (*Zea mays* L.) CANAÁN 2735 msnm, Ayacucho. *Investigación*, 1(1), 95–102. <https://doi.org/10.51440/unsch.revistainvestigacion.2019.1.95>
- Rabanal-Atalaya, M., & Medina-Hoyos, A. (2021). Análisis de antocianinas en el maíz morado (*Zea mays* L.) del Perú y sus propiedades antioxidantes. *Terra Latinoamericana*, 39, e808. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.808>
- Ramírez, A., Guevara, E., Fajardo, G., Hernández, N., González, R., & Morales, G. (2017). Caracterización fisicoquímica de un alimento extruido tipo botana. *Memorias*. <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1023/799>
- Ramírez, A., Guevara, E., Fajardo, G., Hernández, N., González, R. & Morales, G. (2017). Caracterización fisicoquímica de un alimento extruido tipo botana. *Memorias*. ISBN-978-607-95593. <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1023/799>
- Ramos, C. (2024). Desarrollo de Botanas Saludables de Segunda Generación Producidas por Extrusión a Partir de Mezclas de Harinas de Maíz Azul (*Zea mays* L.) y Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) [Tesis de grado, Universidad Autónoma de Sinaloa]. [http://tesis.uas.edu.mx/handle/DGB\\_UAS/777](http://tesis.uas.edu.mx/handle/DGB_UAS/777)
- Rauber, F., Martínez Steele, E., Louzada, M. L. da C., Millett, C., & Monteiro, C. A. (2022). Impacto do consumo de alimentos ultraprocessados na saúde de



populações: uma revisão de escopo. *Cadernos de Saúde Pública*, 37(suppl 1), e00323020. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00323020>

Renoldi, N. (2022). “*Development of functional and innovative cereal-based foods with reduced glycaemic response*”. [Tesis doctoral, University of Udine]. <https://air.uniud.it/retrieve/f6a85a32-6983-409f-b08d-bf8eb63d59a4/Tesi%20Dottorato%20-%20DEF.pdf>

Rioja, A., Alejandra P., Vizaluque, B., Aliaga-Rossel, E., Tejeda, L., Book, O., Molliendo, P. y Peñarrieta, M. (2018). Determinación de la capacidad antioxidante total, fenoles totales, y la actividad enzimática en una bebida no láctea en base a granos de chenopodium quinoa. *Revista Boliviana de Química*, 35(5), 168-176. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S0250-54602018000500006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S0250-54602018000500006&script=sci_arttext)

Rivera-Castro, V. M., Gutiérrez-Dorado, R., Gutiérrez-Grijalva, E. P., Basilio Heredia, J., & Muy-Rangel, M. D. (2024). Botana de maíz y residuos de cáliz de Jamaica: optimización de proceso. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 15(3). <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i3.3666>

Rodríguez, V.(2024). *Optimización del proceso de extrusión de un alimento funcional a base de frijol negro, chía y maíz*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo]. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/5507>

Romaguera, D., Fernández-Barrés, S., Gracia-Lavedán, E., Vendrell, E., Azpiri, M., Ruiz-Moreno, E., ... & Amiano, P. (2021). Consumption of ultra-processed foods and drinks and colorectal, breast, and prostate cancer. *Clinical Nutrition*, 40(4), 1537-1545. [https://www.clinicalnutritionjournal.com/article/S0261-5614\(21\)00121-7/abstract](https://www.clinicalnutritionjournal.com/article/S0261-5614(21)00121-7/abstract)

Saleh, A. S. M., Wang, P., Wang, N., Yang, L., & Xiao, Z. (2019). Brown rice versus white rice: Nutritional quality, potential health benefits, development of food products, and preservation technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 1070–1096. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12449>

Sánchez, A., Gómez-Guerrero, B., & BiLLiRiS, A. (2020). Almacenamiento de arroz: influencia en la inocuidad del grano. *Innotec*, (19), 109-124. <https://www.redalyc.org/journal/6061/606164358015/606164358015.pdf>

- Santamaría-Gómez, J. M., Piloni-Martini, J., Quintero-Lira, A., Bernardino-Nicator, A., & Güemes-Vera, N. (2018). Compuestos fenólicos y actividad antioxidante antes y después del proceso de extrusión. *Investig. Desarro. Cienc. Tecnol. Aliment*, 3, 406-410. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.fcb.uanl.mx/IDCyT/A/files/volume3/4/8/67.pdf>
- Sanygran. (2023). *Extrusión de alta humedad vs extrusión de baja humedad*. Sanygran Alimentos Vegetales. Recuperado de: <https://sanygran.com/es/noticias/extrusion-de-alta-humedad-vs-extrusion-de-baja-humedad/>
- Sarmiento, L. (2023). *Desarrollo de un proceso de extrusión sin almidón añadido, caso: Snack de fruta*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/88053/1110554801.2023.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Senguttuvel, P., Padmavathi, G., Jasmine, C., Sanjeeva, R., Neeraja, C., Jaldhani, V., Beulah, P., Gobinath, R., Aravind, K., Sai, P., Subba, R., Hariprasad, A., Sruthi, K., Shivani, K., Sundaram, M. & Mahalingam, G. (2023). Rice biofortification: breeding and genomic approaches for genetic enhancement of grain zinc and iron contents. *Front. Plant Sci.*, 14,1138408., <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1138408>
- Serna Méndez, T. C. (2022). *Caracterización química y funcional del maíz pigmentado y su aplicación en el desarrollo de un alimento tipo snack* [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/24919/1/1080328748.pdf>
- Suárez, J. (2019). Diseño de fórmula nutricional a base de semillas de chía (salvia hispanica) y quínoa (chenopodium quinoa) para niños en edad escolar de poblaciones vulnerables de la Guajira. [Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. <https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/31692/1/jasuaresco.pdf>
- TechPress (2020). *Cambios nutricionales en la elaboración de snacks expansionados mediante extrusión*. Recuperado de: <https://techpress.es/actualidad/cambios-nutricionales-en-la-elaboracion-de-snacks-expansionados-mediante-extrusion-FDTP1766>

- Tinoco, F. (2024). *Snacks fortificados a partir de harina de lombriz roja californiana (Eisenia fetida), quinua (Chenopodium quinoa) y maíz morado (Zea mays L.)*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. <http://hdl.handle.net/20.500.14142/540>
- Tyl, C., Bresciani, A., & Marti, A. (2021). Recent progress on improving the quality of bran-enriched extruded snacks. *Foods*, 10(9), 2024. <https://doi.org/10.3390/foods10092024>
- Valderrama Amasifuen, C. F. (2019). *Efecto de la proporción de Maíz morado (Zea Mays L.), Quinua (Chenopodium quinoa W.), kiwicha (Amaranthus caudatus L.) en las características fisicoquímicas, y aceptabilidad general de un extruido* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/11405>
- Valderrama, F., Arteaga, H., Flores, A., Obregón, J., & Barraza, G.(2021). Snacks a base de maíz morado, quinua y kiwicha. Características físicas y sensoriales Snacks based on purple corn, quinoa and kiwicha. Physical and sensory characteristics. Universidad Nacional de Trujillo.8(9),978-958.<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.569>
- Valderrama, F., Arteaga, H., Flores, A., Obregón, J., & Barraza-Jáuregui, G. (2021). Snacks a base de maíz morado, quinua y kiwicha. Características físicas y sensoriales Snacks based on purple corn, quinoa and kiwicha. Physical and sensory characteristics. [https://axces.info/bitstream/handle/10.18687/20210101\\_569/FP569.pdf?sequence=1](https://axces.info/bitstream/handle/10.18687/20210101_569/FP569.pdf?sequence=1)
- Valdez, L. (2019). Riesgos dietéticos y alimentos ultraprocesados. *Revista Médica Herediana*. v.30 (2),65-67. <http://dx.doi.org/https://doi.org/10.20453/rmh.v30i2.3544>
- Valicenti, T. (2022). *Obtención y caracterización de hidrolizados con actividad antitrombótica a partir de expeller de chia* [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Luján]. <https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/rediunlu/1520/18%20-Tania%20Valicenti.pdf?sequence=1>
- Vega, C., Pérez-Bravo, F., & Mariotti-Celis, M. (2023). Cantidad, estabilidad y digestibilidad de hidratos de carbono tras el proceso de extrusión: Impacto sobre

el índice glicémico de harinas de consumo habitual en Chile. *Revista chilena de nutrición*, 50(2), 233-241. <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182023000200233>

Velasquez, M., & Florez Huillca, 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 de Abad del Cusco].

[https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/10435/253T20242024\\_TC.pdf](https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/10435/253T20242024_TC.pdf)

Verona, A. (2022). *Extruido de grits de maíz (Zea mays) con harinas de quinua (Chenopodium quinoa) y kiwicha (Amarantus caudatus) germinadas* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Santa].

<https://hdl.handle.net/20.500.14278/4144>

Vinces, R., & Zavala, V. (2020). *Obtención de harina nixtamalizada de maíz morado (Zea Mays L.) por extrusión*. [Tesis de grado, Universidad San Ignacio de Loyola].

<https://hdl.handle.net/20.500.14005/11294>

Vinces, R., & Zavala, V. (2020). *Obtención de harina nixtamalizada de maíz morado (Zea Mays L.) por extrusión* [Tesis de grado, Universidad San Ignacio de Loyola].

Repositorio USIL. <https://repositorio.usil.edu.pe/handle/20.500.14005/11294>

Von, F. (2022). *Identificación de los impulsores de la aceptación sensorial e intención de compra de snacks en consumidores guatemaltecos*. [Tesis de grado, Universidad del Valle de Guatemala]. <https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/4715>

Yu, X., Zhang, J., Wang, L., Duan, Y., Wang, Z., Xiao, Z., & Wang, P. (2022). Changes in physicochemical properties and structural characteristics of rice starch during extrusion processing: the role of glutelin and different extrusion zones. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 82, 103163.

<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103163>

Yupanqui, Y. (2023). *Predicción de vida útil de harina de kiwicha (Amaranthus caudatus) a partir de isoterma de adsorción de agua para diferentes modelos matemáticos* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].

<http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/5198>

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1.

*Proceso de la obtención de la harina de arroz.*



**Anexo 1.1.** *<sup>a</sup>Recepción del arroz; <sup>b</sup>Molienda del arroz; <sup>c</sup>Harina de arroz obtenida.*

### Anexo 2.

*Proceso de la obtención de la harina de maíz morado.*



**Anexo 2.1.** *<sup>a</sup>Granos de Maíz morado; <sup>b</sup>Lavado y desinfección de los granos; <sup>c</sup>Preparación para el secado de los granos.*



**Anexo 2.2.** *<sup>a</sup>Secado de los granos de maíz morado; <sup>b</sup>Molienda de los granos; <sup>c</sup>Harina de Maíz morado obtenida.*

**Anexo 3.**

*Proceso de la obtención de la harina de torta desgrasada de chía.*



**Anexo 3.1.** *<sup>a</sup>Recepción de semillas de Chía, <sup>b</sup>Prensado de las semillas; <sup>c</sup>Obtención de la torta desgrasada de chía en forma de pellets.*



**Anexo 3.2.** *<sup>a</sup>Secado de la torta de chía, <sup>b</sup>Molienda de la torta; <sup>c</sup>Harina de torta desgrasada de chía obtenida.*

**Anexo 4.**

*Proceso de elaboración de snack extruido.*



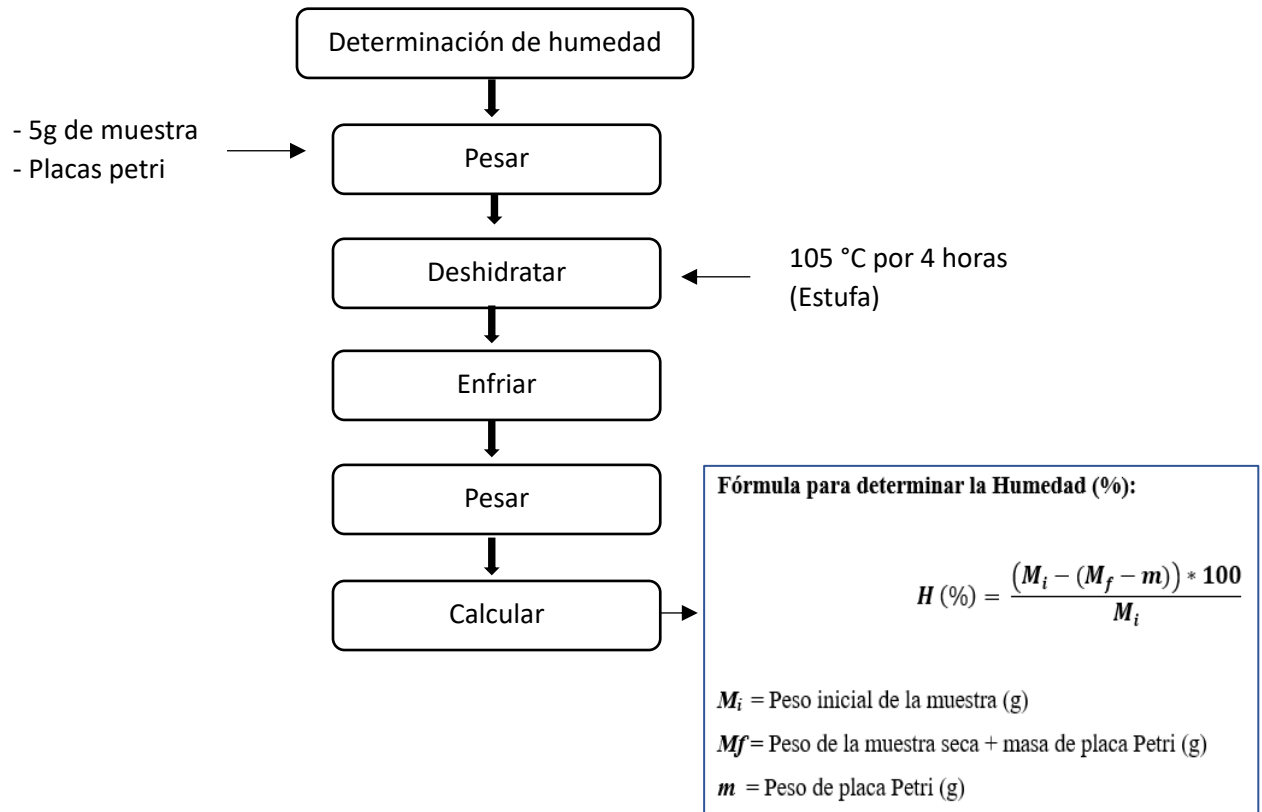
**Anexo 4.1.** *<sup>a</sup>Proceso de extrusión, <sup>b</sup>Snacks extruidos del proceso de extrusión; <sup>c</sup>Saborizado de los extruidos.*



**Anexo 4.2.** *<sup>a</sup>Secado de los snacks extruidos, <sup>b</sup>Snacks extruidos de la investigación envasados.*

## Anexo 5.

### Determinación de contenido de Humedad.



Anexo 5.1. Diagrama de flujo para la determinación de humedad (%).



Anexo 5.2.<sup>a</sup>Pesado de placa petri, <sup>b</sup>Pesado de 5g de muestra; <sup>c</sup>Muestras colocadas en la estufa; <sup>d</sup>Pesado de la muestra final.

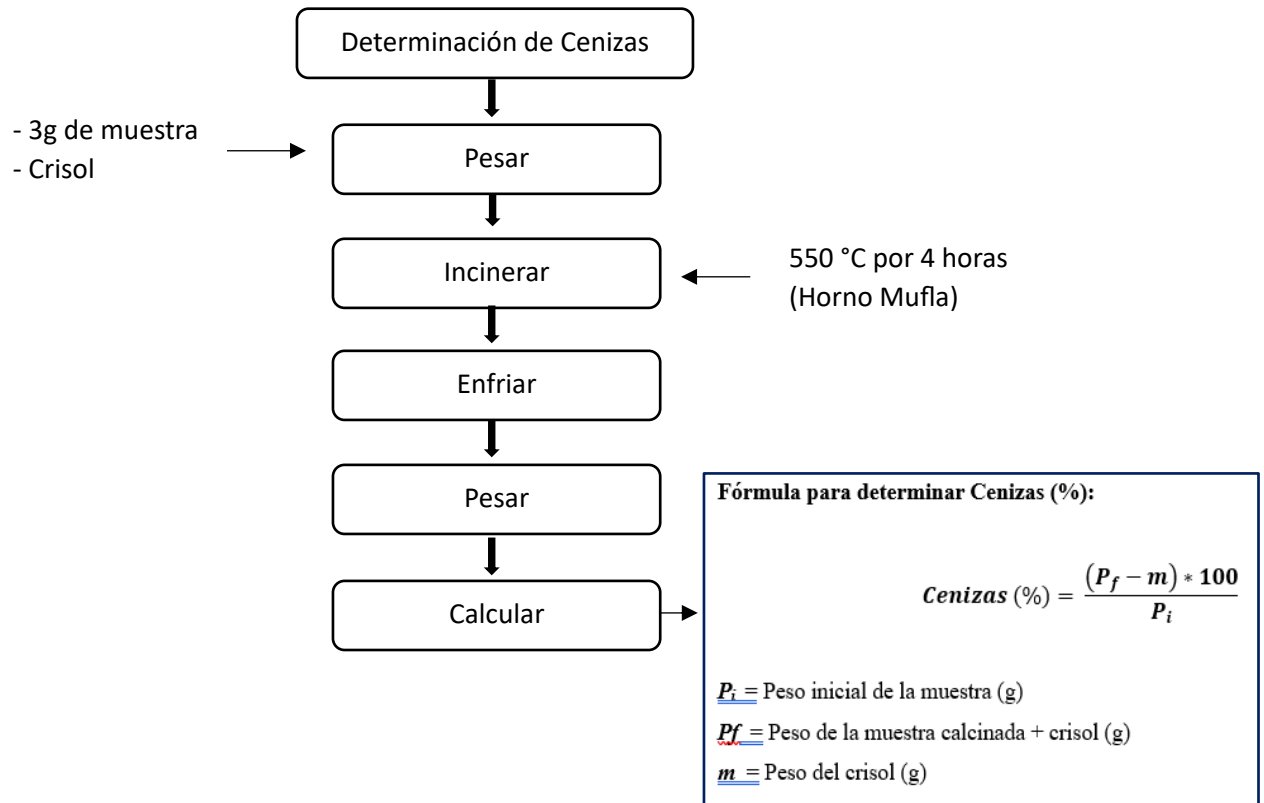


Anexo 5.3. Materias primas, harinas y extruido óptimo analizados.



**Anexo 6.**

*Determinación de contenido de Cenizas.*



**Anexo 6.1.** Diagrama de flujo para la determinación de Cenizas (%).



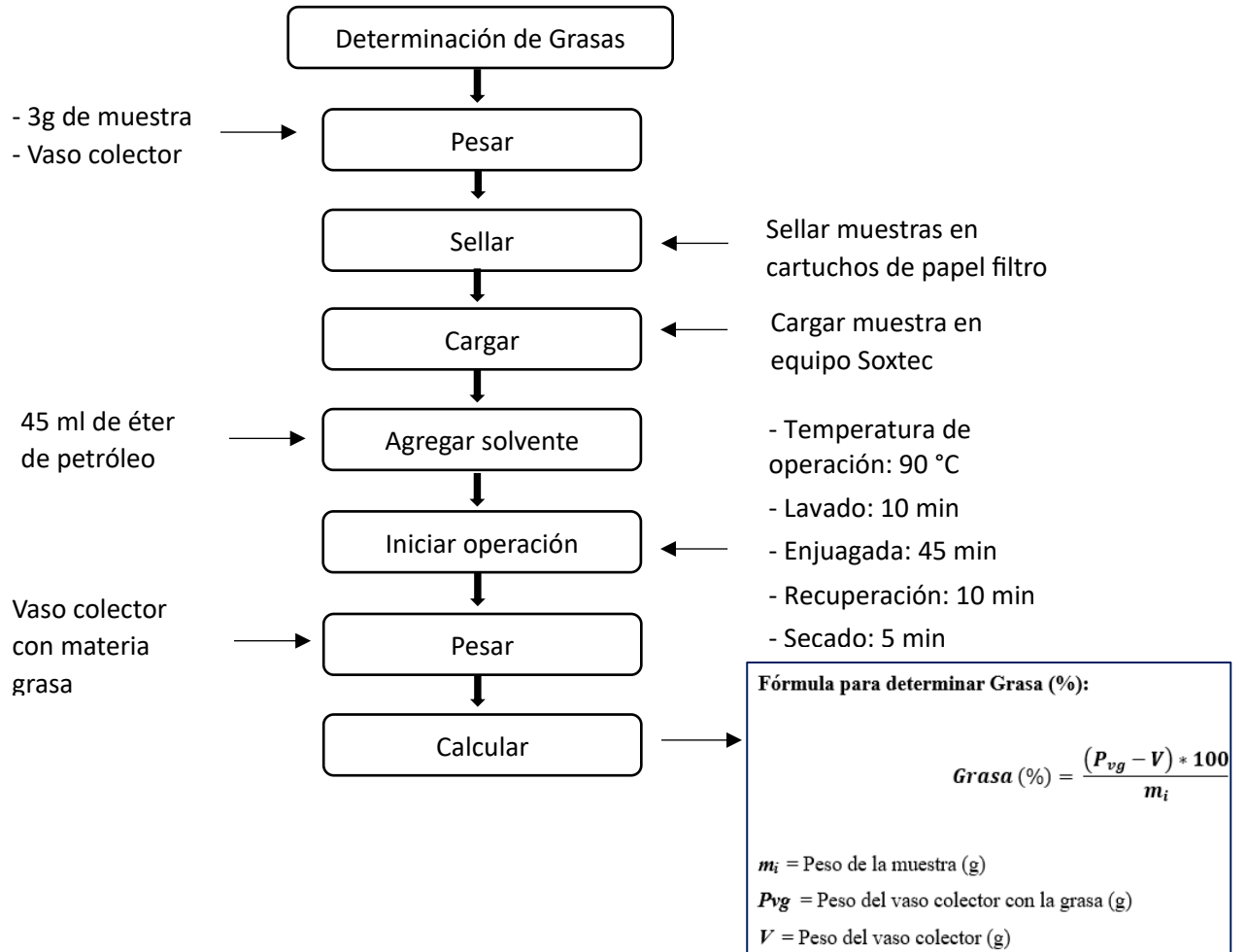
**Anexo 6.2.** <sup>a</sup>Pesado del crisol, <sup>b</sup>Pesado de 3g de muestra; <sup>c</sup>Muestras colocadas en la Mufla; <sup>d</sup>Pesado de la muestra final.



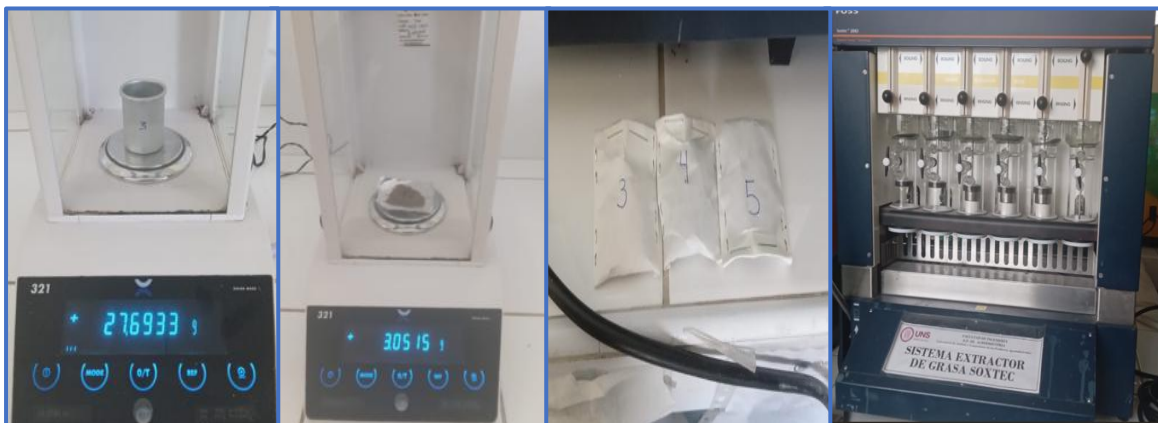
**Anexo 6.3.** Materias primas, harinas y extruido óptimo analizados.

## Anexo 7.

### Determinación de contenido de Grasas.



### Anexo 7.1. Diagrama de flujo para la determinación de Grasa (%).



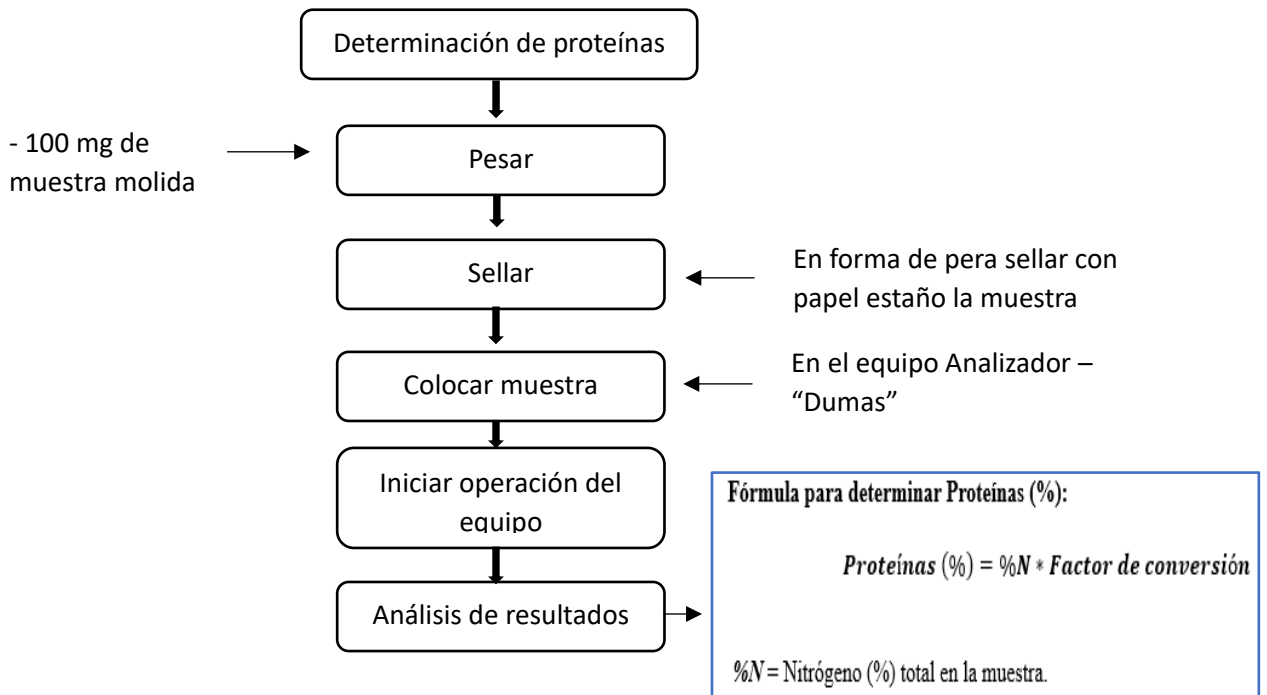
**Anexo 7.2.** <sup>a</sup>Pesado del vaso recolector vacíol, <sup>b</sup>Pesado de 3g de muestra; <sup>c</sup>Muestras colocadas en cartuchos; <sup>d</sup>Equipo de extracción de grasa “Soxtec” en funcionamiento.



**Anexo 7.2.** <sup>a</sup>Vasos recolectores con materia grasa extraída, <sup>b</sup>Pesado de vaso recolector con materia grasa.

**Anexo 8.**

*Determinación de contenido de proteínas.*



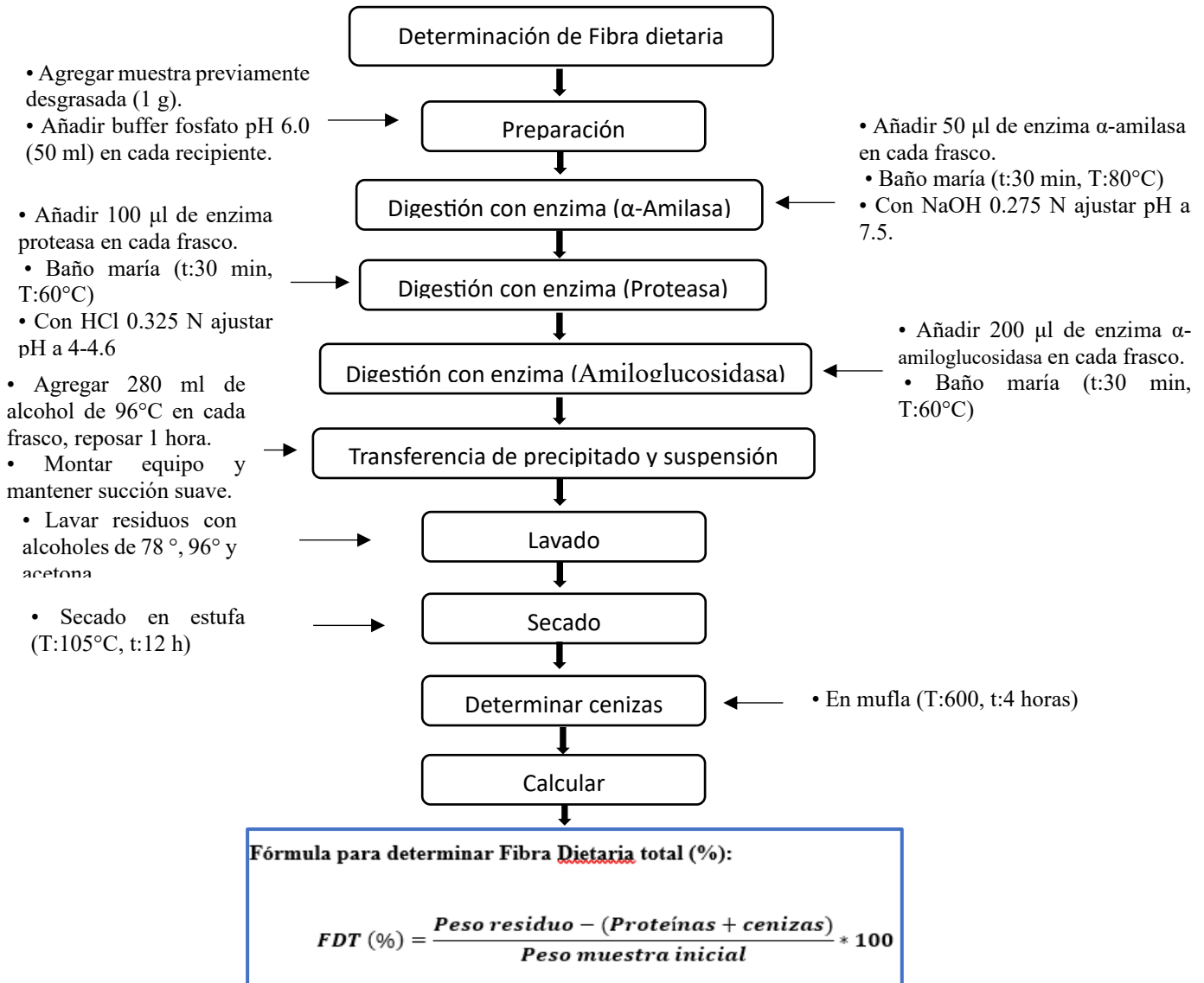
**Anexo 8.1.** *Diagrama de flujo para la determinación de Proteínas (%).*



**Anexo 8.2.** <sup>a</sup>Pesado de la muestra, <sup>c</sup>colocación de la muestra en el equipo; <sup>e</sup>Equipo analizador "Dumas"; <sup>a</sup>nálisis de la muestra y entrega de resultados.

## Anexo 9.

### Determinación de contenido de fibra dietaria.



Anexo 9.1. Diagrama de flujo para la determinación de Fibra dietaria (%).



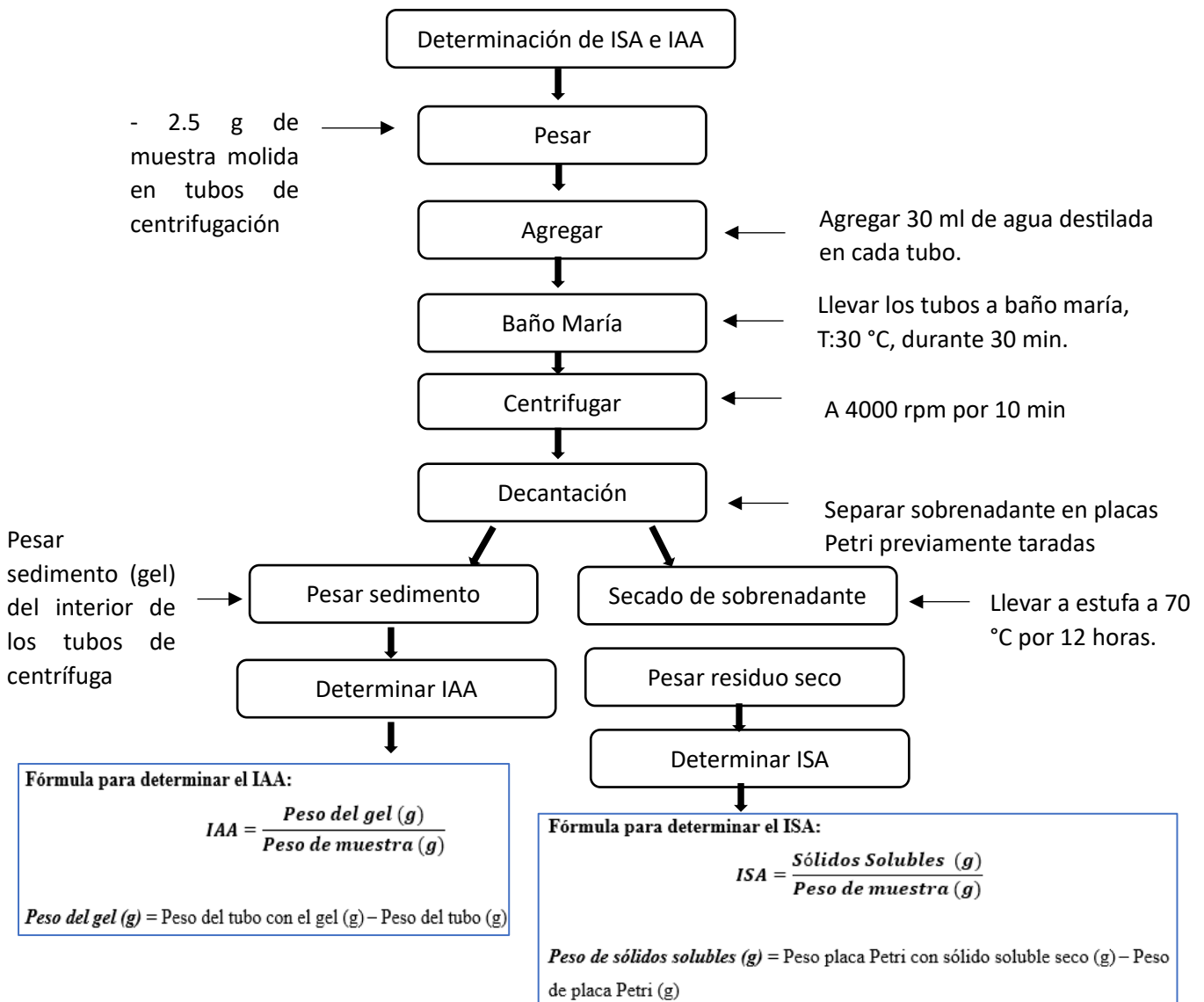
Anexo 9.2. <sup>a</sup>Kit enzimático, <sup>b</sup>muestras desgrasadas; <sup>c</sup>Muestras en frascos, <sup>d</sup>Equipo de determinación de fibra.



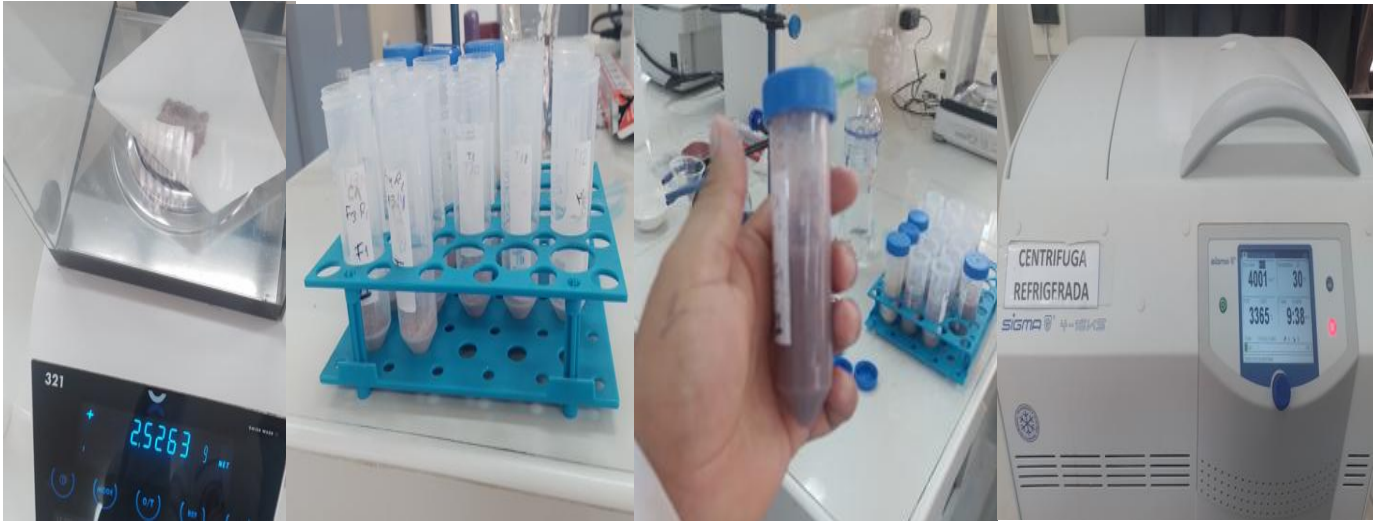
Anexo 9.2.<sup>a</sup>Digestión enzimático de las muestras, <sup>b</sup>Secado de muestras; <sup>d</sup>Determinación de cenizas.

**Anexo 10.**

*Determinación del índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción de agua (IAA) de extruidos.*



Anexo 10.1. Diagrama de flujo para la determinación del ISA e IAA.



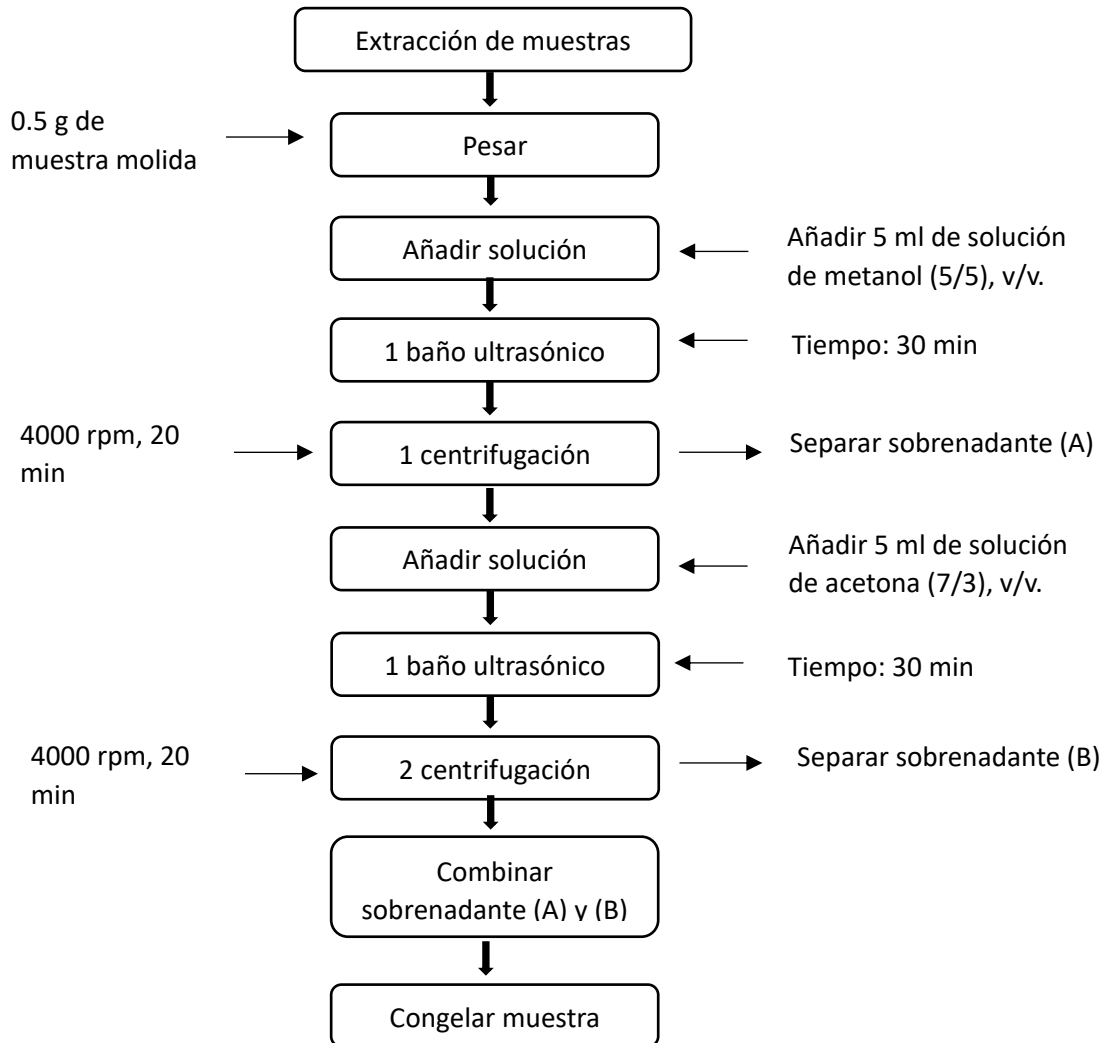
**Anexo 10.2.**<sup>a</sup>Pesado de muestra, <sup>b</sup>muestras en tubos de centrifuga; <sup>c</sup>Muestras con 30 ml de agua destilada, <sup>d</sup>Centrifugación.



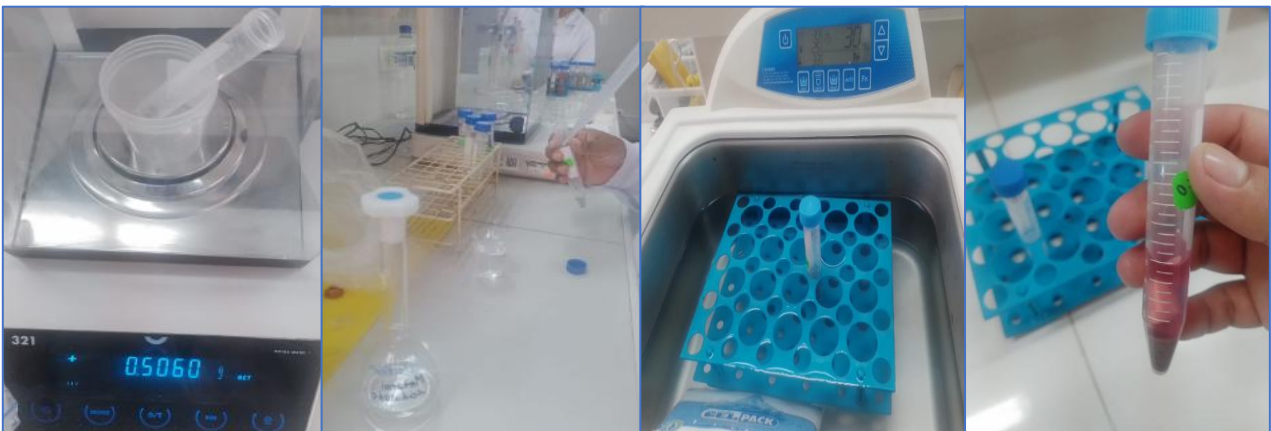
**Anexo 10.3.**<sup>a</sup>Gel separado del sobrenadante, <sup>b</sup>Pesado del gel; <sup>c</sup>Separación del sobrenadante, <sup>d</sup>Secado de sobrenadante.

## Anexo 11.

*Extracción de la muestra para análisis de capacidad antioxidante y polifenoles.*



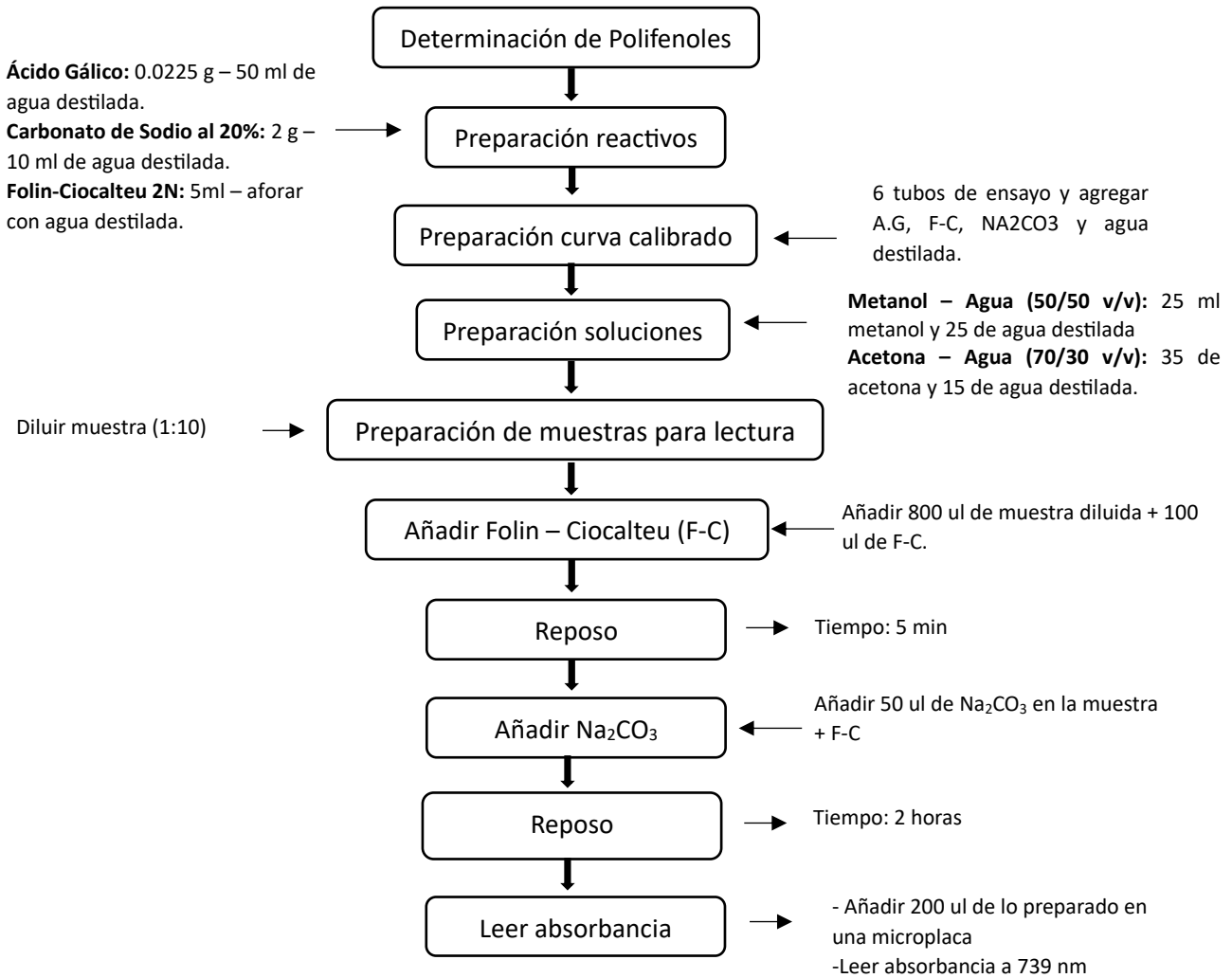
**Anexo 11.1.** *Diagrama de flujo para la extracción de muestra.*



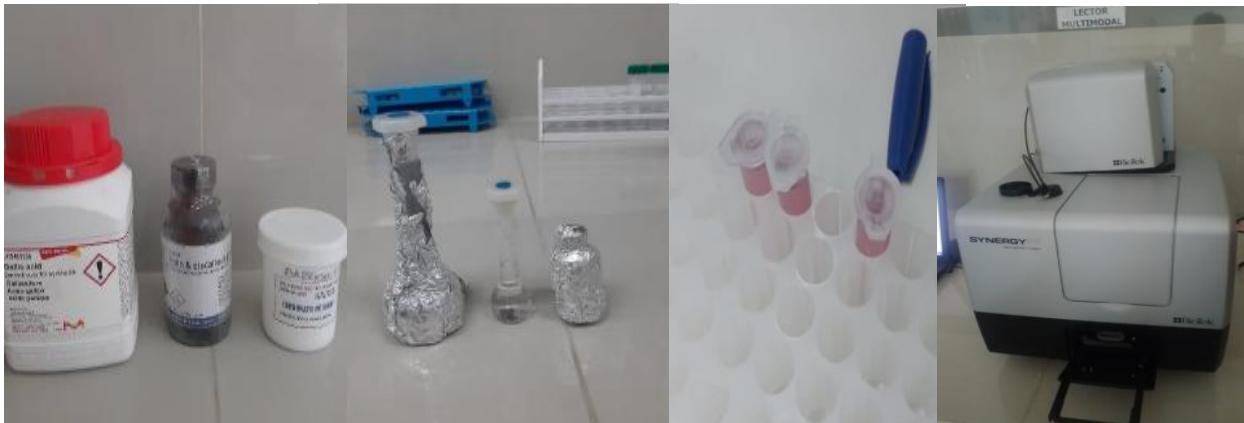
**Anexo 11.2.** *<sup>a</sup>Pesado de la muestra, <sup>b</sup> Adición de metanol de metanol ; <sup>c</sup>Baño ultrasónico, <sup>d</sup>Separación del sobrenadante.*

## Anexo 12.

### Determinación de polifenoles.



### Anexo 12.1. Diagrama de flujo para la determinación de polifenoles.

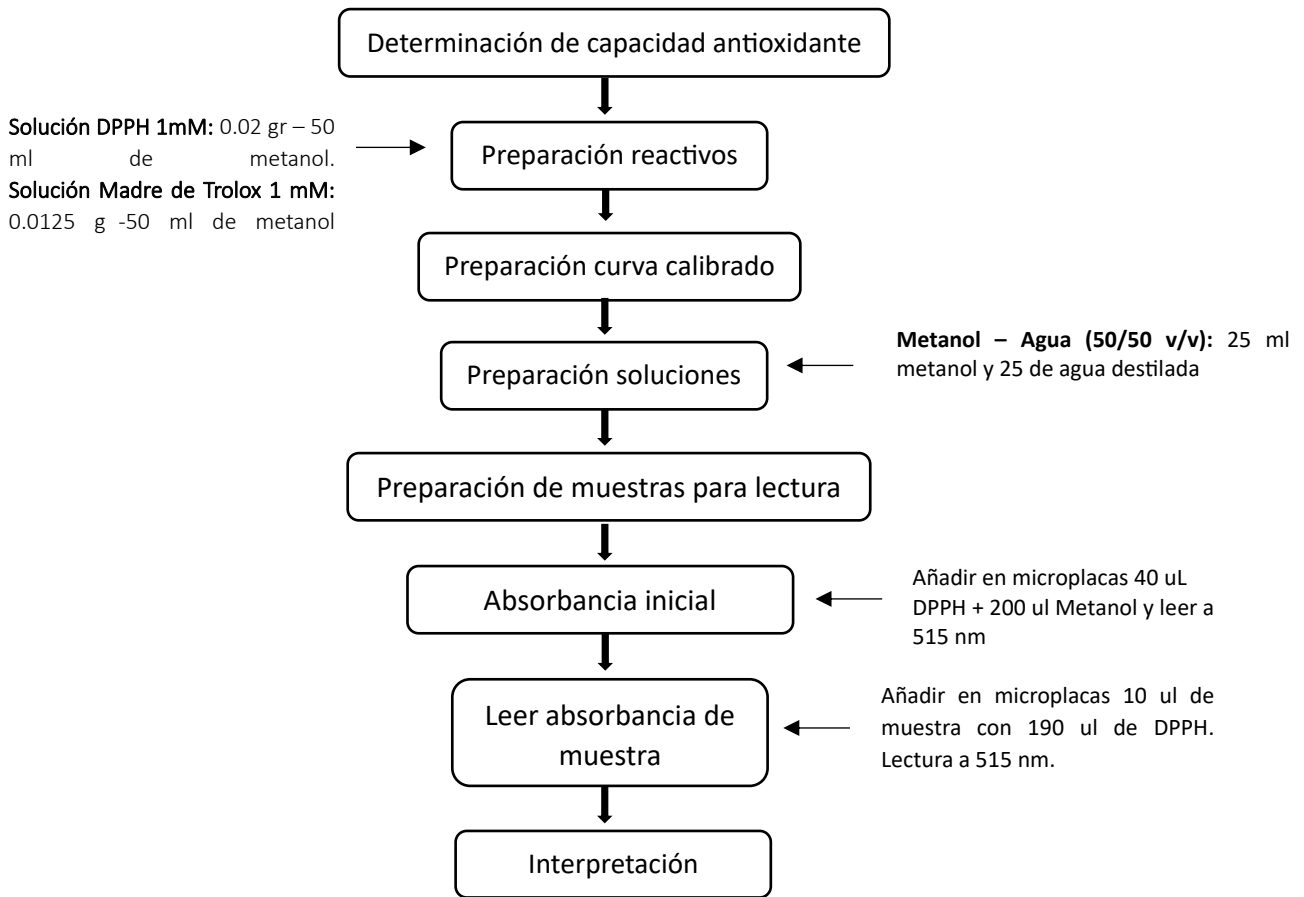


Anexo 12.2.<sup>a</sup>Reactivos, <sup>b</sup> Soluciones de ácido gálico, carbonato de sodio, y F-C ;  
<sup>c</sup>Muestras diluidas, <sup>d</sup>Lector multimodal.



### Anexo 13.

#### Determinación de capacidad antioxidante



Anexo 13.1. Diagrama de flujo para la determinación de capacidad antioxidante.



Anexo 13.2.<sup>a</sup>Reactivo DPPH; <sup>b</sup> Pesado de reactivo DPPH; <sup>c</sup>Soluciones de reactivos DPPH y Trolox; <sup>d</sup>Muestras acondicionadas, <sup>e</sup>Lector multimodal.

**Anexo 14.**

*Snack extruido de formulación óptima.*



**Anexo 15.**

*Ficha de evaluación sensorial.*

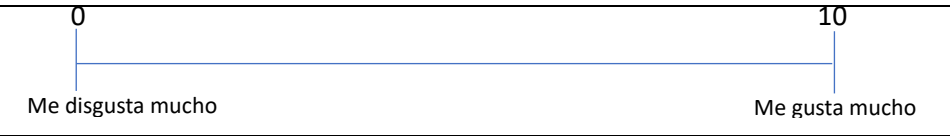
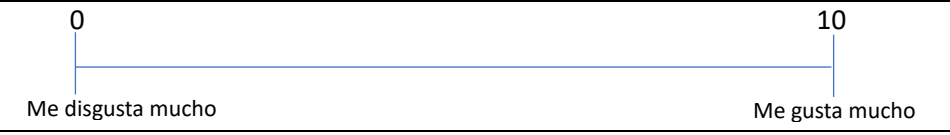
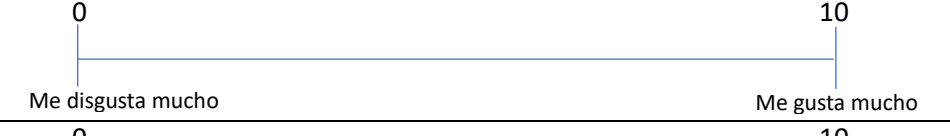
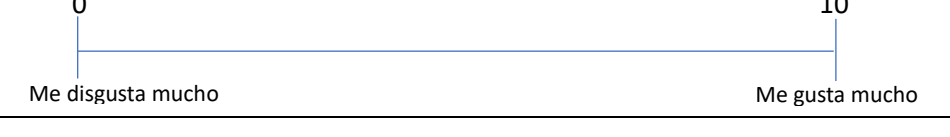
**“Evaluación sensorial de snack extruido”**

*Apellidos y nombres:*

*Edad:*

*Fecha:*

**Instrucciones:** Favor de evaluar las siguientes muestras de snack extruido, evalúe las muestras e indique en la escala mostrada debajo de 0 a 10, donde **0** significa “**Me disgusta mucho**” y **10** “**me gusta mucho**”. Enjuáguese la boca con agua al momento de degustar entre una muestra y otra.

<i>Snack extruido: F1</i>	
<i>Atributo</i>	<i>Escala</i>
<i>Olor</i>	
<i>Sabor</i>	
<i>Color</i>	
<i>Textura</i>	

<i>Snack extruido: F2</i>	
<i>Atributo</i>	<i>Escala</i>
<i>Olor</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Sabor</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Color</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Textura</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>

<i>Snack extruido: F3</i>	
<i>Atributo</i>	<i>Escala</i>
<i>Olor</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Sabor</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Color</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Textura</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>

<i>Snack extruido: F4</i>	
<i>Atributo</i>	<i>Escala</i>
<i>Olor</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Sabor</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Color</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Textura</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>

<i>Snack extruido: F5</i>	
<i>Atributo</i>	<i>Escala</i>
<i>Olor</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Sabor</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Color</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Textura</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>

<i>Snack extruido: F6</i>	
<i>Atributo</i>	<i>Escala</i>
<i>Olor</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Sabor</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Color</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Textura</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>

<i>Snack extruido: F7</i>	
<i>Atributo</i>	<i>Escala</i>
<i>Olor</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Sabor</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Color</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Textura</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>

<i>Snack extruido: F8</i>	
<i>Atributo</i>	<i>Escala</i>
<i>Olor</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Sabor</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Color</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Textura</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>

<i>Snack extruido: F9</i>	
<i>Atributo</i>	<i>Escala</i>
<i>Olor</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Sabor</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Color</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Textura</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>

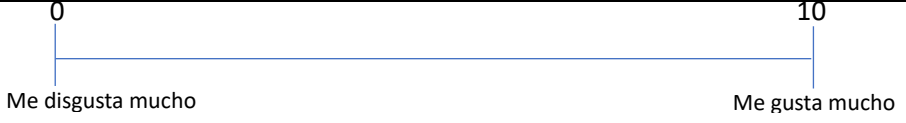

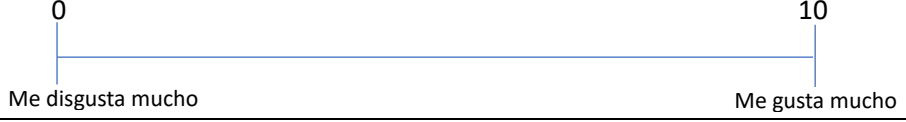
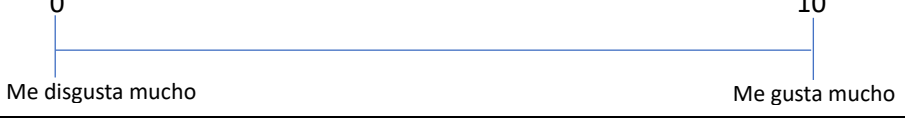
<i>Snack extruido: F10</i>	
<i>Atributo</i>	<i>Escala</i>
<i>Olor</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Sabor</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Color</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Textura</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>

<i>Snack extruido: F11</i>	
<i>Atributo</i>	<i>Escala</i>
<i>Olor</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Sabor</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Color</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Textura</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>



<i>Snack extruido: F12</i>	
<i>Atributo</i>	<i>Escala</i>
<i>Olor</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Sabor</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Color</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Textura</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>

<i>Snack extruido: F13</i>	
<i>Atributo</i>	<i>Escala</i>
<i>Olor</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Sabor</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Color</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>
<i>Textura</i>	<p>0 10</p> <p>Me disgusta mucho Me gusta mucho</p>

<i>Snack extruido: F14</i>	
<i>Atributo</i>	<i>Escala</i>
<i>Olor</i>	0 <span style="float: right;">10</span> 
<i>Sabor</i>	0 <span style="float: right;">10</span> 
<i>Color</i>	0 <span style="float: right;">10</span> 
<i>Textura</i>	0 <span style="float: right;">10</span> 

Anexo 15.1. Análisis sensorial llevado a cabo en la planta piloto agroindustrial.



**Anexo 16.** Cálculo del aporte energético del snack extruido de formulación óptima.

Para el cálculo del valor energético del snack extruido de formulación óptima se utilizó el método Atwater. Se utilizó los resultados del análisis químico proximal del snack extruido de la Tabla 39. (Carbohidratos (76.54 g/100g); proteínas (10.32 g/100g); grasas(0.6634g/100g)).

**Fórmula para determinar el valor energético:**

$$\text{Energía (kcal)} = \left( \frac{4 \text{ kcal}}{\text{g}} * \text{g de carbo.} + \frac{4 \text{ kcal}}{\text{g}} * \text{g de prot.} + \frac{9 \text{ kcal}}{\text{g}} * \text{g de gras.} \right)$$

$$\text{Energía (kcal)} = \left( \frac{4 \text{ kcal}}{\text{g}} * 76.54 \text{g de carbo.} + \frac{4 \text{ kcal}}{\text{g}} * 10.32 \text{g de prot.} + \frac{9 \text{ kcal}}{\text{g}} * 0.6634 \text{g de gras.} \right)$$

$$\text{Energía (kcal)} = 353.41 \frac{\text{kcal}}{100\text{g}}$$

*GRACIAS*