

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**Programa de Doctorado en Ingeniería Agroindustrial**



**UNS**  
ESCUELA DE  
**POSGRADO**

---

---

**Evaluación tecnológica y funcional de snacks obtenidos por extrusión de harina de Maíz Morado (*Zea mays L.*) y harina de Quinoa (*Chenopodium quinoa*) germinadas.**

---

---

**Tesis para optar el grado de Doctor en  
Ingeniería Agroindustrial**

**Autor:**

**Ms. Gonzales Capcha, John Kelby**  
**Código ORCID: 0000-0001-7310-0502**

**Asesor:**

**Dr. Sánchez Vaca, Daniel Angel**  
**Código ORCID: 0000-0003-4326-1852**  
**DNI. N° 18146173**

**Línea de Investigación:**

**Producción y evaluación de productos agroindustriales**

**Nuevo Chimbote - PERÚ**  
**2025**



**UNS**  
ESCUELA DE  
POSGRADO

### CONSTANCIA DE ASESORAMIENTO DE LA TESIS

Yo, Daniel Angel Sanchez Vaca, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la Tesis de doctorado titulada: "Evaluación tecnológica y funcional de snacks obtenidos por extrusión de harina de Maíz Morado (*Zea mays* L.) y harina de Quinoa (*Chenopodium quinoa*) germinadas.", elaborado por el doctorando John Kelby Gonzales Capcha, para obtener el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Agroindustrial en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, 22 de Setiembre del 2025

Dr. Daniel Angel Sanchez Vaca

ASESOR

CÓDIGO ORCID 0000-0003-4326-1852

DNI N° 18146173



**UNS**  
ESCUELA DE  
POSGRADO

**HOJA DEL AVAL DEL JURADO EVALUADOR**

**“Evaluación tecnológica y funcional de snacks obtenidos por extrusión de harina de Maíz Morado (*Zea mays L.*) y harina de Quinoa (*Chenopodium quinoa*) germinadas.”**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR EN INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



.....

Dr. Wilson Daniel Símpalo López

PRESIDENTE

CÓDIGO ORCID: 0000-0002-8397-7145

DNI N°: 40186130



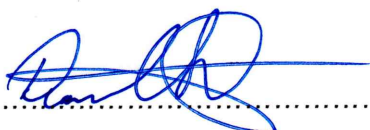
.....

Dr. Víctor Alejandro Ascurra Valle

SECRETARIO

CÓDIGO ORCID: 0000-0001-5755-5267

DNI N°: 17866619



.....

Dr. Daniel Angel Sanchez Vaca

VOCAL

CÓDIGO ORCID: 0000-0003-4326-1852

DNI N° 18146173



**UNS**  
ESCUELA DE  
POSGRADO

## ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

A los diecinueve días del mes de febrero del año 2025, siendo las 18:00 horas, en el aula P-01 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 110-2025-EPG-UNS de fecha 07.02.2025, conformado por los docentes: Dr. Wilson Daniel Símpalo López (Presidente), Dr. Víctor Alejandro Ascurra Valle (Secretario) y Dr. Daniel Angel Sánchez Vaca (Vocal); con la finalidad de evaluar la tesis titulada : **"EVALUACIÓN TECNOLÓGICA Y FUNCIONAL DE SNACKS OBTENIDOS POR EXTRUSIÓN DE HARINA DE MAÍZ MORADO (ZEA MAYS L.) Y HARINA DE QUINUA (CHENOPODIUM QUINOA) GERMINADAS"**; presentado por el tesista **John Kelby Gonzales Capcha**, egresado del programa de **Doctorado en Ingeniería Agroindustrial**.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 132-2025-EPG-UNS de fecha 14 de febrero de 2025.

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

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

Siendo las 19:00 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.

  
Dr. Wilson Daniel Símpalo López  
Presidente

  
Dr. Víctor Alejandro Ascurra Valle  
Secretario

  
Dr. Daniel Angel Sánchez Vaca  
Vocal/Asesor

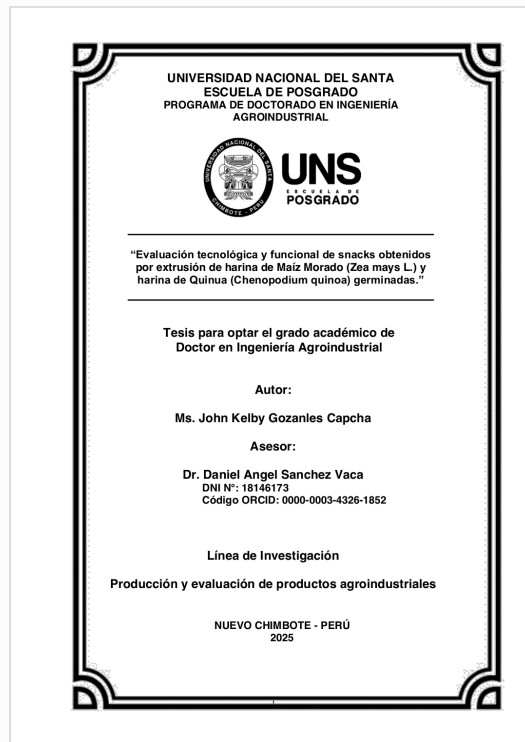


## Recibo digital

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: user user  
Título del ejercicio: "Evaluación tecnológica y funcional de snacks obtenidos por e...  
Título de la entrega: INFORME DE TESIS FINAL - DOCTORADO IMPRIMIR.docx  
Nombre del archivo: INFORME\_DE\_TESIS\_FINAL\_-\_DOCTORADO\_IMPRIMIR.docx  
Tamaño del archivo: 17.57M  
Total páginas: 184  
Total de palabras: 46,810  
Total de caracteres: 257,211  
Fecha de entrega: 05-feb-2025 12:09p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 2580460393



INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>16%</b>	<b>16%</b>	<b>5%</b>	<b>4%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.uns.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.unsta.edu.ar:8080</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>digital.csic.es</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.lamolina.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>Submitted to Universidad Nacional del Santa</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorio.uta.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>eprints.uanl.mx</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>www.virtualpro.co</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>10</b>	<b>repositorio.ucsg.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>11</b>	<b>"Características de grãos e amido de diferentes cultivares de quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.)", 'Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestao da Informacao Academica (AGUIA)'</b>	<b>&lt;1%</b>

## **DEDICATORIO**

A Dios, fuente de sabiduría y guía, que ha iluminado mi camino en esta travesía académica, brindándome fuerza y perseverancia en cada paso.

A mis queridos padres quienes, con su amor incondicional, apoyo inquebrantable y sacrificios innumerables, han sido los pilares de mi educación. Su ejemplo de dedicación y entrega ha sido mi inspiración constante.

A mis adoradas hermanas en especial a mi hermana Karin, compañeras de vida y cómplices de sueños, quienes han compartido conmigo las alegrías y los desafíos de este viaje. Su aliento y complicidad han sido un motor fundamental en mi camino hacia la realización de este logro.

A todos ustedes, mi gratitud eterna. Esta tesis es el resultado de la bendición de Dios, el amor infinito de mis padres y el apoyo incondicional de mis hermanas. Que este trabajo sea un modesto tributo a su amor y dedicación, y una muestra de mi profundo agradecimiento por todo lo que han hecho por mí.

**John Kelby Gonzales Capcha**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional del Santa por brindarme la oportunidad de formarme académicamente y por proporcionarme los recursos necesarios para llevar a cabo este proyecto de investigación.

Agradezco especialmente a mi asesor, el Dr. Daniel, por su invaluable orientación, su dedicación incansable y su profundo conocimiento en el área de estudio. Su guía experta ha sido fundamental para la realización exitosa de esta tesis.

También deseo agradecer a todos los docentes de la Escuela de Posgrado por compartir sus conocimientos, sus experiencias y su tiempo conmigo a lo largo de este programa. Sus enseñanzas han enriquecido enormemente mi formación académica y han contribuido al desarrollo de este trabajo de investigación.

A la Universidad Nacional del Santa, y Escuela de Posgrado, mi más sincero reconocimiento. Su apoyo y colaboración han sido fundamentales en mi trayectoria académica y en la culminación de este proyecto.

Con gratitud,

**John Kelby Gonzales Capcha**



## ÍNDICE

	Pag
Resumen	viii
Abstract	ix
I. Introducción	1
II. Marco teórico	4
2.1. Antecedentes	4
2.2. Extrusión	7
2.2.1. Efecto del proceso de extrusión sobre el valor nutricional de Proteínas	9
2.2.2. Efecto del proceso de extrusión sobre los productos harinosos Quinua	10
2.2.3. La extrusora y sus características	11
2.2.4. Granos Germinados	15
2.2.5. Maíz Morado	20
2.2.6. Quinua	21
2.2.7. Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante	25
2.2.8. Almidón de la quinua y sus propiedades	26
2.2.9. Características químicas.	26
III. METODOLOGÍA	29
3.1. Materiales	29
3.1.1. Bienes	29
3.1.2. Materiales, reactivos y herramientas	29
3.2. Métodos	30
3.2.1. Método(s) de la investigación	30
3.2.2. Diseño	30
3.2.3. Población y muestra	32
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	32
3.4. Procedimiento de la recolección de datos	33
3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de los resultados	34
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1. Composición químico proximal de la harina de maíz morado (Zea mays L.) y harina de quinua (Chenopodium quinoa) germinadas	35
4.2. Características composicionales (grasa y proteínas) de snacks obtenidos por extrusión de la harina de maíz morado (Zea mays L.) y harina de quinua (Chenopodium quinoa) germinadas a distintas condiciones de temperatura	37
4.3. Características Tecnológicas (textura, color, densidad, índice de Absorción de Agua, Índice de solubilidad de agua y poder de hinchamiento) de snacks obtenidos por extrusión de la harina de maíz morado (Zea mays L.) y harina de quinua (Chenopodium quinoa) germinadas a distintas condiciones de temperatura	48
4.4. Características funcionales (capacidad antioxidante y contenido total de polifenoles) de snacks obtenidos por extrusión de la harina de maíz morado (Zea mays L.) y harina de quinua (Chenopodium quinoa) germinadas a distintas condiciones de temperatura.	87
4.5. Optimización de snacks obtenidos por extrusión de la harina de maíz morado (Zea mays L.) y harina de quinua (Chenopodium quinoa) germinadas a distintas condiciones de temperatura.	99

4.6.	Características Sensoriales de snacks obtenidos por extrusión de la harina de maíz morado ( <i>Zea mays</i> L.) y harina de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> ) germinadas a distintas condiciones de temperatura de extrusión.	108
V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	115
VI	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	118
	ANEXOS	135

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pag
Tabla 1: Matriz de experimentos (Diseño de mezclas combinada) para elaborar un snack obtenido por extrusión de harina de maíz morado ( <i>Zea mays</i> L.) y harina de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> ) germinadas a distintas condiciones de temperatura de extrusión.	31
Tabla 2: Composición químico proximal de la harina de Quinua y Maíz Morado germinado	35
Tabla 3: Resultados del contenido Composicional de Grasas y Proteínas de snacks para cada formulación.	38
Tabla 4: Tabla 4: Resultados de Características Tecnológicas (textura, color, densidad, índice de Absorción de Agua, Índice de solubilidad de agua y poder de hinchamiento) de snacks para cada formulación.	49
Tabla 5: Resultados de Características funcionales (capacidad antioxidante y contenido total de polifenoles) de snacks para cada formulación.	94
Tabla 6: Restricciones para la Optimización de snacks	100
Tabla 7: Análisis de Deseabilidad o formulación Optima	107
Tabla 8: Formulaciones de evaluación Sensorial de snacks	108
Tabla 9: Análisis de Varianza para Aceptación - Suma de Cuadrados Tipo III	109
Tabla 10: Análisis de Varianza para Apariencia - Suma de Cuadrados Tipo III	110
Tabla 11: Análisis de Varianza para sabor - Suma de Cuadrados Tipo III	120
Tabla 12: Análisis de Varianza para textura - Suma de Cuadrados Tipo III	121
Tabla 13: Análisis de Varianza para color - Suma de Cuadrados Tipo III	122

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag
Figura 1. Dibujo esquemático de una extrusora de un solo tornillo.1.	13
alimentador, 2. Motor, 3. Sistema de refrigeración, Resistencia eléctrica	14
Figura 2. Esquema de las áreas de los tornillos de una extrusora de un solo tornillo	15
Figura 3. Granos de arroz integral durante la germinación inducida durante 36 (treinta y seis) horas.	19
Figura 4: Maíz Morado	23
Figura 5: Sección longitudinal que muestra el grano de quinua.El pericarpio (PE) cubre el grano; (T) Episperma o Testa; (C) cotiledones; (ES) endospermo; (R) radícula y (P) perispermo	25
Figura 6: Interrelaciones de las propiedades del almidón	29
Figura 7: Representación gráfica de superficie de contornos de contenido de grasa de snacks	44
Figura 8: Representación gráfica de superficie de respuesta de contenido de grasa de snacks	44
Figura 9: Representación gráfica de superficie de contornos de contenido de proteínas de snacks	49
Figura 10: Representación gráfica de superficie de respuesta de contenido de proteínas de snacks	49
Figura 11: Representación gráfica de superficie de contornos de contenido de Textura (trabajo total) de snacks	57
Figura 12: Representación gráfica de superficie de respuesta de contenido de Textura (trabajo total) de snacks	57
Figura 13: Representación gráfica de superficie de contornos de contenido de Textura (dureza) de snacks.	63
Figura 14: Representación gráfica de superficie de contornos de contenido de Textura (dureza) de snacks.	64
Figura 15: Representación gráfica de superficie de contornos del ángulo de tonalidad de snacks	68
Figura 16: Representación gráfica de superficie de respuesta del Angulo de tonalidad de snacks	68
Figura 17: Representación gráfica de superficie de contornos de la densidad de snacks	74
Figura 18: Representación gráfica de superficie de respuesta de densidad de snacks	74
Figura 19: Representación gráfica de superficie de contornos del Índice de Absorción de Agua (IAA) de snacks.	79
Figura 20: Representación gráfica de superficie de respuesta del Índice de Absorción de Agua (IAA) de snacks.	79
Figura 21: Representación gráfica de superficie de contornos del Índice de Solubilidad de Agua (ISA) de snacks	84
Figura 22: Representación gráfica de superficie de respuesta del Índice de Solubilidad de Agua (ISA) de snacks	84
Figura 23: Representación gráfica de superficie de contorno del Índice de Expansión (IE) de snacks	91

Figura 24: Representación gráfica de superficie de respuesta del Índice de Expansión (IE) de snacks	91
Figura 25: Representación gráfica de superficie de contornos de la Capacidad Antioxidante por ORAC de snacks	97
Figura 26: Representación gráfica de superficie de respuesta de la Capacidad Antioxidante por ORAC de snacks	98
Figura 27: Representación gráfica de superficie de contornos del Contenido total de Polifenoles (TPC) de snacks	103
Figura 28: Representación gráfica de superficie de respuesta del Contenido total de Polifenoles (TPC) de snacks	104
Figura 29: Representación gráfica de superficie de contorno del índice de deseabilidad de snacks	113
Figura 30: Representación gráfica de superficie de respuesta del índice de deseabilidad de snacks	113
Figura 31: Grafico de medias para la aceptabilidad según cada formulación	118
Figura 32: Grafico de medias para la apariencia según cada formulación	119
Figura 33: Grafico de medias para el sabor según cada formulación	120
Figura 34: Grafico de medias para textura según cada formulación	121
Figura 35: Grafico de medias para color según cada formulación	122

## RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo desarrollar un snack extruido a partir de harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*), con alto contenido funcional y óptimas características tecnológicas. Se evaluaron 17 formulaciones con diferentes proporciones de ambos ingredientes (5-35% maíz morado y 65-95% quinua germinada) a temperaturas de extrusión entre 120 °C y 130 °C.

La formulación óptima fue 35% de maíz morado, 65% de quinua germinada y 124.71 °C, maximizando la capacidad antioxidante (ORAC=1427.74  $\mu$ moles TE/mg) y el contenido total de polifenoles (TPC=64.95 mg GAE/100 g). En contraste, una menor proporción de maíz morado redujo la actividad antioxidante y el contenido de polifenoles. Tecnológicamente, la temperatura influyó en la retención de grasa y proteínas, la textura y el color del producto, favoreciendo tonalidades más oscuras y una estructura más aireada en formulaciones con mayor contenido de maíz morado.

El análisis sensorial confirmó que la formulación afecta significativamente la aceptación, textura y sabor del snack ( $P < 0.05$ ). Las formulaciones con más maíz morado y temperaturas elevadas ofrecieron una textura crujiente e intensa, mientras que aquellas con más quinua germinada y temperaturas moderadas lograron una textura uniforme y un mejor aroma. En conclusión, el maíz morado optimiza la funcionalidad del snack por su alto contenido antioxidante, mientras que temperaturas intermedias favorecen la estabilidad de compuestos bioactivos y mejoran la expansión del producto.

Palabras Claves: Extrusión, Harina germinada de maíz morado, Harina germinada de quinua germinada, Temperatura de extrusión y Características tecnológicas

## ABSTRACT

The research aimed to develop an extruded snack made from purple corn (*Zea mays* L.) flour and germinated quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour, with high functional content and optimal technological characteristics. Seventeen formulations with different ingredient proportions (5-35% purple corn and 65-95% germinated quinoa) were evaluated at extrusion temperatures between 120 °C and 130 °C.

The optimal formulation was 35% purple corn, 65% germinated quinoa, and 124.71 °C, maximizing antioxidant capacity (ORAC=1427.74  $\mu\text{mol TE/mg}$ ) and total polyphenol content (TPC=64.95 mg GAE/100 g). In contrast, a lower proportion of purple corn reduced antioxidant activity and polyphenol content. Technologically, temperature influenced fat and protein retention, texture, and product color, favoring darker tones and a more aerated structure in formulations with higher purple corn content.

Sensory analysis confirmed that formulation significantly affects snack acceptance, texture, and flavor ( $P<0.05$ ). Formulations with higher purple corn content and elevated temperatures offered a crunchier texture and more intense flavor, while those with more germinated quinoa and moderate temperatures achieved a uniform texture and improved aroma. In conclusion, purple corn optimizes the snack's functionality due to its high antioxidant content, while intermediate temperatures enhance bioactive compound stability and improve product expansion.

**Keywords:** Extrusion, Purple corn germinated flour, Germinated quinoa flour, Extrusion temperature, Technological characteristics

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, hay una preocupación por la importancia de la alimentación en el mantenimiento de la salud y la prevención de enfermedades. Con el aumento de la esperanza de vida, se vuelve trivial elegir alimentos que aporten, además de nutrientes, diversos compuestos que puedan ejercer efectos beneficiosos adicionales sobre el organismo. En este contexto, surgen alimentos con propiedades funcionales, que han sido reportados para brindar diversos beneficios al organismo, tales como mejorar los mecanismos biológicos de defensa, mejorar las condiciones físicas y mentales y el estado general de salud y retrasar el proceso de envejecimiento orgánico. (Figueiredo, et. al. 2015).

Los alimentos funcionales como parte de la dieta que, además de aportar los nutrientes básicos a la dieta, tienen beneficios para el funcionamiento metabólico y fisiológico, trayendo beneficios a la salud física y mental y previniendo enfermedades crónico degenerativas. (Figueiredo, et. al. 2015).

Para que los alimentos funcionales sean efectivos, su uso debe ser regular y estar asociado a hábitos alimentarios saludables. De esta forma, los alimentos funcionales con poder bioactivo merecen destacarse en la dieta, ya que enriquecen la dieta, colaboran a mejorar el metabolismo y tienden a prevenir enfermedades (Figueiredo, et. al. 2015).

En la actualidad se aprecia un incremento de algunas enfermedades crónicas no transmisibles en nuestro país. Como son la obesidad, diabetes enfermedades que se relacionan con la calidad y estilo de vida de las personas algunas sin actividad física y vida sedentaria. La FAO determino que nuestro país es el tercero con obesidad y sobrepeso en todo Latinoamérica para el 2018, afectando en mayor proporción a gente que habita el área urbana. (Vargas, 2020).

Bajo estas consideraciones los super granos de los andes como la kiwicha, maíz morado, cañihua, quinua y otros sobresalen por el alto contenido de grasas, proteínas, aminoácidos esenciales, almidones (Andina, 2017) considerándolos como los super alimentos del futuro (MINAGRI, 2014). En los granos andinos se han identificado varios compuestos bioactivos relevantes para la salud, como polifenoles, carotenoides, fitocisteroides y saponinas. (Campos, et. al. 2018).

Una de las principales actividades demostradas para los granos andinos es la actividad antioxidante que se ha asociado a su alto contenido en compuestos fenólicos (Abderrahim, et. al. 2015). Se han encontrado más de 20 compuestos fenólicos en forma libre o conjugada (liberados por hidrólisis alcalina, ácida y/o enzimática). (Tang, et. al. 2016). La germinación de un grano o semilla es una cadena de acontecimientos que comienza cuando las semillas



viables y secas inhiben agua y termina con la elongación del eje embrionario. Tras la imbibición, la semilla quiescente reanuda rápidamente la actividad metabólica, incluyendo la respiración, la actividad de enzimas y orgánulos, y la síntesis de ARN y proteínas (Bewley y Black 2014). Se sintetizan enzimas para degradar las macromoléculas de almacenamiento. Estas reacciones conducen a la modificación estructural y desarrollo de nuevos compuestos, muchos de los cuales tienen alta bioactividad y pueden aumentar la calidad nutricional. (Kaukovirta-Norja, et. al. 2014). Planteándose de esta manera el siguiente problema ¿Cuál será el efecto de las concentraciones de harina de maíz morado (*Zea mays* L.), harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) germinadas y la temperatura de extrusión en las características tecnológicas y funcionales de un snack?

La presente investigación plantea como Objetivo general desarrollar un snack obtenidos por extrusión de harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) germinadas con alto contenido funcional y con características tecnológicas optimas. Mientras que sus objetivos específicos plantean Determinar la composición químico proximal de la harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) germinadas, determinar las características composicionales (grasa y proteínas) de snacks obtenidos por extrusión de la harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) germinadas a distintas condiciones de temperatura de extrusión, Determinar las características Tecnológicas (textura, color, densidad, índice de Absorción de Agua, Índice de solubilidad de agua e Índice de Expansión) de snacks obtenidos por extrusión de la harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) germinadas a distintas condiciones de temperatura de extrusión , Determinar las características funcionales (capacidad antioxidante y contenido total de polifenoles) de snacks obtenidos por extrusión de la harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) germinadas a distintas condiciones de temperatura de extrusión, Establecer optimización de snacks obtenidos por extrusión de la harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) germinadas a distintas condiciones de temperatura de extrusión y Determinar las características Sensoriales de snacks obtenidos por extrusión de la harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) germinadas a distintas condiciones de temperatura de extrusión.

De esta manera se formula la hipótesis siguiente si la Obtención de un snack obtenidos por extrusión de harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) germinadas a una temperatura de extrusión optima permitirá un efecto positivo en el desarrollo del producto, maximizando el contenido funcional con características tecnológicas optimas.

La investigación se justifica en que actualmente, la industria alimentaria muestra una tendencia creciente a desarrollar productos prácticos y de consumo rápido, como cereales para el desayuno, snacks y barras de cereales, con el fin de cubrir la creciente demanda de este tipo de producto. Sin embargo, además de la facilidad de preparación, los consumidores buscan alimentos con alto valor nutricional y que aporten beneficios para la salud (Basilio-Atencio, et. al.2020). Ante una mayor oferta de estos productos, un interés por una vida saludable, el cuidado del aspecto, cambio en el hábito alimentario y sobre todo mejoras en las cualidades organolépticas, son las principales motivaciones para el mayor consumo de snacks saludables. Según la Agencia para la investigación del Cáncer (2018), nos dice que el Cáncer es una de las enfermedades más peligrosas y comunes quien reporta que en el Perú se estima una incidencia de 192.6 casos por cada Cien mil habitantes lo que representa que el 66627 son nuevos casos de un total de 32 551811 habitantes. Se estima que en el año 2016 hubo 32163 muertes debido al Cáncer según el registro de defunciones lo que representa una mortalidad de 122.9 muertes por cada 100000 habitantes. Siendo el cuidado de la salud un hecho muy preocupante en la sociedad, además de una mayor oferta de productos saludables y la concientización de una alimentación saludable hace que productos como snacks sean más consumidos con un 50%. (Agencia agraria de noticias, 2017)

Es por esto que esta investigación busca desarrollar un snack con altos contenidos de antioxidantes que tienen el maíz morado y la quinua, potenciado con su germinación lo que ayudará con la digestibilidad de los compuestos funcionales, mejorando el valor nutricional de las proteínas de origen vegetal debido a una mayor digestibilidad, caracterizada por la desnaturalización de las proteínas y la destrucción de factores anti nutricionales.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Sampaio et. al. (2022). Evaluaron al Maíz morado andino (APM) para producir cereales de desayuno extruidos y como impacta en las propiedades tecno funcionales y la aceptación sensorial de los cereales para el desayuno. Se analizaron muestras extrusionadas formuladas con 100, 75, 50 y 25% de APM, y complementadas con sémola de maíz amarillo (YCG), en cuanto a sus propiedades tecno funcionales y sensoriales. En la densidad aparente, así como una reducción en la expansión y porosidad para extruidos que contenían  $\geq 50\%$  APM, Se obtuvieron puntuaciones sensoriales altas de gusto general (6) y color (7) para formulaciones extruidas que contenían  $\geq 50\%$  de APM y valores bajos para extruidos con 25 % de APM. Las puntuaciones de aroma, sabor y textura no presentaron diferencias significativas. El APM es un ingrediente con potencial para ser utilizado en la producción de cereales para el desayuno ya que mejora sus características tecno funcionales y aceptación sensorial, al mismo tiempo que conduce a la producción de alimentos saludables, nutritivos y sustentables.

Kantrong, et. al. (2022). investigó los efectos de la temperatura de extrusión (100, 105 y 110 °C) y la técnica de inflado (microondas (210, 420 y 560 W.) y fritura profunda (170 y 190 °C)) sobre las propiedades físicas y funcionales de snack de última generación que contiene maíz morado y flor de guisante de mariposa. Posteriormente se determinaron las cualidades del snack en términos de propiedades físicas (relación de expansión, densidad aparente, color y textura) y propiedades funcionales (contenido de antocianinas totales, capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales). Los resultados mostraron que la temperatura de extrusión no afectó significativamente el color de los gránulos de snack. Sin embargo, afectó significativamente las propiedades funcionales de los bocadillos. Los pellets de snack producidos en la extrusora a 110 °C contenían propiedades funcionales significativamente más altas en comparación con los extruidos a 100 y 105 °C ( $p < 0,05$ ).

Valderrama et. al. (2021) estudio las características físicas y sensoriales de un snack elaborado con maíz morado, quinua y kiwicha, estudiando características

físicas como la densidad aparente, índice de expansión, textura, porosidad y crujido además de la aceptabilidad del snack. Para el estudio desarrollo un diseño de mezcla simplex con centroide extendido con concentraciones de sus componentes de quinua en relación de 0 a 100 %, maíz morado de 0 a 100% y kiwicha de 0 a 100 % obteniéndose 10 formulaciones. Los resultados mostraron que la mezcla de los tres productos afecto significativamente a las características físicas como también a la aceptabilidad. Es así que el tratamiento 9 con una relación de sus componentes de 17 % de maíz morado, 67% de quinua y 17 % de Kiwicha, tuvo mejor aceptación general con una media de 7.59 y una moda de 9 en la escala (me gusta mucho).

Menchaca, et. al. (2021), para los investigadores el estudio fue estimar los parámetros cinéticos y termodinámicos de la degradación térmica de antocianinas de productos de maíz nixtamalizado extrusionado. Se investigó un estudio comparativo de la estabilidad térmica de las antocianinas en estas matrices en una solución tampón (pH 2,5) a diferentes temperaturas (60, 75 o 90 °C). Los resultados mostraron que el mecanismo de degradación de las antocianinas siguió una cinética de reacción de primer orden. Se encontró que los valores de la constante de velocidad de reacción (k) estaban en un rango de 0.027–0.037 h<sup>-1</sup> a 60 °C, 0.107–.113 h<sup>-1</sup> a 75 °C y 0.340–0.354 h<sup>-1</sup> a 90 °C. Cuanto más alto era el valor k, más cortos eran el tiempo de vida media y el valor D. La energía de activación (Ea) y los valores z estaban en el rango de 75,1–89,2 kJ/mol y 28,8–35,1 °C, respectivamente. El coeficiente Q10 indicó que la velocidad de reacción se duplica aproximadamente con cada aumento de temperatura de 10 °C.  $\Delta H$ ,  $\Delta S$  y  $\Delta G$  demostrando que la las antocianinas se degradaron por una reacción endotérmica mas no espontanea.

A pesar de la mayor susceptibilidad de las antocianinas en los productos de maíz nixtamalizado extruido por la combinación de temperatura aplicada y el tiempo, no hubo diferencia entre la tortilla y la harina, lo que significa que en el proceso de extrusión se degradaron la mayoría de antocianinas de y no se produjo una degradación adicional significativa en el paso de cocción.

Neder-Suárez, et. al. (2021). Establecieron el efecto de la cocción por extrusión sobre compuestos bioactivos en snacks de tercera generación (TGSE) y snacks

expandidos por microondas (MWSE) se extruyó a diferentes contenidos de humedad (MC; 22,2–35,7 %), temperaturas de extrusión (ET; 102–142 °C) y velocidades de tornillo (SP; 96–171 rpm). El contenido de antocianinas TAC y los niveles de antocianinas individuales aumentaron con la reducción de la ET. ET y MC afectaron las propiedades químicas y de color; aumento de ET causó una reducción significativa en TPC y AA. La extrusión en condiciones óptimas (29% MC, 111 rpm y 120 °C) generó productos con alta retención de compuestos funcionales, con alto TAC (41,81%) y TPC (28,23%). La validación experimental de los parámetros del proceso optimizado arrojó un error promedio del 13,73 % de los contenidos previstos de antocianinas individuales. Los resultados sugieren que el TGSE de FBCS obtenido mediante la combinación de extrusión y expansión por microondas logró una retención significativa de compuestos bioactivos que tienen beneficios fisiológicos potenciales para los humanos.

Neder-Suárez, et. al. (2021). Estudiaron las propiedades fisicoquímicas en función a la extrusión de una mezcla de maíz azul, frijol negro y acelga (MBBC) utilizada para snacks extruidos indirectamente (PECB) y snacks expandidos por microondas (MEPM). MBBC se acondicionó con un contenido de humedad (MC) de 22,2 a 5,7 %, se extruyó a una temperatura (ET) de 102 a 142 °C y a una velocidad del tornillo (SP) en el rango de 96 a 171 rpm. El índice de solubilidad en agua (WSI), índice de absorción de agua (WAI), índice de expansión (EI), viscosidad final (FV), valores de retroceso, antocianina total (TAC), dureza, FT-IR, análisis de rayos X y microestructura fueron evaluado. TAC aumentó con la reducción de ET de PECB y MEPM. Las reducciones en MC y los aumentos en SP provocaron un aumento en EI, WAI y WSI, mientras que los valores de PV y retroceso mostraron comportamientos contrastantes. Las micrografías revelaron que la extrusión destruye la estructura granular del almidón generado por EMCB. FT-IR mostró que las muestras extruidas aumentaron la intensidad de las bandas a 994 y 1016  $\text{cm}^{-1}$  en comparación con el almidón crudo, y se puede observar un patrón de difracción tipo V. Las condiciones óptimas predichas se obtuvieron a 133 rpm, 25 % de MC y 122 °C. En estas condiciones, los productos extruidos presentaron mayor retención de antocianinas (34%) con parámetros reológicos adecuados, lo que resultó en una máxima expansión de los extruidos.

Torres, et. al. (2021). Este estudio utilizó harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), y almidón de yuca para obtener una pasta extrusionada. La incorporación de harina de quinua en las formulaciones (F1, F2 y F3) incrementó notoriamente el contenido de proteína ( $p < 0.05$ ) y disminuyó el contenido de carbohidratos, no observándose diferencias significativas para lípidos y cenizas. El valor energético aumentó debido a los aminoácidos esenciales presentes en la quinua. Los valores obtenidos para  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  aumentaron con el incremento de la harina de quinua, y las diferencias significativas para  $b^*$  ( $p < 0.05$ ) se atribuyeron al color característico de la quinua, tiempo de secado y contenido de humedad. La falta de interacción molecular entre el almidón y la proteína debido a las condiciones utilizadas en el proceso de extrusión influyó en la disminución de la resistencia a la ruptura, aumento en los índices de absorción e hinchamiento de agua y pérdidas por cocción (8 g/100 g) dentro de un rango aceptable. Los resultados obtenidos y los parámetros utilizados en el proceso de extrusión influyeron en las características de la pasta, indicando que la harina de quinua es una materia prima promisoría para la obtención de productos libres de gluten.

## **2.2. Extrusión**

La extrusión de alimentos se define como un proceso continuo en el que el calor y el cizallamiento mecánico se combinan para gelatinizar el almidón y desnaturalizar las proteínas, plastificando y reestructurando el material para obtener productos con nuevas formas y texturas (Choton, et. al 2020).

Es una tecnología que se ha destacado por presentar numerosas ventajas como: versatilidad, alta productividad, bajo costo, capacidad para desarrollar productos con diferentes formatos y sin generar efluentes (Leonard, et. al. 2020).

Con cambios mínimos en los ingredientes y las condiciones de funcionamiento del equipo, se puede obtener una amplia gama de productos, entre los que se encuentran cereales para el desayuno, snacks expandidos, papillas, harinas pregelatinizadas, pastas, proteína vegetal texturizada y almidón modificado. Además, la extrusión se puede utilizar para eliminar factores antinutricionales, inactivar enzimas y también para pasteurizar y esterilizar alimentos (Choton, et. al 2020).

En la producción de snacks expandidos, aunque las extrusoras tienen características diferentes (número de hilos, velocidad de calentamiento, tamaño y forma de los orificios de la matriz, etc.), el proceso básicamente ocurre de la misma manera. La materia prima o mezcla previamente homogeneizada y acondicionada es introducida en el equipo por el alimentador, siendo impulsada por el hilo a la matriz. El hilo de la extrusora tiene tres zonas o secciones: (i) zona de alimentación, que tiene la función de recibir y mezclar el material alimentado, comprimirlo y conducirlo uniformemente a través de la extrusora; (ii) zona de transición, donde la geometría de la rosca cambia, promoviendo una mayor velocidad de cizallamiento, con mayor presión y temperatura, transformando el material en una masa semiplástica debido a la cocción parcial; (iii) zona de alta presión, en la que la temperatura, la velocidad de cizallamiento y la presión alcanzan el máximo, promoviendo el grado de cocción deseado y conduciendo el material a la matriz. El rápido paso del producto a temperatura y presión ambiente provoca la evaporación del agua y la consiguiente expansión del extruido (Nagaraju, et. al. 2020). Luego, los bocadillos expandidos se cortan al tamaño apropiado. Posteriormente, los extruidos se pueden secar, freír o hornear, quedando así listos para su consumo. Normalmente, se añaden aromatizantes, sal y aceite para obtener las características sensoriales deseadas. Además, estos productos pueden tener una amplia variedad de atributos, que incluyen ricos en fibra o proteínas, bajos en calorías y altos valor nutricional (Huber, 2011).

Según Leonard, et. al. (2020), para lograr alta expansión, obteniendo una estructura porosa y textura crujiente en los snacks expandidos, se debe trabajar con bajo contenido de humedad y controlar las condiciones de proceso de la extrusora, obteniendo una alta tasa de cizallamiento y alta temperatura. Adicionalmente, Linko, Colonna, Mercier (2012) afirman que también es necesario, al menos, tener 60-70% de almidón en el material a extruir.

El control del proceso de extrusión es complicado, debido a las innumerables variables involucradas y la naturaleza compleja del alimento, en el que ocurren simultáneamente varios cambios químicos y físicos (Choton, et. al 2020).

Según Yacu (2010), los parámetros que influyen directamente en las características de los productos obtenidos son: composición química y granulometría de la materia prima; contenido de humedad; tasa de limitación; tipo de extrusora; geometría y velocidad del hilo; temperatura de cada zona; configuración del troquel y velocidad de corte. A medida que estos parámetros varían, se producen cambios en el tiempo de residencia, la viscosidad del material, presión, temperatura, velocidad de corte, energía y propiedades de los extruidos. El control de los parámetros de extrusión define las características de los productos, tales como grado de cocción, expansión, densidad, forma, tamaño, apariencia, textura, sabor, aroma, color y humedad final (Yacu, 2010).

### **2.2.1. Efecto del proceso de extrusión sobre el valor nutricional de Proteínas**

El valor nutricional de las proteínas depende de su digestibilidad, así como de la cantidad y biodisponibilidad de los aminoácidos en su composición (FAO / OMS / UNU, 2015).

La variación de los parámetros del proceso de extrusión provoca diferentes efectos sobre la digestibilidad de las proteínas

La extrusión en condiciones suaves, como a bajas temperaturas, mejora el valor nutricional de las proteínas de origen vegetal debido a una mayor digestibilidad, caracterizada por la desnaturalización de las proteínas y la destrucción de factores antinutricionales, como los inhibidores de proteasas presentes en los alimentos crudos ((Leonard, et. al. 2020).

En condiciones de extrusión más severas, por ejemplo, en alta las temperaturas y la baja humedad, la digestibilidad de las proteínas y la disponibilidad de aminoácidos pueden reducirse. Esto ocurre debido a la reacción de Maillard, en la que los azúcares reductores (glucosa, fructosa, maltosa o lactosa), incluidos los formados por el cizallamiento del almidón, reaccionan con los aminoácidos, dando como resultado principalmente la reducción la disponibilidad de lisina. Este aminoácido en particular es un indicador de la desnaturalización de las proteínas durante el procesamiento. Debido a que la lisina es el principal aminoácido limitante en los cereales, su



pérdida puede resultar en una reducción del valor nutricional de la proteína (Leonard, et. al. 2020).

Según Linko, Colonna y Mercier (2012), la reacción de Maillard durante la extrusión depende principalmente de la temperatura, la humedad, la velocidad del tornillo y el tipo de azúcar y proteína presentes durante el proceso. La intensidad de la reacción aumenta con la reducción de la humedad, con el aumento de temperatura y la velocidad del tornillo (debido al aumento de temperatura provocado por las altas tasas de rotación del tornillo).

Asp y Bjorck (2008) realizaron una extensa revisión sobre la pérdida de lisina y encontraron que varios estudios relacionan la pérdida de este aminoácido con los parámetros del proceso de extrusión, pero existen desacuerdos entre los autores sobre el efecto específico de cada parámetro. Es un consenso que, con el aumento de la temperatura, hay una reducción en el contenido de lisina disponible. En cuanto a la humedad, la mayoría afirma que con su reducción aumenta la pérdida de lisina, sin embargo, algunos estudios han demostrado el efecto contrario. En cuanto a la velocidad del hilo, hay una amplia divergencia de resultados, con mayor velocidad hubo pérdida de lisina, mayor retención e incluso algunos mencionan que no hubo efecto.

Romero, (2018) menciona que la extrusión en condiciones de alta temperatura ( $> 180^{\circ}\text{C}$ , en el producto), cizallamiento ( $> 100\text{ rpm}$ ) y baja humedad ( $<15\%$ ), especialmente en presencia de azúcares reductores ( $> 3\%$ ), resultan en una gran pérdida de lisina. Evitando estas condiciones, es posible mantener la pérdida de lisina en niveles aceptables (10-15%).

### **2.2.2. Efecto del proceso de extrusión sobre los productos harinosos Quinua**

Coulter y Lorenz (2011a; 2011b) extruyeron mezclas de quinua (10, 20 y 30%) y sémola de maíz en una extrusora de un solo tornillo. Las variables del proceso fueron: humedad (15 y 25%), temperatura (80-150  $^{\circ}\text{C}$ ), relación de compresión (1: 1 y 3: 1) y velocidad del hilo (100-200 rpm). Los productos con quinua mostraron mayor densidad y menor expansión que el maíz extruido, esto se atribuye al mayor contenido de proteínas y grasas y menor contenido de amilosa de la quinua. Los productos con un 15% de humedad inicial y una relación de compresión de 3: 1 mostraron mayor expansión,

menor densidad y menor resistencia al corte que aquellos con un 25% de humedad o una relación de compresión de 1:1 (Coulter; Lorenz 2011b). Los extruidos se consideraron moderadamente aceptados, debido al pardeamiento y amargor causado por la adición de quinua. La incorporación del 30% de quinua proporcionó un aumento del 50% de lisina en relación al maíz extruido únicamente (Coulter; Lorenz 2011a).

Ruales, Valencia y Nair (2013) evaluaron la extrusión de harina de quinua, utilizando temperaturas de 120 a 180 ° C, humedad de 15 y 25%, velocidad de 80 y 160 rpm y relación de compresión del tornillo de 1: 1 y 1: 3, en extrusora mono husillo. Sin embargo, el índice de absorción de agua aumentó significativamente con el aumento de la humedad disminuyó con la reducción de la tasa de compresión. El grado de gelatinización del almidón fue mayor en condiciones de alta humedad (25%) y alta tasa de compresión del tornillo (1: 3).

Dogan y Karwe (2003) prepararon bocadillos de quinua expandida variando los siguientes parámetros de extrusión: humedad de la alimentación (16-24%), temperatura (130-170 ° C) y velocidad del tornillo (250-500rpm). El alto contenido de humedad, considerado solo o en combinación con alta temperatura, resultó en productos de baja expansión. Los mejores extruidos, caracterizados por máxima expansión, mínima densidad, alto grado de gelatinización y bajo índice de solubilidad, se obtuvieron con baja humedad (16%), baja temperatura de matriz (130 ° C) y velocidad de tornillo intermedio (375 rpm).

Repo-Carrasco-Valencia y Serna (2011) extruyeron harina de quinua, de cuatro variedades diferentes, en una extrusora mono-husillo, con una temperatura de 200 ° C y una velocidad del husillo de 389,4 rpm. Estos autores mostraron un aumento en la actividad antioxidante, el contenido de compuestos fenólicos y fibra dietética soluble, pero una reducción en el contenido de fibra dietética insoluble y fibra dietética total en los productos extruidos en comparación con la harina sin procesar.

### **2.2.3. La extrusora y sus características**

Hay varios modelos de extrusoras, sin embargo, los principios operativos son similares en todos los tipos. La materia prima, adicionada con agua, se

homogeneiza e introduce en el alimentador, y el hilo transporta el material a lo largo del cañón (Silva, 2010).

Según Choton, et. al (2020) la extrusora está básicamente constituida por los elementos: sistema de alimentación, que tiene la función de mantener una alimentación constante e ininterrumpida; hilo o tornillo, que transporta la materia prima; cilindro encamisado, pieza fundamental para controlar la temperatura del equipo; matriz, encargada de dar forma al producto y mantener la presión en la zona de cocción; Mecanismo de corte, formado por cuchillas horizontales o verticales, que pueden acoplarse o no a la sección final de la extrusora.

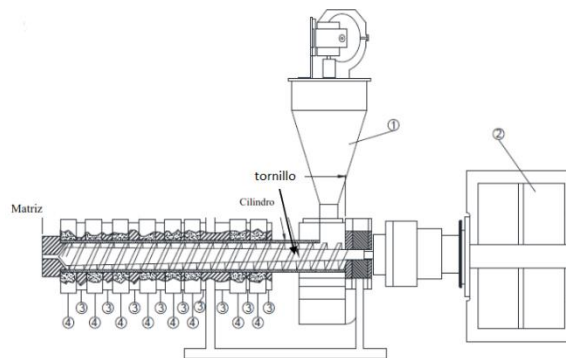


Figura 1. Dibujo esquemático de una extrusora de un solo tornillo. 1. alimentador, 2. Motor, 3. Sistema de refrigeración, 4. Resistencia eléctrica

Fuente: Adaptado de Sebio (2008).

Para Choton, et. al (2020) la primera etapa del proceso de extrusión se denomina preextrusión. Esta fase incluye preparar los ingredientes y mezclarlos en una proporción adecuada.

Guy (2011) enumera las etapas de la extrusión termoplástica de la siguiente manera: preacondicionamiento, extrusión y posextrusión. En el preacondicionamiento, se ajusta el contenido de humedad del material. La extrusión en sí se caracteriza por la inserción de la materia prima en el equipo, a través del alimentador, y su modificación en relación a sus características físico-químicas y sensoriales que, según Choton, et. al (2020), suceden debido al incremento paulatino de la fricción mecánica causada por modificaciones de la geometría del tornillo y apertura de la matriz. Y post-extrusión se refiere

al tratamiento que sufre el producto después de la extrusión, como el proceso de secado, por ejemplo.

La selección adecuada de la configuración de la extrusora es esencial para el uso de diversas materias primas y el producto final tiene propiedades físicas, químicas y tecnológicas satisfactorias. Por lo tanto, es necesario controlar estrictamente factores como el preacondicionamiento, la configuración del tornillo, la temperatura del cilindro, la configuración de la matriz y las condiciones de secado (tiempo y temperatura).

Silva (2010) señala el preacondicionamiento como un paso que requiere cuidado y atención, ya que es durante la cocción por extrusión que el agua hará que los gránulos de almidón se hinchen y definan el punto de cocción. Así, sabiendo que las partículas más pequeñas se hidratan con mayor facilidad que las partículas más grandes, lo que también cambia la calidad del producto, conviene prestar atención a la granulometría de la materia prima y al tiempo de acondicionamiento del material.

Guy (2012) clasifica el tornillo o tornillo como la parte más importante de la extrusora, ya que ayuda a regular el grado de cocción, gelatinización y la calidad final del producto. Se encarga de mezclar continuamente el material y conducirlo a través del cilindro, generando fricciones mecánicas y calor, que ayudan a fundir el producto.

Existen extrusores de un solo tornillo y de doble tornillo (Figura 2). El extrusor de un solo tornillo se emplea en formulaciones sencillas, es más fácil de operar y tiene un costo menor. No obstante, presenta menor estabilidad, menor eficiencia de bombeo y un tiempo de residencia más prolongado (Maskan & Altan, 2011).

Por otro lado, los extrusores de doble tornillo son ideales para formulaciones complejas y productos que requieren mayor control de calidad, flujo uniforme y flexibilidad. Además, pueden operar en modo co-rotante o contra-rotante, lo que permite una mejor manipulación de los materiales dentro del barril y un transporte más eficiente hacia la matriz (Bouvier & Campanella, 2014).

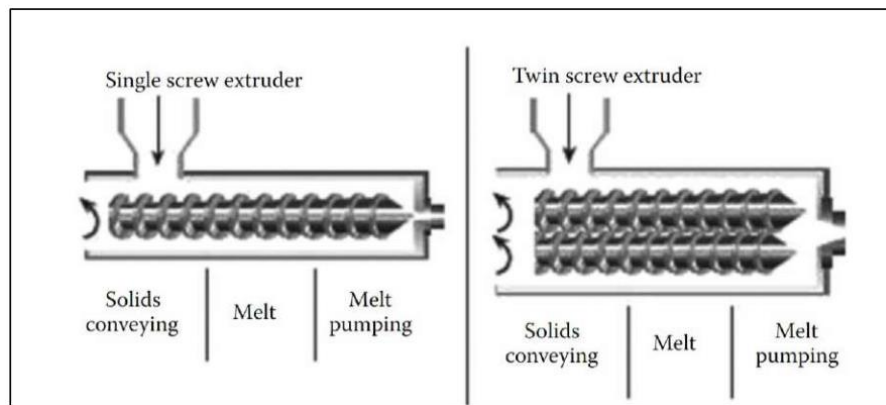


Figura 2. Sección transversal de un extrusor de un solo tornillo y de doble tornillo

Fuente: Adaptado de Patil et al., (2016)

Inicialmente, el material a extruir ingresa al área de mezcla, donde no se realiza la cocción. En esta fase se mezcla el material alimentado, el cual se comprime para llenar los espacios que rodean el tornillo y conducir el material de manera uniforme (Nagaraju, et. al. 2020). En la zona de transición, el material comienza a compactarse aumentando la compresión y la mayor parte de la energía mecánica se disipa, lo que lleva a un rápido aumento de temperatura y desencadena la transformación de la masa de la forma granular a la forma plástica continua. En la zona reológica, las variables temperatura, presión y tasa del cizallamiento alcanza el máximo y el comportamiento de la masa está dictado por las relaciones reológicas (Ortiz, 2013).

Ascheri (2011) señala que la alta velocidad en el tornillo desencadena un aumento en la tasa de cizallamiento, lo que implica un mayor grado de cocción del material. Además, el citado autor señala que debido a la alta velocidad, el tiempo de resistencia del material en la extrusora disminuye, por lo que es necesario observar los niveles óptimos de este parámetro con el fin de lograr la calidad deseada en el producto final.

La temperatura del cilindro es un factor que requiere un control preciso. El exceso de calor junto con otros factores de procesamiento, degradan la materia prima a compuestos de menor masa molar, como polímeros libres, almidón dextrinizado, oligosacáridos y azúcares simples. El uso de temperaturas muy elevadas provoca un alto grado de cocción y el producto a la salida de la matriz

puede mostrar signos de expansión. En este caso, cada zona del barril debe ser monitoreada de tal manera que al alcanzar la temperatura requerida, y debido al efecto de fricción produciendo más calor, las zonas deben ser enfriadas hasta que se controle el exceso de calor, manteniendo la homogeneidad de la temperatura y proceso y consecuentemente del producto final (Ascheri, 2011).

## **2.2.4. Granos Germinados**

### **2.2.4.1. Germinación**

La germinación de semillas es un proceso natural y deseable para la perpetuación de la especie. Para que esto ocurra, es fundamental que existan condiciones favorables de humedad, temperatura y oxígeno, además de preservar la madurez e integridad de las semillas. Según Nyachiro et al. (2012) el rango de temperatura ideal para la germinación del trigo es entre 15 y 30 C. Si las condiciones ambientales no son favorables, la semilla permanece en reposo que se caracteriza por una actividad metabólica reducida. En condiciones adecuadas, ocurren una serie de reacciones, como la degradación de las sustancias de reserva, así como la producción de nuevas células y orgánulos.

La primera etapa de la germinación consiste en hidratar la semilla (imbibición) tanto de las células embrionarias como del endospermo. Esto promueve la liberación de enzimas y la reactivación de orgánulos y macromoléculas, así como la producción de energía a partir de las sustancias de reserva. La imbibición está influenciada por la composición del grano y las proteínas y la celulosa son las principales sustancias responsables de la absorción de agua. El proceso promueve cambios en el volumen y la masa de los granos. Cuando alcanza un cierto nivel (variable para cada especie), el grano comienza a germinar, rompiéndose el pericarpio en la región germinal y emergiendo la plúmula. Luego emerge la raíz primaria y, después de unas horas, aparece el primer par de raíces. El embrión se desarrolla, se establece y luego aparecen las primeras hojas.

Durante las primeras etapas de la germinación se produce un aumento de la actividad enzimática, principalmente de  $\alpha$  y  $\beta$ -amilasas, endo- $\beta$ -

glucanasa, límite dextrinasa, proteasas y lipasas. La actividad hidrolítica es fundamental porque convierte las sustancias de reserva, principalmente almidón, en azúcares más pequeños que son sustratos para el proceso respiratorio. Es a través del proceso respiratorio que se garantiza el suministro de energía para la germinación. El aumento de la frecuencia respiratoria del grano acelera el metabolismo e hidrólisis del almidón, las proteínas y la fracción lipídica, reduciendo la materia seca.

La hidrólisis del almidón implica actividad enzimática. La  $\alpha$ -amilasa actúa sobre los enlaces  $\alpha$  1-4 de las moléculas de amilosa y amilopectina, generando maltosa, glucosa y dextrinas y la  $\beta$ -amilasa actúa sobre el extremo no reductor de oligo y poliglucanos, produciendo maltosa. La acción de la  $\beta$ -amilasa se interrumpe en los enlaces  $\alpha$  1-6. La maltosa se puede convertir en glucosa por la maltasa y en las dextrinas que tienen enlaces  $\alpha$  1-6, las dextrinasas actúan para producir maltosacáridos (Bevilaqua; Eichelberger, 2004). La actividad enzimática depende de la variedad de trigo y la fracción del grano, e incluso puede haber actividad nula de algunas enzimas según la fracción del grano. La polifenoloxidasas, por ejemplo, no tiene actividad en el germen. En la región por debajo de la aleurona y cerca del germen hay una concentración de enzimas sacarogénicas, así como dextrinógenos, que tienen actividad relacionada con la  $\beta$ -amilasa (Pomeranz, 2008). A medida que avanza la hidrólisis del almidón, los azúcares totales disminuyen y aumenta la concentración de azúcares solubles (Dronzek et al., 2010).

En la germinación, además de la energía, el embrión crece a expensas de aportar aminoácidos. Se produce la hidrólisis de las proteínas de reserva, lo que genera fracciones nitrogenadas solubles, incluidos los aminoácidos libres, que luego se interconvierten para formar nuevos tejidos vegetales. Estos cambios provocan cambios en las concentraciones de proteínas, nitrógeno soluble y nitrógeno de los aminoácidos libres (Jones, 2015).

#### **2.2.4.2. Germinación inducida y controlada**

Los tipos de germinación deben diferenciarse por los resultados obtenidos por cada método. De esta forma, la germinación se puede clasificar en: germinación en campo, malteado y germinación en laboratorio o inducida de forma controlada. La germinación inducida controlada del arroz se ha estudiado durante los últimos años (Ding et al., 2018). Porque es un método eficaz para mejorar la composición de compuestos bioactivos y reducir las funciones antinutricionales de los cereales (Chungcharoen et al., 2014; Ng et al 2013). De esa forma, agrega valor a los granos.

Este tipo de germinación también se ha utilizado como alternativa para obtener granos con características específicas, nutricionales y / o tecnológicas (Ding et al., 2018; Cáceres et al., 2017; Thiyajai et al., 2016; Chungcharoen et al. ., 2014). Para que esto ocurra, es fundamental que el germen del grano esté presente e intacto, para que exista la producción de fitohormonas, responsables de la división y elongación celular (Finnie, Brovelli, Nelson, 2019; Evert, Eichhorn, 2013).

La germinación comienza en cuanto la semilla se encuentra en condiciones favorables, tales como: contenido de humedad que varía entre 15 y 45%, temperatura superior a 4°C, en ausencia de inhibidores de germinación y presencia de aire atmosférico, además, algunas semillas aún necesitan luz. Por lo tanto, la primera etapa del proceso es el remojo en agua, la cual penetrará la semilla a través de los poros y micropilotes y será almacenada en su interior debido a interacciones predominantemente con proteínas y fibras, resultando en la ruptura del pericarpio en la región del germen. La Figura 3 muestra los cambios estructurales que sufre el grano de arroz durante el proceso de germinación en diferentes momentos (Rathjen, Strounina, Mares, 2009).





Figura 3. Granos de arroz integral durante la germinación inducida durante 36 (treinta y seis) horas.

Fuente: Avila. L. (2020).

A lo largo del proceso de germinación la semilla sintetiza y / o libera una serie de hormonas vegetales que sirven como agentes señalizadores, como ácido giberélico, ácido abscísico y etileno, para la activación y liberación de enzimas, como amilasas, lipasas y proteasas que se degradarán. reserva de nutrientes (Mckie, McCleary, 2015).

La alfa-amilasa y la beta-amilasa son las principales enzimas amilolíticas activas durante la germinación (Charoenthaikij et al., 2009). Estos actúan sobre los enlaces alfa- (1-4) de la amilosa y amilopectina, teniendo su acción bloqueada sobre los enlaces alfa- (1-6) presentes en las moléculas de maltosa resultantes de esta degradación, donde la acción de las pululanases es necesaria para reducir la glucosa, que se utiliza durante la respiración celular y la producción de energía, así como para generar nuevos tejidos (Mckie, McCleary, 2015; Miao et al., 2015).

Para el desarrollo de nuevos tejidos también se necesitan aminoácidos y estos se derivan de la degradación de las cadenas peptídicas por la acción de las proteasas, lo que se traduce en la liberación de aminoácidos libres que en ocasiones sufren la acción de isomerasas en función de su destino o de Facilitar el transporte en el interior de la celda (Jones, 2015).

Durante los procesos metabólicos, las interacciones entre el almidón y las proteínas se interrumpen, lo que puede facilitar la digestión de estos nutrientes, y simultáneamente la formación de nuevos tejidos con altos

niveles de fibras y compuestos bioactivos como GABA (Chalermchaiwat et al., 2015; Ng , Huang, Chen, Su, 2013)

Por esta razón, los granos germinados se han utilizado como nuevos ingredientes en la industria alimentaria para la elaboración de barras de cereales, pastas, dulces, galletas, panes, sopas instantáneas, entre otros (Finnie, Brovelli, Nelson, 2019; Montemurro et al., 2019; Wu, Xu, 2019; Sikora, Swieca, 2018). El motivo principal es el aumento del valor nutricional, es decir, la mayor biodisponibilidad de nutrientes. Sin embargo, algunos aspectos negativos reportados por los autores son la baja vida útil, término utilizado para referirse a la vida útil de un producto, y el posible desarrollo de microorganismos (Swieca, Gawlik-Dziki, 2017; Liu et al., 2017). Así, en la literatura se observan estudios que apuntan a incrementar el valor nutricional (Ding et al., 2018), incrementar la vida útil o mejorar el proceso de elaboración, o incluso, desarrollar nuevos productos a partir de los granos germinados (Sareepuang et al., 2008; Sirisoontarak et al., 2015).

Ding (2018) utilizó ultrasonido durante el proceso de germinación del arroz rojo para aumentar los niveles de ácido gamma-aminobutírico y metabolitos beneficiosos para la salud, y encontraron que este es un método eficaz para esto. Sirisoontarak (2015) desarrollaron un arroz germinado de cocción rápida con beneficios para la salud. El producto desarrollado tuvo un tiempo de cocción corto y tenía las características sensoriales deseadas por los evaluadores, además de brindar beneficios adicionales para la salud a los consumidores con un mayor contenido de almidón resistente en comparación con el arroz integral común.

Cornejo (2015) prepararon panes sin gluten a partir de harina de arroz germinada y encontraron que hubo mejoras en el proceso tanto al aumentar el contenido de compuestos bioactivos como al reducir el ácido fítico, considerado un antinutricional porque reduce la biodisponibilidad de minerales en los alimentos.

### **2.2.5. Maíz Morado**

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cereales más cultivados del mundo, es un alimento básico para grandes grupos de personas y también se utiliza para la alimentación animal. Hay varias coloraciones de maíz disponibles, que incluyen amarillo, azul, rojo, marrón y morado (Fernández, 2009). Se puede decir que la mazorca tiene en masa aproximadamente un 70% de granos y un 20% de paja y un 10% de mazorca (Fao, 2011).

El maíz morado es una variedad distinta de maíz, ofrece una fuerte pigmentación morada tanto en el pericarpio del grano, en la mazorca como en la cáscara, esto se debe a la gran cantidad de antocianinas presentes. La variedad morada es muy cultivada popularmente en la región andina del Perú. Por sus propiedades funcionales se ha utilizado normalmente en la preparación de chicha morada, jugo y también postre de la gastronomía peruana (Prior et al., 2016; Jing et al., 2008).

El maíz morado es un alimento con alto potencial, ya que es una fuente rica en antocianinas, incluidos los acilatos (que le da mayor estabilidad a las antocianinas), se puede utilizar como materia prima para producción de otros alimentos o colorantes alimentarios. La mazorca de maíz morada, que es la porción con mayor concentración de antocianinas, seguida de su paja (Pedreschi, et al. 2007).

El color del maíz morado proviene de la alta concentración de antocianinas. Entre las actividades biológicas asociadas con las antocianinas presentes en el maíz morado se encuentran las de alto antioxidante (Prior; Wu, 2016), antiproliferativa (Pedreschi; Cisneros, Zevallos, 2007) y antiinflamatoria (Fleschhut et al., 2006).

Algunos estudios han demostrado la presencia de niveles significativos de compuestos fenólicos como ácidos fenólicos, taninos, entre otros compuestos bioactivos en el maíz morado, estos tienen acciones beneficiosas en el organismo. La investigación muestra las diversas ventajas del pigmento que se encuentra en este maíz para la salud humana, especialmente como agente

antioxidante que actúa en la inhibición de los radicales libres, atenuando algunas enfermedades degenerativas como el cáncer (Jing et al., 2008).

Se puede utilizar como materia prima para la producción de otros alimentos o colorantes alimentarios. Por ser una fuente rica en antocianinas, entre ellas la acilada (que le da mayor estabilidad a la estructura), se eligió la mazorca de maíz morada, que es la porción del maíz con mayor concentración de antocianinas, para obtener el extracto acuoso rico en antocianinas, con la menor degradación posible de estas antocianinas, y que este extracto pueda ser utilizado posteriormente, por ejemplo, como fuente alimenticia o como fuente de antocianinas en medio acuoso (ya que las antocianinas en medio acuoso están sujetas a hidratación con la consiguiente pérdida de color).

Las antocianinas son componentes con potencial actividad biológica; sin embargo, dependiendo de las condiciones de extracción o incluso dependiendo de las condiciones fisiológicas, pueden estar presentes en diferentes formas o incluso degradarse, con la posibilidad de perjudicar su actividad biológica. Entre las diversas fuentes alimenticias, el maíz morado es una excelente fuente para obtener un extracto acuoso rico en antocianinas.



Figura 4: Maíz Morado  
Fuente: Stanquevis R. 2013.

#### **2.2.6. Quinua**

La FAO, cataloga a la quinua en 1996, como el cultivo más prometedor para la humanidad, tanto por sus propiedades altamente beneficiosas como por sus diversos usos, y porque es considerada una alternativa para solucionar los

graves problemas de la nutrición humana en diferentes regiones del mundo. (FAO, 2011). En 2013, la ONU declaró el Año Internacional de la Quinoa, con el objetivo de incentivar que este producto sea más conocido en Europa y en el mundo, aumentando la visibilidad del gran potencial de la quinoa y contribuyendo a la seguridad alimentaria mundial.

Los granos de quinoa se destacan como alimento por el excelente equilibrio entre carbohidratos, proteínas y lípidos que se encuentran en su composición (Ccora et. al. 2019). Proteínas, compuestas por aminoácidos esenciales, como lisina y metionina, con niveles, comparativamente, superior al de los cereales y legumbres, ha despertado el interés de la comunidad científica, por el potencial nutricional de la quinoa.

Por su composición y valor nutricional y por ser libre de gluten, la quinoa puede considerarse uno de los alimentos mas recomendables y completos en especial para los niños, mujeres embarazadas y menopáusicas, ancianos y convalecientes, además de deportistas, vegetarianos, diabéticos y adultos, en general; además de destacarse como una materia prima importante en la diversificación de productos alimenticios para personas celíacas (Ccora et. al. 2019).

De los granos de quinoa se pueden derivar varios productos, tales como: palomitas de quinoa, harina, pasta, hojuelas, granola, barras energéticas (FAO, 2011), panificación (Alvarez-Jubete et al., 2010), bebida fermentada (Bicudo et al. ., 2012), cerveza sin gluten (Hager et al., 2014; De Meo et al., 2011), etc. Además, en los últimos años se ha incrementado el número de investigaciones en desarrollo de productos que utilizan la quinoa en conjunto con otros cereales (FAO, 2011). Sin embargo, la obtención de productos que aprovechen las características físico-químicas de la quinoa, como el uso del almidón extraído de la quinoa, aún está poco explorado (FAO, 2011). La investigación sobre el almidón de quinoa se ha concentrado en granos de quinoa de color blanco, especialmente en el cultivar Real (Araujo, et. al.2010).

Existe diversidad de colores de granos de quinua entre los genotipos existentes que, independientemente del color, tienen características diferentes (Repocarrasco-Valencia et al., 2010) como en términos de almidón, proteínas, minerales, azúcares, vitaminas, saponinas, capacidad antioxidante, etc. Esta variabilidad estimula la investigación en la búsqueda de cultivares que puedan tener usos específicos en la industria alimentaria.

#### 2.2.6.1. Características generales de los granos de quinua

Los granos de quinua están formados estructuralmente por: pericarpio, epispermo (frente), perispermo y embrión (radícula y cotiledones) (Figura 5). El pericarpio es rico en minerales, principalmente calcio y potasio (Ren, et. al. 2023). Destaca el embrión, que contiene dos cotiledones - está presente con el 86% de la proteína total y el 49% de los lípidos totales y no se encontró perispermo o teoría de almidón superior (Prego; Maldonado; Otegui, 2008).

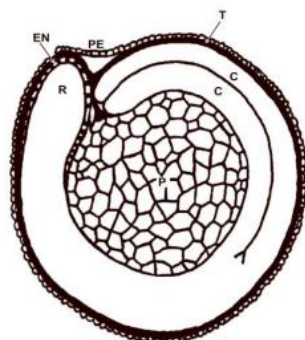


Figura 5: Sección longitudinal que muestra el grano de quinua. El pericarpio (PE) cubre el grano; (T) Episperma o Testa; (C) cotiledones; (EN) endospermo; (R) radícula y (P) perispermo

Fuente: Prego; Maldonado; Otegui (2008)

El color del grano de quinua se da de la combinación del color del pericarpio y el epispermo también llamado frente (T) (Ccora et. al. 2019). El pericarpio (PE) puede ser blanco, translúcido, rosado, amarillo, rojo, marrón, naranja, negro o gris. En el epispermo se encuentran las saponinas, que son un grupo de glucósidos vegetales que forman espumas en el agua y que provocan un sabor amargo en el grano (Koziol, 2011b). Para eliminar las saponinas, se utiliza un tratamiento de desaponificación mediante lixiviación con agua (método húmedo) o mediante eliminación mecánica

(método seco) o mediante una combinación de los dos métodos. Los cultivares de quinua, independientemente del color, tienen diferentes características de composición (Repo-Carrasco-Valencia et al., 2010).

#### **2.2.6.2. Composición de los granos de quinua**

Los granos de quinua contienen un alto valor nutricional debido a la calidad de su proteína, que presenta una deseable composición de aminoácidos (COMAI et al., 2007). Según datos recopilados por Ren, et. al. (2023), el contenido de proteína en los granos de quinua varía del 12 al 23%, siendo un promedio de 16,3% (en base seca, bs) superior al encontrado en algunos cereales, como la cebada ( 11,0%, bs), arroz (7,5%, bs) y maíz (13,4%, bs), y similar al del trigo (15,4%). La suplementación de granos de cereales con quinua puede aumentar la calidad de la proteína del producto resultante. La proteína de la quinua es rica en lisina, un aminoácido esencial para la dieta humana, por lo que es una de las más completas entre muchas verduras (Ren, et. al. 2023) y con valores superiores a los que se encuentran en la mayoría de las proteínas de origen vegetal (Ruales; Nair , 2012). Los niveles de los aminoácidos lisina y metionina son comparativamente más altos que los de los cereales y las legumbres, además de contener triptófano que generalmente es limitante en los cereales (Comai et al., 2007; Ruales; Nair, 2012).

La quinua se considera una buena fuente de fibra dietética (10 a 16%) con 7.8 a 14.4% de fibra insoluble y 1.4 a 2.2% de fibra soluble (Ruales; Nair, 2012; Repo -Carrasco-Valencia; Serna, 2011; Lamothe et al. , 2015). Los diferentes niveles de fibra dietética total o sus componentes observados en la literatura pueden deberse a los diferentes genotipos de quinua evaluados, a las condiciones de producción y también a los diferentes métodos analíticos empleados (Lamothe et al., 2015). Considerando el contenido de fibra cruda, Koziol (2012) observó que en los granos de quinua la cantidad de fibra cruda (3.8%) era mayor que en maíz (2.3%) y trigo (2.8%) y menor en cebada (4.4%), arroz (6,4%), frijol (5,0%), soja (5,6%) y chocho (14,6%).

### **2.2.7. Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante**

Los compuestos fenólicos se consideran nutrientes no esenciales, aunque se recomienda ampliamente su consumo; están presentes en la dieta humana a partir del consumo de frutas, verduras, bebidas y cereales (Araujo, 2015). La importancia de estos compuestos radica en que tienen la capacidad de neutralizar o inhibir los radicales libres, que provocan diversas enfermedades degenerativas; es decir, tienen actividad antioxidante (Araujo, 2015; Salgado, 2009).

El organismo humano está continuamente expuesto al ataque de los radicales libres y para mantener las defensas es necesario reponer la cantidad de antioxidantes tan pronto como se consumen. Si bien el cuerpo humano cuenta con sistemas de reparación y defensas naturales que actúan contra la acción continua de los radicales libres, estos sistemas no son completamente efectivos (Rolfes, 2008).

Los compuestos fenólicos tienen actividad antioxidante (Araujo, 2015). Las frutas, verduras y cereales son de especial interés debido a la fuerte actividad antioxidante que ejercen componentes como las antocianinas y los carotenoides. Existe una correlación lineal entre los compuestos fenólicos y la actividad antioxidante.

En los cereales, la mayor proporción de compuestos fenólicos se encuentra en la capa más externa de los granos (Araujo, 2015). Los granos de quinua que tienen un color más oscuro, como el rojo y el negro, tienen mayor capacidad antioxidante.

Tang et al. (2015) observaron que los granos de quinua oscura presentaban una gran proporción de compuestos fenólicos denominados antocianinas además encontraron hasta 23 compuestos fenólicos presentes en los granos de quinua, de los cuales las betacianinas, principalmente betaínas e isobetaínas, fueron responsables de la coloración roja y negra en los granos.

La quinua tiene una actividad antioxidante de 30,3 mg / 100g a 59,7 mg / 100g similar a otros cereales como la cebada (45 mg / 100g) y el maíz (60,1 mg / 100g), sin embargo, mayor que el arroz (13,9 mg / 100g) (Repocarrasco-Valencia et al., 2010).



### **2.2.8. Almidón de la quinua y sus propiedades**

La mayoría de los carbohidratos presentes en los granos de quinua se encuentran en forma de almidón, lo que representa alrededor del 60 al 70%. El almidón es un carbohidrato de reserva que se encuentra en forma de gránulos dentro de los cloroplastos y amiloplastos en varias especies de plantas y se forma a partir de la glucosa producida durante la fotosíntesis (Cereda, 2011; Sizer).

Entre las hortalizas con almidón se encuentran cereales como arroz, trigo, maíz, centeno, cebada y avena, además de otras fuentes como legumbres y tubérculos (Rolfes, 2008). Además de aportar del 70 al 80% de las calorías consumidas por el hombre, el almidón de suma importancia para la industria de los alimentos por las propiedades funcionales y físico-químicas que tiene, siendo usado como aglutinante, espesante, y estabilizante de emulsiones y geles (Cereda, 2011; Gonçalves, 2012).

El contenido de almidón del grano de quinua oscila entre el 48,3 y el 64,2% (Lindeboom et al., 2015). El almidón de quinua está compuesto por pequeños gránulos que varían de 0,6 a 2,5  $\mu\text{m}$  (Atwell et al., 2013) ubicados en el perispermo (Prego; Maldonado; Otegui, 2008).

Las propiedades químicas, físicas y funcionales del almidón se muestran en la Figura 6, es importante señalar que existe una estrecha relación entre ellas. Varias de estas propiedades estarán involucradas al mismo tiempo cuando el almidón se utilice en un proceso determinado (Cereda, 2011).

El almidón está formado por moléculas de glucosa unidas entre sí, por enlaces glicosídicos tipo alfa ( $\alpha$ ), representados por la fórmula  $(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_5)_n \times \text{H}_2\text{O}$  presentando una estructura helicoidal formada por amilosa y amilopectina (Cereda, 2011).

### **2.2.9. Características químicas.**

La amilosa es un polisacárido de conformación molecular lineal larga, compuesto por 200 o más unidades de  $\alpha$ -D-glucosa unidas por enlaces  $\alpha$ -1,4

de D-glucopiranososa. El peso molecular varía en el rango de 10 (Egharevba, 2019). La molécula de amilosa tiene tendencia a formar hélices y rotar a través de varias capas de amilopectina. Los átomos de hidrógeno se encuentran dentro de la estructura helicoidal, en consecuencia, la parte hidrofóbica permite que la amilosa forme complejos con moléculas de ácidos grasos, yodo o algunas moléculas de alcohol (Thomas; Atwell, 2009). Es esta propiedad de la molécula de amilosa la que permite la formación del complejo azul oscuro cuando está en una solución que reacciona con el yodo (Koblitz, 2010).

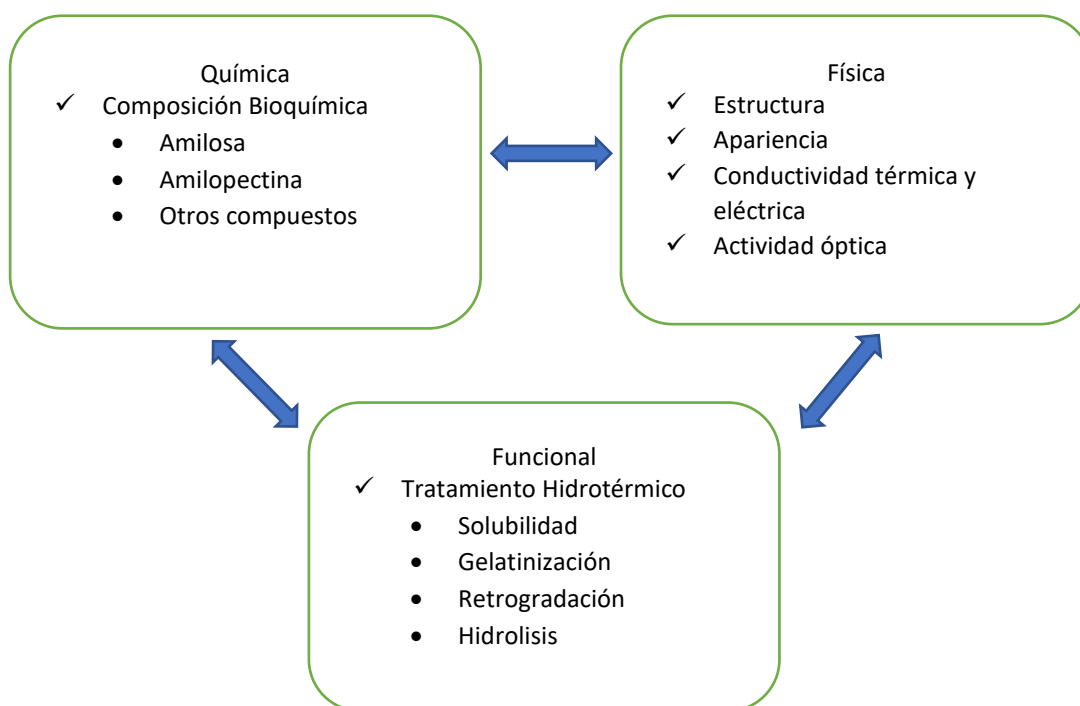


Figura 6: Interrelaciones de las propiedades del almidón  
Fuente: adaptado de Cereda (2011)

La amilopectina es un polímero altamente ramificado compuesto por unidades de D-glucosa, con enlaces  $\alpha$ -1,4 y  $\alpha$ -1,6. Los enlaces  $\alpha$ -1,6 son responsables de la ramificación de la molécula. La amilopectina en contacto con la solución de yodo tiene un color rojizo (Cereda, 2011)

La amilosa se diferencia de la amilopectina debido también a la cantidad relativa de componentes menores asociados con la molécula, ya que su

molécula forma complejos con los lípidos presentes en el gránulo, lo que influye en las propiedades reológicas del almidón.

La amilosa y la amilopectina están presentes en proporciones variables en los gránulos de almidón, del 20 al 35% y del 70 al 80%, respectivamente, y pueden variar dependiendo de las cantidades relativas, el tamaño y la forma de asociación en el gránulo; esto determina la extensión y tipo de estructura cristalina (Gonçalves, 2012).

Los almidones más importantes de la industria se extraen de fuentes como el maíz, la papa y el trigo, por lo que la amilosa y la amilopectina se encuentran en diferentes proporciones de 69 a 77% de amilopectina y 23-31% de amilosa. Las dos moléculas juntas representan el 97 - 99% del peso seco de los almidones de fuentes comerciales (Egharevba, 2019).

Atwell et al. (2013) informaron, que el almidón de quinua, que tenía 11% de amilosa, que es bajo en relación a los demás cereales. Por otro lado la investigación de Lindeboom et al. (2015) al evaluar almidones de diferentes genotipos de quinua, observo que varían los niveles de amilosa entre 3.5 - 19.6%, afectando sus propiedades.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. MATERIALES

##### 3.1.1. Bienes

- Extrusora doble tornillo Modelo: LABOR PQ DRX- 50 Serie: 1101150408  
País: Brasil
- Cámara Germinadora Marca: MAQUILAK Modelo: ENC-HT400II Capacidad: 400 L. Temperatura rango: 0-65 °C
- Cámara climatizadora: Marca: LABTECH, Modelo: LHT-2250C, Serie: PXOPOP2401O.
- Secador de Bandejas: Marca: A&C Ingenieros Modelo: SE-1402, Serie: 10-3.
- Molino Ultra centrifugo: Marca: RETSCH, Modelo: Z200, Serie: 12160103
- Lector de placas multimodal
- Espectrofotómetro: UNICO - Modelo: 2800E SERIE: SQU11061106048)
- Estufa: Marca: POL-EKO, Modelo: SLW115TOP, Serie: SW1TF121018
- Equipo Kjeldahl: Marca: FOSS, Modelo: KJELTEC, SERIE: KJELTEC 8100
- Equipo SOFTLEX, Marca: FOSS, Modelo : 207-MCSX, SERIE: 20460047
- Texturometro. Marca: BROOKFIELD. Modelo CT34500. Serie: 8555940.

##### 3.1.2. Materiales, reactivos y herramientas

- Maíz morado PMV – 581
- Quinoa INIA 415 – Pasankalla
- Ácido Galico P.A. de 0.250kg
- Folin & Ciocalteus phenol reagent. P.A. 0.5 litro
- Carbonato sódico P.A. 250g.
- Fluorescein, Sodium Salt. P.A. 125g.
- 2,20-Azo-bis (2-amidinopropano) dihidrocloruro P.A. 100g
- Acido 6-hidroxi-2,5, 8-tetrametilcromano-2-carboxilico P.A.5g.
- Materiales de vidrio (pipetas, vasos de precipitado, folías, micropipetas, pipetas volumétricas certificadas).
- Otros Materiales, reactivos y herramientas

## 3.2. MÉTODOS

### 3.2.1. Método(s) de la investigación

El método de investigación es aplicativa y de acuerdo a las variables experimentales fue de laboratorio.

### 3.2.2. Diseño

El diseño de la investigación fue experimental. Por lo que, se aplicó un diseño de Mezcla combinado con 17 tratamientos experimentales por cada mezcla de harinas y por producto. El diseño de mezclas se incrementó en su uso a medida que se forman nuevos materiales al mezclar varios componentes donde las características y propiedades del nuevo producto dependió de las proporciones de los componentes en cada una de las formulaciones y las distintas condiciones de temperatura de extrusión.

La opción definida vuelca todos los puntos candidatos en el diseño. Los candidatos son todas las combinaciones posibles de los candidatos de mezcla harina de maíz morado (*Zea mays L.*) germinada, (5 – 35%) y la harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) germinada (65 – 95 %), con los candidatos de proceso como la temperatura de extrusión de (120 °C – 130°C). Los candidatos se seleccionan como se describe para los candidatos de mezcla y RSM. Por lo tanto, a menos que desee clasificar entre muchas combinaciones posibles.

**Tabla 1:**

Matriz de experimentos (Diseño de mezclas combinada) para elaborar un snack obtenido por extrusión de harina de maíz morado (*Zea mays L.*) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) germinadas a distintas condiciones de temperatura de extrusión.

Formulación	A:% Harina de maíz morado (%)	B:% Harina de quinua germinada (%)	C:Temperatura de extrusión °C	Prot. (%)	Grasa (%)	ORAC (μmoles TE/mg)	TPC (mg GAE/100 g)	Textura-dureza (N)	Text.-trabajo total (mJ)	Color Angulo de tonalidad	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	IAA	ISA (%)	IE
15	5	95	130											
7	20	80	125											
8	5	95	130											
11	12.5	87.5	120											
13	12.5	87.5	122.5											
2	20	80	120											
9	35	65	120											
5	35	65	125											
10	20	80	130											
1	27.5	72.5	127.5											
17	5	95	125											
12	12.5	87.5	127.5											
14	35	65	120											
6	27.5	72.5	122.5											
4	5	95	120											
3	35	65	130											
16	35	65	130											

Fuente: Desing Expert v.13.0

### 3.2.3. Población y muestra

La población está conformada por granos de quinua (*Chenopodium quinoa*) y granos de Maíz morado (*Zea mays L.*), el grano de quinua es de la variedad Quinoa Pasankalla y el maíz morado es la PMV – 581 (mejorado por el INIA) maíz procedente de Caraz – Ancash.

Las muestras fueron tomadas solo de granos seleccionados de quinua (*Chenopodium quinoa*) y Maíz morado (*Zea mays L.*).

### 3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

**A. Germinación del grano de Maíz morado (*Zea mays L.*) y quinua (*Chenopodium quinoa*):** La germinación del grano de Maíz morado (*Zea mays L.*) y de quinua (*Chenopodium quinoa*) se realizó usando los parámetros propuestos en publicaciones científicas (Paucar-Menacho et al. 2017; Paucar-Menacho et al. 2018 y Abderrahim et al, 2012). (Anexo 1 y 2)

**B. Caracterización de la composición proximal, actividad antioxidante de las harinas de grano germinado:** Se realizó el análisis proximal de las harinas según los métodos de la AOAC, los análisis se realizaron en los laboratorios de Analisis y Composicion de Productos Agroindustriales e IITA de la UNS:

- Grasa (método 922.06) (Anexo 3)
- Ceniza (método 923.03)
- Proteína (método Kjeldahl 920.87) (Anexo 4)
- Compuesto fenólicos por Folin Ciocalteus y actividad antioxidante por ORAC según esta descrito por Paucar-Menacho et al. 2017. (Anexos 6 y 7)

**C. Caracterización física de Producto terminado:** Se realizó un análisis físico de los extruidos elaborados, evaluando la densidad Aparente, el Índice de Solubilidad en Agua (ISA), el Índice de Absorción de Agua (IAA) adaptado de Correa et. Al (2017). Y el Índice de Expansión (IE) adaptado de meza et. Al, (2019). Además de Color instrumental por método Cielab y Textura. (Anexos 8 al 13).

**D.** Caracterización del producto terminado: Se realizó un análisis de calidad nutricional de los extruidos elaborados: Composición proximal (grasa, proteína), contenido de Polifenoles totales, y actividad antioxidante (según esta descrito por Paucar Menacho et al. 2017) y antocianinas (según descrito por Tuanama, et. al. (2019).

#### 3.4. Procedimiento de la recolección de datos

##### **A. VARIABLE INDEPENDIENTE (Factores):**

Mezcla de harinas de granos andinos maíz morado y quinua germinada para elaborar extruido, según detalle siguiente:

- Harina de maíz morado (*Zea mays L.*) germinada [5 – 35%]
- Harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) germinada [65 – 95 %]
- Temperatura de extrusión [120 °C – 130°C]

**B. VARIABLE DEPENDIENTE (Respuestas):** Se aplicó la metodología de superficies de respuesta para optimizar la formulación, teniendo en cuenta una sustitución de harina de quinua germinada de 65 - 95% por granos de harina germinada de maíz morado de 5 – 35%.

- Características composicionales (grasa y proteínas).
- Características Tecnológicas (textura, color, densidad, índice de Absorción de Agua, Índice de solubilidad de agua y poder de hinchamiento).
- Características funcionales (capacidad antioxidante y contenido total de polifenoles).
- Características Sensoriales

El proceso de elaboración de snack seguirá las siguientes etapas:

- **Recepción de la materia prima:** Se trabajó con el maíz morado y quinua el cual será germinada usando los parámetros propuestos en publicaciones científicas (Paucar-Menacho et al. 2017; Paucar-Menacho et al. 2018 y Abderrahim et al, 2012).
- **Preparación de formulaciones:** Estas se realizaron de acuerdo al diseño de mezclas siendo los márgenes porcentuales de harina de maíz morado germinada (5 – 35%) y de harina de quinua germinada (65 – 95%)



- **Extrusión:** Se utilizo en un extrusor de alta presión, teniendo en la matriz un orificio de 6 cm De diámetro. El extrusor se halla revestido con una cámara eléctrica. Se establecieron temperaturas entre (120 – 130 °C), de trabajo y con parámetros establecidos del equipo: con un flujo de alimentación constante, una velocidad de tornillo de 380 rpm, caudal de agua de 10 cc/min, velocidad de cuchilla de 600 rpm.
- **Enfriado:** Se realizo a temperatura ambiente.
- **Envasado:** Se envaso en bolsas flexibles de polipropileno de varias laminas, para conservar el producto.

**Determinación de las características sensoriales (sabor, color, textura y apariencia) las cuales fueron** evaluadas por 25 panelistas seminternados, mediante escalas no estructuradas. Para la optimización se empleó el método de la función deseada (Myers & Montgomery, 2002) para determinar la formulación óptima.

### 3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de los resultados

Los diseños de Mezcla combinado se utilizan cuando la respuesta cambia en función de las proporciones relativas de los componentes y a un factor que interviene en ella. Todos los componentes deben ingresarse en las mismas unidades de medida y cada ejecución debe sumar el mismo total. El análisis estadístico de regresión múltiple para evaluar el efecto de las harinas se realizará con el programa Desing Expert versión 13.0 y se realizara un análisis de varianza ( $= 0.05$ ) de modelos de regresión lineal, cuadrático y cubico para escoger el modelo más significativo ( $p < 0.05$ ) y de mejor ajuste ( $R^2$ ) con el cual se construirán las superficies de respuesta para determinar los rangos de harinas que optimizan las variables dependientes. Para la optimización se empleará el método de la función deseada, que consiste en estandarizar cada respuesta en una función cuyo valor varía de 0 (fuera del rango deseado) a 1 (en el rango deseado).

Como criterio de optimización se busca maximizar las características sensoriales y nutricionales de los productos, especialmente los que maximizan los compuestos funcionales y tecnológicos.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Composición químico proximal de la harina de maíz morado (*Zea mays L.*) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) germinadas

En la tabla 2, se muestra los resultados químico proximal de la harina Quinoa y Maíz Morado germinado

Tabla 2:

Composición químico proximal de la harina de Quinoa y Maíz Morado germinado

Análisis Proximal	Quinoa ( <i>Chenopodium quinoa</i> ) germinada	Maíz Morado ( <i>Zea mays L.</i> ) germinada
Proteína	17.2426 ± 0.3718	14.7588 ± 0.5306
Humedad	5.14 ± 0.082	8.18 ± 0.047
Cenizas	1.98 ± 0.091	1.52 ± 0.246
Grasas	7.356 ± 0.151	5.14 ± 0.208
Carbohidratos	68.2814 ± 0.4214	70.4012 ± 0.208
ORAC (μmoles TE/mg)	1493.3559±100.7128	7456.50±62.6605
TPC mg GAE/100 g	34.1339±0.2888	134.9378±5.8929

El análisis proximal de la quinua (*Chenopodium quinoa*) germinada y el maíz morado (*Zea mays L.*) germinado permite comprender cómo sus diferencias en composición química pueden influir en su aplicación en la industria alimentaria, especialmente en la producción de snacks extruidos. Estos resultados no solo reflejan su valor nutricional, sino que también proporcionan información crucial sobre su impacto en la funcionalidad del producto final.

Uno de los aspectos más relevantes es el mayor contenido de proteína en la quinua germinada (17.24 ± 0.37%) en comparación con el maíz morado germinado (14.76 ± 0.53%). La quinua es conocida por su alto valor proteico y su perfil completo de aminoácidos esenciales, lo que la distingue de otros cereales y pseudocereales (Guzmán-Maldonado et al., 2019; Vega-Gálvez et al., 2010). En contraste, el maíz morado, aunque posee un contenido de proteína inferior, es una fuente de antioxidantes, principalmente antocianinas, lo que le otorga un valor funcional adicional (Menchaca et al., 2020).

Desde el punto de vista tecnológico, el contenido de proteínas afecta la estructura del producto extruido. Se ha reportado que una mayor proporción de proteínas puede influir en la retención de agua y en la formación de una matriz cohesiva durante la

extrusión (Moraru & Kokini, 2003; Guha et al., 2020). Sin embargo, niveles elevados de proteína pueden limitar la expansión del producto, lo que ha sido observado en extrudidos con alto contenido de pseudocereales, donde la interacción proteína-almidón modifica la textura y reduce la porosidad (Brennan et al., 2013; Zhu, 2017). En este sentido, la combinación de quinua y maíz morado podría ofrecer un balance adecuado entre expansión y contenido proteico.

El maíz morado germinado presenta un mayor contenido de humedad ( $8.18 \pm 0.047\%$ ) en comparación con la quinua germinada ( $5.14 \pm 0.082\%$ ). Este aspecto es fundamental en términos de estabilidad y conservación, ya que productos con una mayor humedad tienen una menor vida útil y son más susceptibles al deterioro microbiológico (Pathania et al., 2013; Azzollini et al., 2018).

El contenido de cenizas, que indica la presencia de minerales en los ingredientes, es mayor en la quinua germinada ( $1.98 \pm 0.091\%$ ) en comparación con el maíz morado germinado ( $1.52 \pm 0.246\%$ ). Este resultado confirma que la quinua es una excelente fuente de minerales esenciales como hierro, zinc y magnesio, lo que ha sido ampliamente documentado en estudios previos (Hegazy et al., 2017).

Un alto contenido mineral no solo es importante desde el punto de vista nutricional, sino que también puede influir en la funcionalidad del producto durante la extrusión. Se ha observado que ciertos minerales, como el calcio y el magnesio, pueden modificar la estructura del almidón y la formación de enlaces en la matriz proteica, afectando la textura y las propiedades mecánicas del snack (Ragaei et al., 2014; Kebede et al., 2023).

El contenido de grasa en la quinua germinada ( $7.36 \pm 0.151\%$ ) es considerablemente mayor que en el maíz morado germinado ( $5.14 \pm 0.208\%$ ), lo que confirma que la quinua es una fuente importante de ácidos grasos esenciales como el ácido linoleico y el ácido oleico (Guha et al., 2020; Song, & Tang, 2023). Estos compuestos no solo tienen un impacto positivo en la salud, sino que también afectan la textura y estabilidad del producto final.

El maíz morado germinado presentó un mayor contenido de polifenoles (134.94 mg GAE/100 g) y capacidad antioxidante (7456.50  $\mu$ moles TE/mg) en comparación con la quinua germinada (34.13 mg GAE/100 g y 1493.35  $\mu$ moles TE/mg). La germinación, según Lemmens et al. (2019) y Martínez-Villaluenga et al. (2020), mejora la bioaccesibilidad de compuestos fenólicos al activar enzimas que aumentan

su concentración y biodisponibilidad. Además, estudios como los de Kebede et al. (2023) y Hegazy et al. (2017) destacan que la germinación reduce factores antinutricionales, favoreciendo la absorción de polifenoles y su actividad antioxidante. Sin embargo, la estabilidad de estos compuestos varía entre los ingredientes, siendo las antocianinas del maíz morado más resistentes que los fenoles de la quinua germinada

El contenido de carbohidratos es el macronutriente predominante en ambas muestras, con valores ligeramente superiores en el maíz morado germinado ( $70.40 \pm 0.208\%$ ) en comparación con la quinua germinada ( $68.28 \pm 0.4214\%$ ). Este hallazgo es esperado, ya que los cereales como el maíz contienen una mayor proporción de almidón en comparación con los pseudocereales como la quinua (Muñoz, et. al, 2022).

El mayor contenido de carbohidratos en el maíz morado podría favorecer la expansión del producto extruido, ya que el almidón es el principal responsable de la estructura porosa de los snacks extruidos (Yi et al., 2022).

#### **4.2. Características composicionales (grasa y proteínas) de snacks obtenidos por extrusión de la harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) germinadas a distintas condiciones de temperatura.**

Para la producción de snacks obtenidos por extrusión de la harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) germinadas a distintas condiciones de temperatura, y las características nutricionales como la proteína además de evaluar el contenido de grasa de los snacks. Son presentados en la tabla 3 de las 17 formulaciones según el diseño de mezcla combinado.

Tabla 3:

Resultados del contenido Composicional de Grasas y Proteínas de snacks para cada formulación.

Run	Formulación	A:% Harina de maiz morado (%)	B:% Harina de quinua germinada (%)	C: Temperatura de extrusión (°C)	Grasas (%)	Proteínas (%)
1	15	5	95	130	0.8487 ± 0.0219	17.7984 ± 0.1425
2	7	20	80	125	0.997624 ± 0.0080	17.5589 ± 0.2605
3	8	5	95	130	0.85058 ± 0.0200	17.8594 ± 0.1366
4	11	12.5	87.5	120	0.890558 ± 0.0184	17.46 ± 0.3611
5	13	12.5	87.5	122.5	0.75097 ± 0.0071	17.8004 ± 0.2520
6	2	20	80	120	0.876914 ± 0.0233	17.3609 ± 0.3675
7	9	35	65	120	0.81703 ± 0.0147	16.97 ± 0.2308
8	5	35	65	125	1.023 ± 0.0057	17.2036 ± 0.1837
9	10	20	80	130	0.884216 ± 0.0199	17.398 ± 0.5504
10	1	27.5	72.5	127.5	0.735547 ± 0.0270	16.7679 ± 0.1849
11	17	5	95	125	0.724068 ± 0.0118	20.3725 ± 0.3487
12	12	12.5	87.5	127.5	0.837416 ± 0.0160	17.7984 ± 0.4739
13	14	35	65	120	0.83475 ± 0.03242	16.8815 ± 0.1145
14	6	27.5	72.5	122.5	0.983735 ± 0.0108	16.8228 ± 0.2329
15	4	5	95	120	1.03005 ± 0.0356	17.8349 ± 0.2505
16	3	35	65	130	0.699884 ± 0.0085	16.7811 ± 0.2068
17	16	35	65	130	0.70125 ± 0.0099	16.8126 ± 0.2147

### Contenido de Grasas.

Con respecto al contenido de grasa obtenidos por extrusión de harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) germinadas a distintas condiciones de temperatura de extrusión, se muestran en la tabla 3.

Los resultados obtenidos muestran la influencia significativa de las condiciones de extrusión y la composición de las mezclas en la retención de grasa en snacks elaborados a partir de harina de maíz morado y quinua germinada. Donde la temperatura de extrusión y las proporciones de estos ingredientes muestran efectos claros y complejos sobre el contenido de grasa en el producto.

Hay que destacar la relación entre la temperatura de extrusión y el contenido de grasa. A temperaturas más altas, como 130 °C, se observó una reducción significativa del contenido lipídico, como en la formulación 3, que registró un contenido de grasa de 0.6998%. Este resultado está en línea con estudios realizados por Brennan et al. (2013), quienes señalan que las temperaturas elevadas durante la extrusión pueden

conducir a la degradación térmica de los lípidos y la volatilización de compuestos apolares. Además, do Carmo et al. (2019) destacan que los perfiles térmicos generados durante la extrusión afectan de manera significativa la retención de componentes lipídicos debido al alto nivel de tensión mecánica y calor aplicado.

Por otro lado, a temperaturas más bajas, como 120 °C, los snacks tendieron a conservar mayores cantidades de grasa. Esto es evidente en la formulación 4, que alcanzó un contenido de grasa de 1.030%. Este comportamiento podría estar relacionado con una menor oxidación lipídica a temperaturas moderadas, tal como sugieren Martínez-Villaluenga et al. (2020), quienes señalan que las temperaturas de procesamiento controladas pueden preservar mejor los componentes funcionales, incluidos los lípidos.

El análisis de varianza (ANOVA) aplicado al contenido de grasa de los snacks muestra que el modelo utilizado es significativo, con un valor de  $p=0.0124$ , con un  $R^2=0.8036$ , (anexo 14A, 14A1) además, se identificó que la interacción entre la harina de maíz morado y la temperatura de extrusión (AC) tiene un efecto significativo ( $p=0.0208$ ), lo que indica que la temperatura afecta considerablemente la retención de grasa dependiendo de las proporciones de harina de maíz morado. Los términos cuadráticos ( $AC^2$  y  $BC^2$ ) también resultaron significativos, con valores de  $F=18.00$  ( $p=0.0022$ ) y  $F=9.77$  ( $p=0.0122$ ), respectivamente, lo que sugiere relaciones no lineales y puntos óptimos en la combinación de ingredientes y temperatura. Los términos cúbicos ( $AC^3$  y  $BC^3$ ) reflejan una naturaleza más compleja, con un efecto significativo de  $AC^3$  ( $F=6.28$ ,  $p=0.0335$ ). El modelo elegido por tener un efecto estadístico significativo con un nivel de confianza del 95 %, donde el modelo se expresa con un modelo matemático cúbico ajustado:

$$\text{Grasa} = 1.02A + 0.7332B - 0.5386AC + 0.3567BC - 0.2525AC^2 + 0.1901BC^2 + 0.4924AC^3 - 0.4118BC^3$$

Este modelo destaca la mayor contribución positiva del maíz morado al contenido de grasa en comparación con la quinua germinada, lo que se alinea con estudios previos que resaltan el alto contenido lipídico intrínseco del maíz morado (Félix-Medina et al., 2021). Sin embargo, los coeficientes negativos asociados a la interacción entre la temperatura y el maíz morado ( $AC$  y  $AC^2$ ) reflejan cómo el calor puede reducir significativamente la retención de grasa en formulaciones con altos niveles de este ingrediente.

La composición de las mezclas también juega un papel clave en la retención de grasa. Las formulaciones con un mayor porcentaje de harina de maíz morado (35%) mostraron una mayor variabilidad en el contenido de grasa en función de la temperatura. Esto sugiere una posible interacción entre los almidones y los lípidos presentes en el maíz morado, lo que se ve influido por el calor durante la extrusión. En este contexto, Yi et al. (2022) destacan que los cambios estructurales en los almidones inducidos por el calor pueden modificar la capacidad de retención de grasa en los productos extruidos.

Las formulaciones con altos porcentajes de quinua germinada (80-95%) presentaron un contenido de grasa más estable. Esto es consistente con las observaciones de Graziano et al. (2022), quienes reportaron que la quinua germinada posee propiedades funcionales que mejoran la retención de agua y lípidos, además de contener compuestos bioactivos que protegen a los lípidos de la oxidación. Además, Paucar-Menacho et al. (2018) señalan que la germinación de granos puede aumentar la capacidad de retención de agua, lo que podría influir indirectamente en la estabilización del contenido lipídico durante el procesamiento.

Las Figuras 7 y 8 muestra una representación gráfica del comportamiento del contenido de grasa (%) en snacks obtenidos por extrusión a partir de mezclas de harina de maíz morado (*Zea mays L.*) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) bajo diferentes condiciones de temperatura de extrusión.

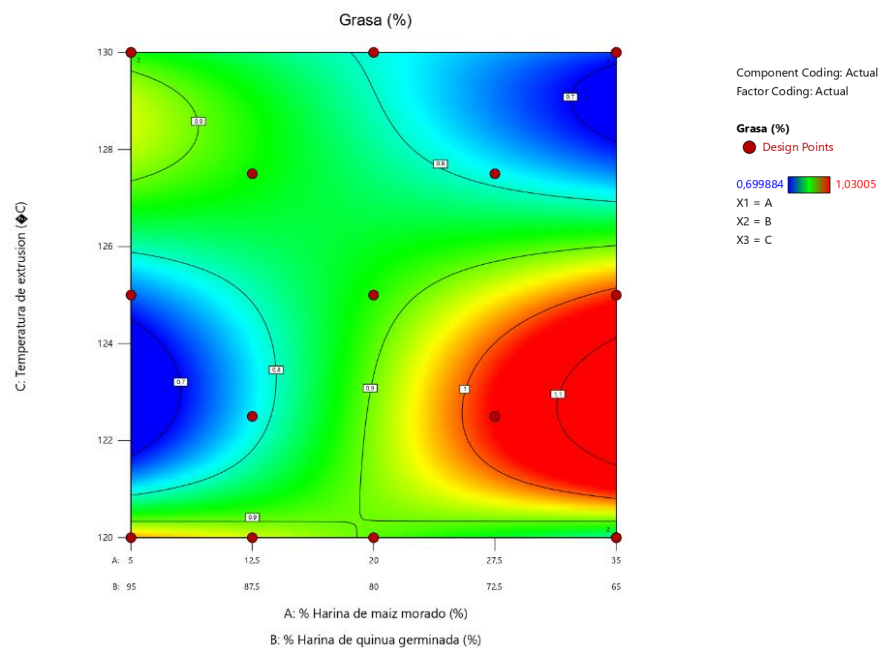


Figura 7: Representación gráfica de superficie de contornos de contenido de grasa de snacks.

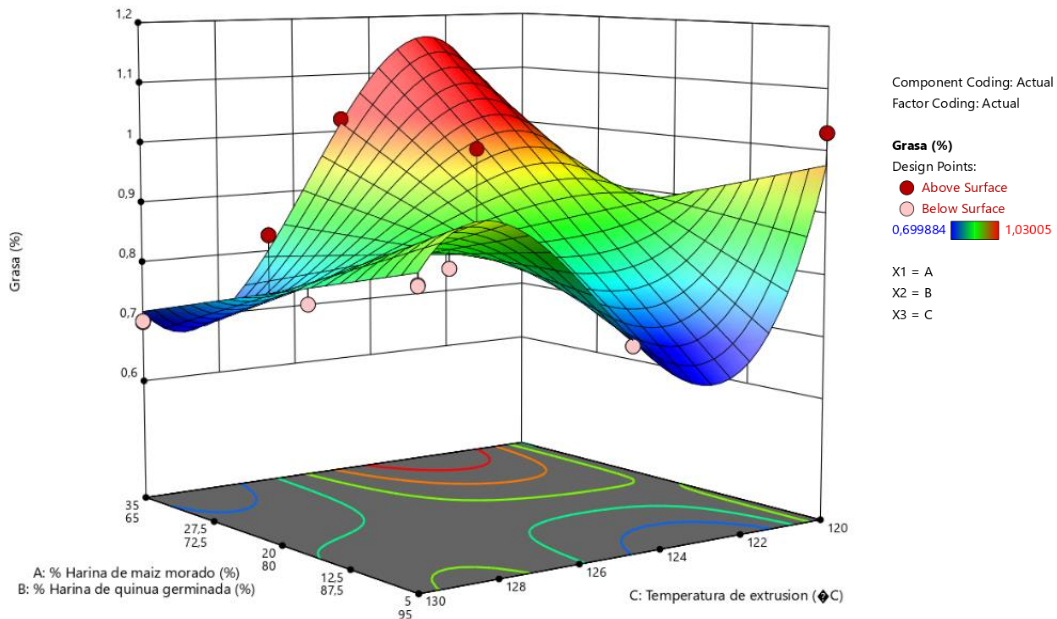


Figura 8: Representación gráfica de superficie de respuesta de contenido de grasa de snacks

En la Figura 7, de superficie de contorno se observa que los valores más bajos de grasa, representados por las zonas azules, ocurren cuando la temperatura de extrusión es baja (aproximadamente 122 °C) y el porcentaje de harina de maíz morado es mínimo (5%), mientras que la harina de quinua germinada es predominante (95%). Este comportamiento es consistente con estudios previos, como el de Graziano et al. (2022), quienes señalaron que la quinua germinada tiene una alta capacidad de retención de agua y estabilización de lípidos, reduciendo el contenido graso en formulaciones de snacks. Además, Paucar-Menacho et al. (2018) destacan que la germinación de pseudocereales como la quinua mejora sus propiedades funcionales, contribuyendo a la estabilidad del contenido de grasa.

Por otro lado, las áreas rojas en la Figura 7 indican valores elevados de grasa, alcanzando hasta 1.03005%. Estos valores se asocian con bajas temperaturas (120 °C) y altos porcentajes de harina de maíz morado (35%), lo que sugiere que el maíz morado, al ser una fuente rica en lípidos, contribuye significativamente al contenido graso en estas condiciones. Este resultado es coherente con lo reportado por Félix-Medina et al. (2021), quienes encontraron que la composición lipídica intrínseca del maíz morado aumenta el contenido de grasa en productos extruidos.

La Figura 8, de superficie de respuesta que incorpora la variable del contenido de grasa como eje Z, complementa el análisis proporcionando una visión tridimensional



de cómo interactúan las variables. Se aprecia que los valores más bajos de grasa (alrededor de 0.699884%) se obtienen en condiciones similares a las descritas para la Figura 7: temperaturas bajas y un predominio de quinua germinada. Este hallazgo respalda la tendencia observada en investigaciones como las de Brennan et al. (2013), quienes destacaron que bajas temperaturas durante la extrusión minimizan la oxidación de los compuestos lipídicos y favorecen la retención de propiedades funcionales.

En la Figura 8 también se identifican puntos específicos de interés, como a 126 °C con una composición de 20% de harina de maíz morado y 80% de quinua germinada, donde el contenido de grasa es de aproximadamente 0.9%. Este resultado refuerza la idea de que un equilibrio en las proporciones de los ingredientes y una temperatura moderada son clave para obtener un producto con contenido graso controlado. Esto concuerda con estudios como el de Martínez-Villaluenga et al. (2020), que enfatizan que las condiciones de procesamiento deben optimizarse para mantener un balance entre las propiedades funcionales y el contenido lipídico.

Cabe destacar la variabilidad observada en los puntos de diseño representados en la Figura 8. Los puntos por encima o por debajo de la superficie ajustada indican posibles desviaciones en el proceso experimental, lo que sugiere que la estabilidad del contenido de grasa también podría depender de factores no considerados en este modelo, como la humedad inicial de los ingredientes o la velocidad de extrusión. Estos factores han sido analizados previamente por Brennan et al. (2013), quienes concluyeron que la complejidad del proceso de extrusión puede generar variaciones en las propiedades finales de los productos.

### **Contenido de Proteínas.**

Los resultados obtenidos sobre el contenido de proteínas en los snacks elaborados mediante extrusión de harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) destaca la importancia de las variables de formulación y de procesamiento en la retención de este nutriente clave, interactuando de manera compleja para influir en el contenido final de proteínas en los productos extruidos.

Los resultados muestran que las formulaciones con mayor porcentaje de harina de quinua germinada presentaron los valores más altos de proteínas. Es así que la formulación 17, que contiene 5% de maíz morado y 95% de quinua germinada,

extruida a 125 °C, registró el contenido proteico más alto ( $20.3725 \pm 0.3487\%$ ). Este hallazgo concuerda con los estudios de Graziano et al. (2022) y Paucar-Menacho et al. (2018), quienes destacaron que la quinua germinada es una excelente fuente de proteínas de alta calidad, con un perfil de aminoácidos balanceado y una elevada biodisponibilidad.

Por otro lado, las formulaciones con mayor proporción de maíz morado, como la formulación 9 (35% maíz morado y 65% quinua germinada, extruida a 120 °C), mostraron valores de proteína más bajos ( $16.97 \pm 0.2308\%$ ). Este resultado puede explicarse por el menor contenido proteico intrínseco del maíz morado en comparación con la quinua germinada, tal como lo reportaron Félix-Medina et al. (2021) y Martínez-Villaluenga et al. (2020). Además, estudios como los de Brennan et al. (2013) destacan que el procesamiento térmico puede afectar de manera diferente a las proteínas dependiendo de su fuente.

La temperatura de extrusión también influye de manera significativa en la retención de proteínas. En formulaciones con alto contenido de quinua germinada, como la formulación 8 (5% maíz morado y 95% quinua germinada, extruida a 130 °C), el contenido de proteínas alcanzó  $17.8594 \pm 0.1366\%$ , en comparación con  $17.8349 \pm 0.2505\%$  registrado en la formulación 4, extruida a 120 °C. Esta leve diferencia sugiere que en formulaciones dominadas por quinua germinada, el efecto de la temperatura sobre la desnaturalización proteica es limitado.

En contraste, para formulaciones con mayor contenido de maíz morado, como la formulación 3 (35% maíz morado y 65% quinua germinada, extruida a 130 °C), se observa una ligera disminución en el contenido de proteínas ( $16.7811 \pm 0.2068\%$ ) respecto a la formulación 14, procesada a 120 °C ( $16.8815 \pm 0.1145\%$ ). Esto sugiere que temperaturas más altas podrían incrementar la desnaturalización de proteínas en presencia de mayores cantidades de maíz morado, posiblemente debido a interacciones con almidones, como lo señalaron Zhu et al. (2017) y do Carmo et al. (2019).

El análisis de varianza (ANOVA) confirma la importancia de las interacciones entre las variables evaluadas. El modelo general resultó altamente significativo ( $p < 0.0001$ ), con un  $R^2 = 0.9643$ , (anexo 14B, 14B1) lo que indica que las variables de formulación y proceso explican gran parte de la variabilidad en el contenido proteico. La interacción entre el porcentaje de maíz morado y quinua germinada (AB) también

es significativa ( $p=0.0002$ ), destacando cómo la combinación de ambos ingredientes afecta de manera compleja la retención de proteínas.

Además, los efectos cuadráticos, como la interacción entre la temperatura y la quinua germinada ( $BC^2$ ,  $p<0.0001$ ), revelan la existencia de puntos óptimos en los que la retención proteica se maximiza. Esto concuerda con los hallazgos de Paucar-Menacho et al. (2018), quienes indicaron que las condiciones óptimas de procesamiento son cruciales para preservar los nutrientes en alimentos extruidos.

Por otro lado, el modelo matemático cuadrático ajustado para predecir el contenido de proteínas en los snacks extruidos se expresa mediante la ecuación:

$$\text{Proteina}=17.22A+20.22B-6.29AB-0.0676AC+0.0115BC+0.2017ABC-0.3588AC^2-2.41BC^2+6.13ABC^2$$

Este modelo refleja que la harina de quinua germinada tiene el mayor impacto positivo en el contenido proteico (coeficiente de 20.22), mientras que la interacción entre maíz morado y quinua germinada muestra una reducción en la retención de proteínas al aumentar la proporción de maíz. La interacción cuadrática negativa destaca que, a temperaturas más altas, la retención de proteínas en presencia de quinua germinada disminuye debido a desnaturalización proteica.

Estos resultados son consistentes con los reportes de Martínez-Villaluenga et al. (2020), quienes concluyeron que los pseudocereales, como la quinua, mejoran el perfil proteico de los productos procesados. Además, Zhu et al. (2017) observaron que la desnaturalización proteica durante la extrusión depende en gran medida de la fuente de la proteína y la temperatura, lo que respalda los patrones observados en este estudio. Por otra parte, Graziano et al. (2022) destacaron que la quinua germinada no solo mejora el contenido proteico, sino también proporciona propiedades funcionales que favorecen la estabilidad del producto.

Las Figuras 9 y 10 muestra una representación gráfica del comportamiento del contenido de proteínas (%) en snacks obtenidos por extrusión a partir de mezclas de harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) bajo diferentes condiciones de temperatura de extrusión.

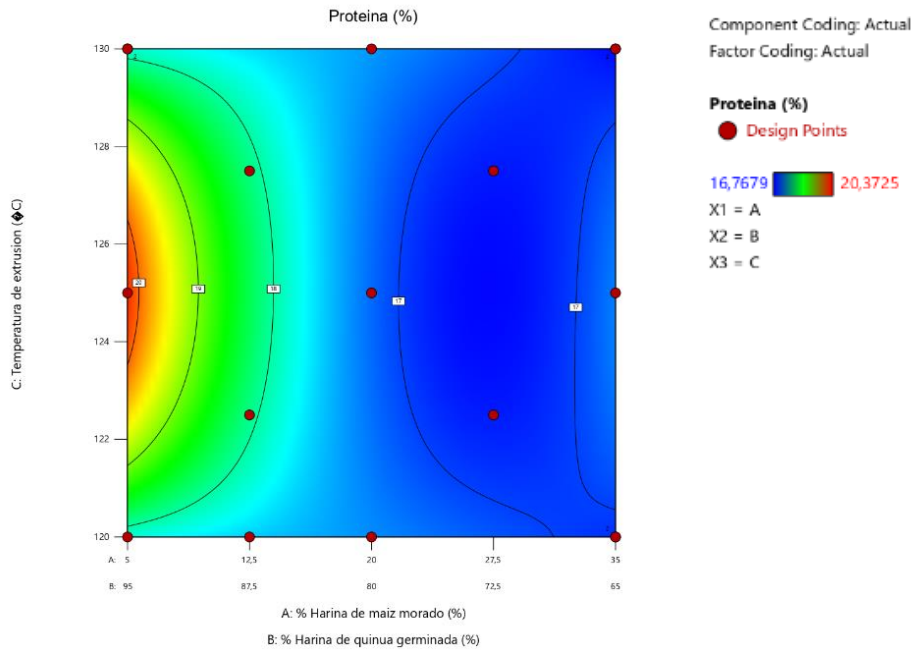


Figura 9: Representación gráfica de superficie de contornos de contenido de proteínas de snacks.

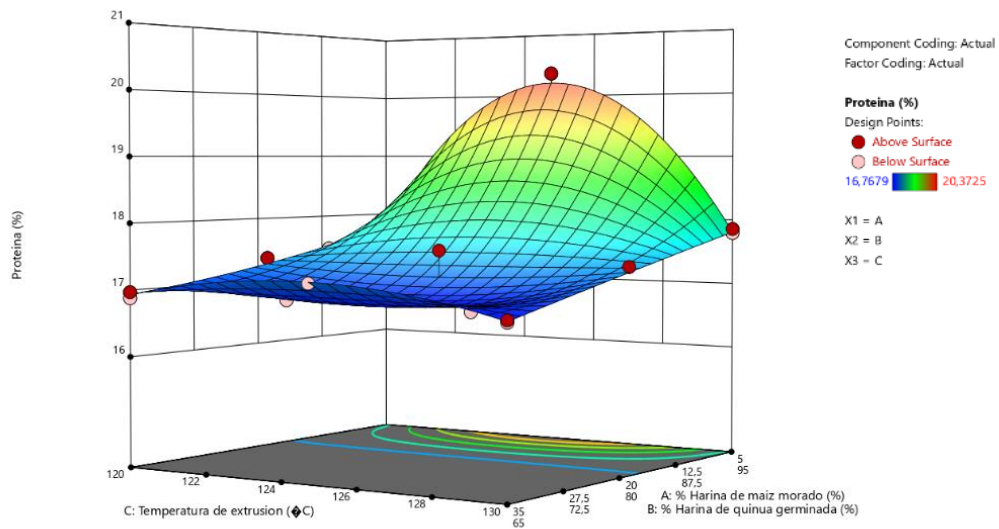


Figura 10: Representación gráfica de superficie de respuesta de contenido de proteínas de snacks

El análisis de la Figura 9, que representa la superficie de contornos del contenido de proteínas en snacks obtenidos por extrusión de harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) bajo distintas condiciones de temperatura de extrusión, revela la compleja interacción de múltiples factores que afectan la composición proteica del producto final.

De acuerdo a los resultados, el contenido proteico varía entre 16.7679% y 20.3725%. La región de mayor contenido de proteína, indicada por colores cálidos como el rojo y el naranja, corresponde a formulaciones con un bajo porcentaje de harina de maíz morado (5%) y un alto porcentaje de harina de quinua germinada (95%), procesadas a temperaturas intermedias de extrusión cercanas a los 125 °C. como se muestra en la formulación 17, que contiene esta combinación, registró el valor proteico más alto ( $20.3725 \pm 0.3487\%$ ), reafirmando que la quinua germinada, conocida por su alto contenido proteico y su perfil de aminoácidos balanceado, es un factor crucial en la retención de proteínas en productos procesados, como destacaron Paucar-Menacho et al. (2018) y Graziano et al. (2022).

En la región azul de la figura 9, que indica un menor contenido de proteínas, se encuentran formulaciones con un 35% de harina de maíz morado y un 65% de harina de quinua germinada, procesadas a temperaturas entre 120 °C y 130 °C. así se observa en la formulación 3 (35% maíz morado, 65% quinua germinada, 130 °C) presenta un contenido proteico de  $16.7811 \pm 0.2068\%$ , mientras que la formulación 14 (35% maíz morado, 65% quinua germinada, 120 °C) alcanza un valor ligeramente superior de  $16.8815 \pm 0.1145\%$ . Estos resultados subrayan que una mayor proporción de maíz morado reduce el contenido de proteínas debido a su menor aporte proteico en comparación con la quinua germinada, como también indicaron Martínez-Villaluenga et al. (2020).

Respecto al efecto de la temperatura de extrusión, los datos muestran que, en formulaciones con alto contenido de quinua germinada, un incremento de la temperatura de 120 °C a 130 °C no genera una variación significativa en el contenido de proteínas. Es así que la formulación 8 (5% maíz morado, 95% quinua germinada, 130 °C) tiene un contenido proteico de  $17.8594 \pm 0.1366\%$ , mientras que la formulación 4 (5% maíz morado, 95% quinua germinada, 120 °C) registra un valor similar de  $17.8349 \pm 0.2505\%$ . Esto sugiere que la temperatura, dentro de este rango, tiene un impacto limitado en formulaciones dominadas por quinua germinada.

Por otro lado, las formulaciones con proporciones intermedias de harinas, como la formulación 12 (12.5% maíz morado, 87.5% quinua germinada, 127.5 °C), presentan un contenido proteico de  $17.7984 \pm 0.4739\%$ . Esto indica que combinaciones balanceadas de ingredientes y temperaturas moderadas pueden optimizar la retención de proteínas, lo cual concuerda con los resultados de Zhu et al. (2017), quienes

observaron que las condiciones óptimas de procesamiento mejoran la calidad proteica en productos extruidos.

La Figura 10, superficie de respuesta del contenido de proteínas, reafirma los hallazgos anteriores, pero aporta mayor claridad sobre las interacciones no lineales entre los factores estudiados. En esta figura, el contenido de proteínas varía entre 16.7679% y 20.3725%, con los valores más altos localizados en el área que combina un 5% de maíz morado, un 95% de quinua germinada y una temperatura moderada de 125 °C. Este hallazgo destaca que la quinua germinada, gracias a su perfil nutricional, domina la retención de proteínas en condiciones óptimas de extrusión, tal como lo sugirieron Lemmens et al. (2019) y Zhu et al. (2017). Además, los colores cálidos de la figura permiten visualizar con precisión cómo las proporciones más altas de quinua germinada compensan el impacto negativo de temperaturas más elevadas.

Sin embargo, en las zonas azuladas de la figura 10, correspondientes a formulaciones con mayores proporciones de maíz morado (35%) y temperaturas más altas, se observa una clara disminución en el contenido de proteínas. Como se observa en la formulación 3 (35% maíz morado, 65% quinua germinada, 130 °C), el contenido proteico se reduce significativamente a 16.7811%. Esto se puede atribuir tanto a la menor calidad proteica del maíz morado como a la desnaturalización de proteínas causada por temperaturas elevadas, lo que coincide con los reportes de Robin et al. (2010) y Galván et al. (2021).

Adicionalmente, la Figura 10 destaca que las formulaciones intermedias, como la 12 (12.5% maíz morado, 87.5% quinua germinada, 127.5 °C), logran un equilibrio razonable en el contenido proteico (17.7984%). Esto sugiere que la optimización de formulaciones no solo depende de maximizar un único ingrediente, sino de identificar combinaciones equilibradas junto con condiciones de procesamiento adecuadas, como también lo señalaron Brennan et al. (2013) y Graziano et al. (2022).

**4.3. Características Tecnológicas (textura, color, densidad, índice de Absorción de Agua, Índice de solubilidad de agua e índice de expansión) de snacks obtenidos por extrusión de la harina de maíz morado (*Zea mays L.*) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) germinadas a distintas condiciones de temperatura**

En la tabla 5, se presenta los resultados de las características tecnológicas (textura, color, densidad, índice de Absorción de Agua, Índice de solubilidad de agua e índice de expansión) de snacks obtenidos por extrusión de la harina de maíz morado (*Zea mays L.*) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) germinadas a distintas condiciones de temperatura

Tabla 4:

Resultados de Características Tecnológicas (textura, color, densidad, índice de Absorción de Agua, Índice de solubilidad de agua e Índice de Expansión) de snacks para cada formulación.

Formulación	A: % Harina de maíz morado %	B: % Harina de quinua germinada %	C: Temperatura de extrusión °C	Textura-energía total (mJ)	Textura-Dureza (N)	Color Angulo de tonalidad (grados)	Densidad gr/cm <sup>3</sup>	IAA	ISA %	Índice de Expansión IE
15	5	95	130	113.34 ± 2.8512	40.6109± 0.3124	78.591 ± 0.78	0.2648 ± 0.02672	7.53231± 0.13241	2.10375± 0.36062	2.356± 0.1749
7	20	80	125	147.23 ± 2.6255	44.2382± 0.4852	70.683 ± 0.35	0.2031 ± 0.01599	7.07351± 0.36466	2.35897± 0.34524	2.52311± 0.2901
8	5	95	130	114.81± 2.5158	45.3247± 0.4196	77.855 ± 0.98	0.2840 ± 0.02162	7.497± 0.1466	2.10375± 0.19753	2.32933± 0.2464
11	12,5	87,5	120	67.455± 2.5346	29.3491± 0.3796	77.542 ± 0.17	0.2625 ± 0.03889	7.24459± 0.35312	2.08124± 0.20761	2.35311± 0.2197
13	12,5	87,5	122,5	138.33± 2.6311	33.278± 0.2468	72.198 ± 1.03	0.2436 ± 0.00728	6.78361± 0.19573	3.37896± 0.37724	2.26089 ± 0.1312
2	20	80	120	80.18 ± 2.0272	48.4271± 0.2468	71.972 ± 1.30	0.2430 ± 0.015113	6.43147± 0.38324	1.6937± 0.22391	2.34756± 0.1312
9	35	65	120	95.978 ± 2.0277	38.725± 0.2174	59.486 ± 1.57	0.2395 ± 0.01175	7.15859± 0.19251	2.14329± 0.13695	2.34733± 0.1116
5	35	65	125	88.455 ± 2.2326	30.4846± 0.4599	62.781 ± 0.28	0.2279 ± 0.02813	6.63228± 0.32613	1.99713± 0.16233	2.36889± 0.2732
10	20	80	130	118.41± 2.2898	41.2584± 0.3803	69.303 ± 0.55	0.2518 ± 0.01974	7.15028± 0.28168	2.24034± 0.30494	2.16689± 0.2202
1	27,5	72,5	127,5	84.185± 2.9511	34.2982± 0.4124	69.750 ± 1.74	0.2434 ± 0.01417	6.28895± 0.37475	1.68829± 0.34012	2.29689± 0.2416
17	5	95	125	135.825 ± 2.6824	36.8611± 0.2062	77.759 ± 0.58	0.2751 ± 0.01318	7.45814± 0.12832	2.19163± 0.21013	2.31933± 0.1041
12	12,5	87,5	127,5	119.827 ± 2.2149	39.5196± 0.4910	72.979 ± 1.03	0.2522 ± 0.03149	7.23469± 0.25934	2.19512± 0.2531	2.37244± 0.2940
14	35	65	120	94.99 ± 2.958	33.278± 0.4497	58.859 ± 0.93	0.2269 ± 0.02896	7.201± 0.3961	2.14329± 0.19155	2.50667± 0.2665
6	27,5	72,5	122,5	114.79 ± 2.093	42.4773± 0.2637	68.136 ± 0.60	0.2294 ± 0.02103	6.71906± 0.20531	1.78283± 0.14763	2.37933± 0.1425
4	5	95	120	101.07 ± 2.1147	32.806± 0.2545	75.522 ± 1.45	0.2522 ± 0.03978	6.78869± 0.18274	1.83274± 0.22672	2.37311± 0.1364
3	35	65	130	94.225 ± 2.6821	41.9917± 0.2550	62.051 ± 0.86	0.2234 ± 0.01747	6.40806± 0.34724	1.95367± 0.37761	2.48933± 0.1367
16	35	65	130	96.332± 2.6824	44.7606± 0.2913	53.370 ± 0.68	0.2446 ± 0.01767	6.389± 0.24781	2.015± 0.24581	2.20156± 0.1608



## **Trabajo total**

Los resultados obtenidos sobre el trabajo total de los snacks extruidos a partir de mezclas de harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) permiten evaluar el impacto de la formulación y la temperatura de extrusión en la textura final del producto. El trabajo total es un indicador clave de la firmeza del snack y su resistencia a la fractura, ya que representa la cantidad de energía necesaria para comprimir y romper la estructura del producto. En este sentido, su comportamiento está determinado por la proporción de ingredientes y las condiciones de procesamiento, lo que influye en la densidad, porosidad y cohesión de la matriz alimentaria.

El contenido de harina de maíz morado tiene una influencia significativa en la reducción del trabajo total, lo que sugiere que su presencia favorece la formación de una estructura más aireada y menos compacta. Se observa que formulaciones con un 35% de maíz morado, como las muestras 9, 5, 3, 14 y 16, presentan valores de trabajo total que oscilan entre 88.455 y 96.332 mJ, en comparación con formulaciones con menor proporción de este ingrediente. Esto puede atribuirse a la naturaleza del almidón del maíz morado, que experimenta gelatinización y expansión durante la extrusión, promoviendo la formación de una matriz más porosa y, en consecuencia, un menor trabajo total (Zhu et al., 2017; do Carmo et al., 2019).

Por otro lado las formulaciones con una mayor proporción de harina de quinua germinada y menor contenido de maíz morado tienden a generar productos con un mayor trabajo total, reflejando una textura más densa y firme. En particular, formulaciones con solo un 5% de maíz morado y 95% de quinua germinada, como las muestras 15, 8 y 17, exhiben los valores más altos de trabajo total, alcanzando hasta 135.825 mJ en la formulación 17 extruida a 125 °C. Este aumento puede atribuirse a la mayor proporción de proteínas y fibras presentes en la quinua germinada, las cuales pueden contribuir a la compactación de la estructura del snack debido a interacciones proteico-almidón que limitan la expansión (Graziano et al., 2022; Brennan et al., 2013).

La temperatura de extrusión también juega un papel importante en la determinación del trabajo total del snack. A temperaturas más bajas, como 120 °C, los valores de trabajo total tienden a disminuir en varias formulaciones. Por ejemplo, la formulación

11, con 12.5% de maíz morado y 87.5% de quinua germinada, presenta un trabajo total de 67.455 mJ. Este comportamiento sugiere que a temperaturas más bajas, la gelatinización del almidón es menos intensa y se promueve una mayor expansión del producto, dando lugar a una textura más porosa y menos compacta, lo que reduce el trabajo total del snack (Yi et al., 2022).

Por otro lado, a temperaturas más elevadas, como 130 °C, se observa un incremento moderado en el trabajo total en formulaciones con alto contenido de quinua germinada. Como se observa en la formulación 10, con 20% de maíz morado y 80% de quinua germinada, presenta un trabajo total de 118.41 mJ. Este resultado indica que temperaturas más altas pueden inducir una mayor desnaturalización proteica y una compactación estructural, lo que contribuye a la firmeza del snack (Bhat et al., 2019; Galván et al., 2021)..

En formulaciones con una proporción equilibrada de harina de maíz morado y quinua germinada, se observa un efecto intermedio en el trabajo total. Es así que la formulación 13, con 12.5% de maíz morado y 87.5% de quinua germinada, extruida a 122.5 °C, presenta un trabajo total de 138.33 mJ, lo que indica que la combinación de ingredientes y una temperatura moderada pueden resultar en una textura más firme y homogénea. De manera similar, la formulación 6, con 27.5% de maíz morado y 72.5% de quinua germinada, extruida a 122.5 °C, presenta un trabajo total de 114.79 mJ, lo que confirma que una mayor proporción de maíz morado tiende a reducir el trabajo total en comparación con formulaciones con mayor contenido de quinua germinada (Robin et al., 2010).

El análisis de la varianza (ANOVA) indica que el modelo general es significativo ( $p=0.0366$ ) con un  $R^2=0.6187$ , (Anexo 14G y 14G1), lo que sugiere que las variables de formulación y temperatura explican la variabilidad en el trabajo total del snack. Sin embargo, el término cuadrático entre la quinua germinada y la temperatura ( $BC^2$ ) es altamente significativo ( $p=0.0091$ ), lo que sugiere la existencia de puntos óptimos donde el trabajo total se maximiza o minimiza.

El modelo matemático cuadrático ajustado para predecir el trabajo total de los snacks extruidos se expresa mediante la ecuación:

$$\text{Trabajo total}=95.26A+149.07B+0.2369AC+13.31BC-1.21AC^2-48.41BC^2$$

Este modelo muestra que la harina de quinua germinada (B) tiene un impacto significativo en el trabajo total, con un coeficiente de 149.07, en comparación con la harina de maíz morado (A) con un coeficiente de 95.26. La interacción entre la quinua germinada y la temperatura (BC) tiene un coeficiente positivo de 13.31, lo que sugiere que la combinación de estos factores contribuye al trabajo total del snack en ciertas condiciones. El coeficiente negativo de  $-48.41$  para  $BC^2$  indica que a temperaturas más altas, el trabajo total tiende a disminuir después de alcanzar un punto máximo, lo que implica la existencia de una temperatura óptima para lograr una textura firme sin excesiva dureza.

Figuras 11 y 12 muestran una representación gráfica del comportamiento de la textura (Trabajo total) en snacks obtenidos por extrusión a partir de mezclas de harina de maíz morado (*Zea mays L.*) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) bajo diferentes condiciones de temperatura de extrusión.

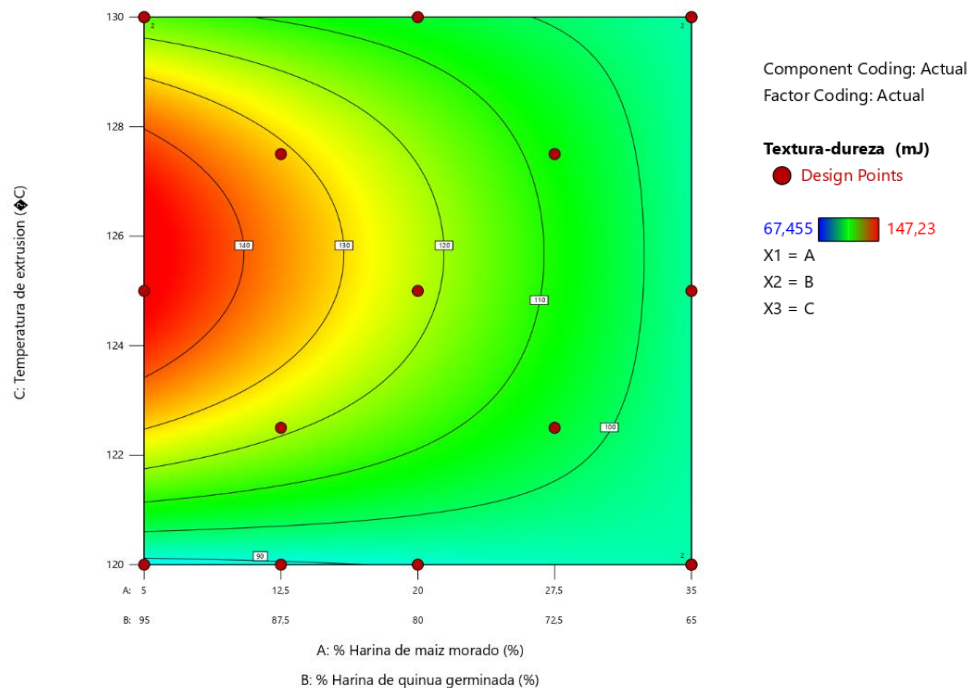


Figura 11: Representación gráfica de superficie de contornos de contenido de Textura (trabajo total) de snacks

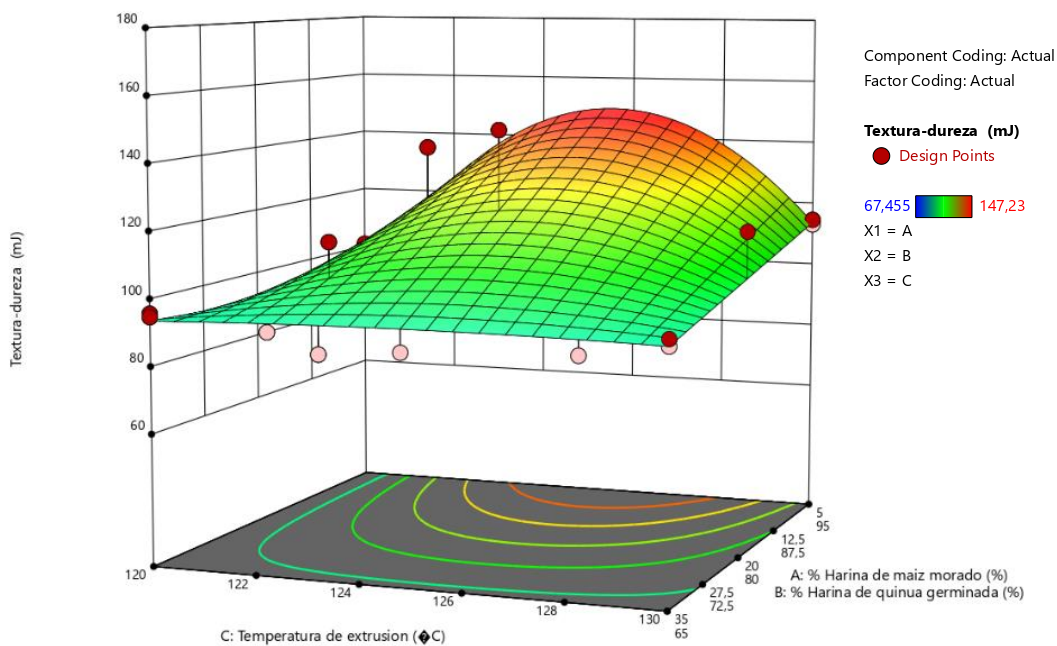


Figura 12: Representación gráfica de superficie de respuesta de contenido de Textura (trabajo total) de snacks o

El análisis de las Figuras 11 y 12 permite comprender de manera integral cómo el trabajo total de los snacks extruidos, medida en milijulios (mJ), es influenciada por la interacción entre las variables estudiadas: la proporción de harina de maíz morado (*Zea mays L.*), harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) y la temperatura de extrusión. Ambas figuras representan relaciones claras, aunque desde perspectivas distintas, aportando información relevante para optimizar las propiedades texturales de los productos.

La Figura 11, una gráfica de contornos, ilustra cómo las zonas de mayor trabajo total, representadas en tonos cálidos como amarillo y rojo, están asociadas con formulaciones que contienen un bajo porcentaje de maíz morado (5%) y un alto porcentaje de quinua germinada (95%), extruidas a temperaturas intermedias a altas (126-128 °C). Estas condiciones generan valores máximos del trabajo total de hasta 147.23 mJ. Este resultado se alinea con estudios previos que destacan la influencia de la quinua germinada en la rigidez estructural del producto, debido a su elevado contenido proteico y de almidones más compactos, los cuales reaccionan significativamente bajo temperaturas elevadas de extrusión (Graziano et al., 2022; Zhu, 2017). Yi et al. (2022) señalaron que este efecto es atribuible a la interacción reforzada entre proteínas y almidones, que promueve la formación de una matriz más rígida y compacta en productos con alto contenido de quinua.

Por otro lado, las zonas de menor trabajo total, representadas en tonos azulados y verdes, se encuentran en formulaciones con un alto contenido de maíz morado (35%) y temperaturas bajas (alrededor de 120 °C). En estas condiciones, el trabajo total alcanza valores mínimos de 67.455 mJ, resultado que se atribuye a las propiedades del almidón del maíz morado. Este ingrediente tiene una tendencia a gelatinizar y expandirse durante la extrusión, generando una textura más porosa y aireada (Robin et al., 2010). Además, Brennan et al. (2013) informaron que el maíz tiende a contribuir a la suavidad del producto debido a su composición y propiedades funcionales específicas, como la capacidad de expansión bajo condiciones térmicas moderadas.

La Figura 12, que representa una superficie, amplía esta interpretación al mostrar cómo el trabajo total varía con la temperatura y la composición de las harinas. En esta figura, se confirma que el trabajo total tiende a aumentar cuando se combinan proporciones bajas de maíz morado con altas temperaturas. Esta relación, reflejada en la zona superior derecha de la gráfica, corresponde con valores elevados de trabajo total (147.23 mJ), lo que subraya la influencia de la quinua germinada y las condiciones térmicas en la compactación estructural del snack (Bhat et al., 2019). Por otro lado, los valores más bajos de trabajo total, correspondientes a formulaciones con alto contenido de maíz morado y temperaturas bajas, reafirman el efecto suavizante de este cereal en la textura del producto.

Ambas figuras destacan puntos críticos de interés. Como se muestra en la Figura 11, a una temperatura de 124 °C y una mezcla de 12.5% de maíz morado con 87.5% de quinua germinada, el trabajo total se encuentra en torno a los 140 mJ. De manera similar, en la Figura 12, una combinación de 20% de maíz morado y 80% de quinua germinada a 126 °C resulta en un trabajo total aproximada de 133 mJ. Estos puntos reflejan la importancia de la proporción de ingredientes y las condiciones de temperatura en la obtención de características texturales específicas. Estos resultados coinciden con los reportados por Kaur et al. (2015), quienes destacaron que el equilibrio adecuado entre ingredientes y temperatura puede optimizar la textura en productos extruidos.

## **Dureza**

Los resultados obtenidos sobre la dureza de los snacks extruidos a partir de mezclas de harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) bajo diferentes condiciones de temperatura de extrusión proporcionan información valiosa sobre la influencia de la formulación y los parámetros de procesamiento en la textura del producto final. La dureza es una propiedad clave en la calidad sensorial de los snacks extruidos, ya que influye en la percepción del consumidor y en la aceptabilidad del producto. Se ha demostrado que este parámetro está influenciado por la interacción entre la proporción de harinas, la temperatura de extrusión y los cambios en la estructura del almidón y las proteínas durante el proceso de extrusión (do Carmo et al., 2019; Zhu, 2017).

El análisis de los datos muestra que la formulación juega un papel fundamental en la dureza de los snacks. Las muestras con mayor contenido de harina de quinua germinada y menor proporción de maíz morado, como las formulaciones 15 (5% maíz morado, 95% quinua germinada, 130°C) y 8 (5% maíz morado, 95% quinua germinada, 130°C), presentan valores de dureza elevados, con 40.6109 N y 45.3247 N, respectivamente. Esto sugiere que la harina de quinua germinada contribuye a una mayor compactación del producto, lo que resulta en una textura más firme y resistente. La alta proporción de proteínas en la quinua germinada podría estar promoviendo una mayor cohesión de la matriz alimentaria, lo que se traduce en una mayor resistencia a la deformación mecánica (Graziano et al., 2022; Brennan et al., 2013).

En contraste, las formulaciones con mayor contenido de harina de maíz morado, como la muestra 9 (35% maíz morado, 65% quinua germinada, 120°C) y la muestra 5 (35% maíz morado, 65% quinua germinada, 125°C), presentan valores de dureza menores, con 38.725 N y 30.4846 N, respectivamente. Estos resultados sugieren que el maíz morado favorece la formación de una estructura más porosa y menos compacta, lo que reduce la resistencia del snack a la fractura. Esto podría estar relacionado con la naturaleza del almidón presente en el maíz morado, que al gelatinizarse durante la extrusión, promueve la expansión del producto y la formación de una textura más ligera (Moraru & Kokini, 2003; Guha et al., 2020).

La temperatura de extrusión también juega un papel crucial en la determinación de la dureza del snack. Se observa que temperaturas más bajas, como 120°C, tienden a generar productos con menor dureza en formulaciones con alta proporción de quinua germinada. Por ejemplo, la muestra 11 (12.5% maíz morado, 87.5% quinua germinada, 120°C) presenta una dureza de 29.3491 N, mientras que la muestra 14 (35% maíz morado, 65% quinua germinada, 120°C) tiene un valor de 33.278 N. Estos valores reflejan que a temperaturas más bajas, el grado de gelatinización del almidón es menor, lo que favorece la expansión del producto y reduce su firmeza (Yi et al., 2022). Sin embargo, en formulaciones con un mayor contenido de maíz morado y temperaturas intermedias, como la muestra 6 (27.5% maíz morado, 72.5% quinua germinada, 122.5°C), se observa un valor de dureza más alto (42.4773 N), lo que indica que en ciertos casos la estructura del almidón puede volverse más compacta y resistente a la fractura.

Por otro lado, temperaturas más altas, como 130°C, pueden generar productos con mayor dureza en algunas formulaciones. La muestra 3 (35% maíz morado, 65% quinua germinada, 130°C) presenta un valor de dureza de 41.9917 N, mientras que la muestra 16 (35% maíz morado, 65% quinua germinada, 130°C) alcanza los 44.7606 N. Este incremento en la dureza puede estar relacionado con la mayor desnaturalización de proteínas y el mayor grado de gelatinización del almidón, lo que contribuye a la formación de una matriz estructural más rígida (Bhat et al., 2019; Galván et al., 2021). Sin embargo, este efecto no es uniforme, ya que otras formulaciones extruidas a 130°C, como la muestra 10 (20% maíz morado, 80% quinua germinada, 130°C), presentan valores de dureza más bajos (41.2584 N), lo que sugiere que la proporción de ingredientes juega un papel más determinante que la temperatura en algunos casos.

En formulaciones con proporciones intermedias de maíz morado y quinua germinada, se observa una variabilidad en la dureza dependiendo de la temperatura de extrusión. La muestra 1 (27.5% maíz morado, 72.5% quinua germinada, 127.5°C) presenta un valor de dureza de 34.2982 N, mientras que la muestra 12 (12.5% maíz morado, 87.5% quinua germinada, 127.5°C) alcanza los 39.5196 N. Estos valores sugieren que la combinación de ambos ingredientes en proporciones intermedias,

junto con temperaturas de extrusión moderadas, genera productos con una dureza equilibrada, que pueden ofrecer una mejor aceptabilidad sensorial.

El análisis de varianza (ANOVA) para el modelo cúbico x lineal aplicado a la dureza del snack extruido proporciona información clave sobre la influencia de la composición de harinas y la temperatura de extrusión en la textura del producto. El p-valor de 0.1014, con un  $R^2=0.6595$ , (Anexo 14H y 14H1), lo que indica que el modelo en su conjunto no es estadísticamente significativo al nivel de confianza del 95%. No obstante, algunas interacciones presentan p-valores menores a 0.05, lo que sugiere que ciertos términos del modelo sí tienen un efecto importante sobre la dureza del extruido.

El efecto individual de la composición de harinas en la dureza del extruido es limitado, ya que la interacción lineal A+B (p-valor = 0.9116) no es significativa. Esto indica que la variación en la proporción de harina de maíz morado y harina de quinua germinada, por sí sola, no modifica de manera sustancial la dureza del snack. Sin embargo, en las interacciones de segundo orden, se observa que BC (harina de quinua germinada y temperatura de extrusión) tiene un p-valor de 0.0715, lo que indica una tendencia cercana a la significancia estadística. Esto sugiere que la dureza del snack se ve afectada por la combinación de quinua germinada y temperatura, lo que podría deberse a la desnaturalización de proteínas y la reducción en la expansión del extruido a temperaturas más altas (Brennan et al., 2013).

El término de tercer orden ABC (harina de maíz morado, harina de quinua germinada y temperatura de extrusión) es significativo (p-valor = 0.0458), lo que indica que la interacción conjunta de estos tres factores influye de manera relevante en la dureza del extruido. Este hallazgo sugiere que no es posible predecir la dureza considerando cada factor de manera independiente, sino que es necesario analizar su efecto combinado. Altan, McCarthy & Maskan (2008) indicaron que los efectos de tercer orden en formulaciones extruidas pueden estar relacionados con la distribución heterogénea de los componentes estructurales, lo que afecta la rigidez y textura del producto final.

Otro término relevante es ABC(A-B), que presenta un p-valor de 0.0413, confirmando que la dureza del extruido no solo depende de los niveles absolutos de los ingredientes, sino de sus relaciones relativas bajo diferentes condiciones de extrusión. Esta interacción compleja puede estar relacionada con la plasticidad de la



matriz del extruido y la forma en que los ingredientes afectan la retención de humedad durante la extrusión (Dar et al., 2014).

El modelo matemático obtenido para predecir la dureza del snack extruido es el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Textura-dureza} = & 37.51420A + 37.1314166B + 15.92331AB + 3.742590AC + 5.406856BC - \\ & 29.98390ABC + 14.09293AB(A-B) - 90.4956ABC(A-B) \end{aligned}$$

Los coeficientes reflejan el impacto relativo de cada variable y sus interacciones en la dureza del extruido. Se observa que los términos ABC (-29.9839) y ABC(A-B) (-90.4956) tienen valores negativos, lo que sugiere que ciertas combinaciones de ingredientes y temperatura pueden reducir la dureza del extruido. Esto podría estar relacionado con un aumento en la expansión del producto, generando una textura más ligera y aireada (Gumul et al., 2023).

Figuras 13 y 14 muestran una representación gráfica del comportamiento de la textura (dureza) en snacks obtenidos por extrusión a partir de mezclas de harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) bajo diferentes condiciones de temperatura de extrusión.

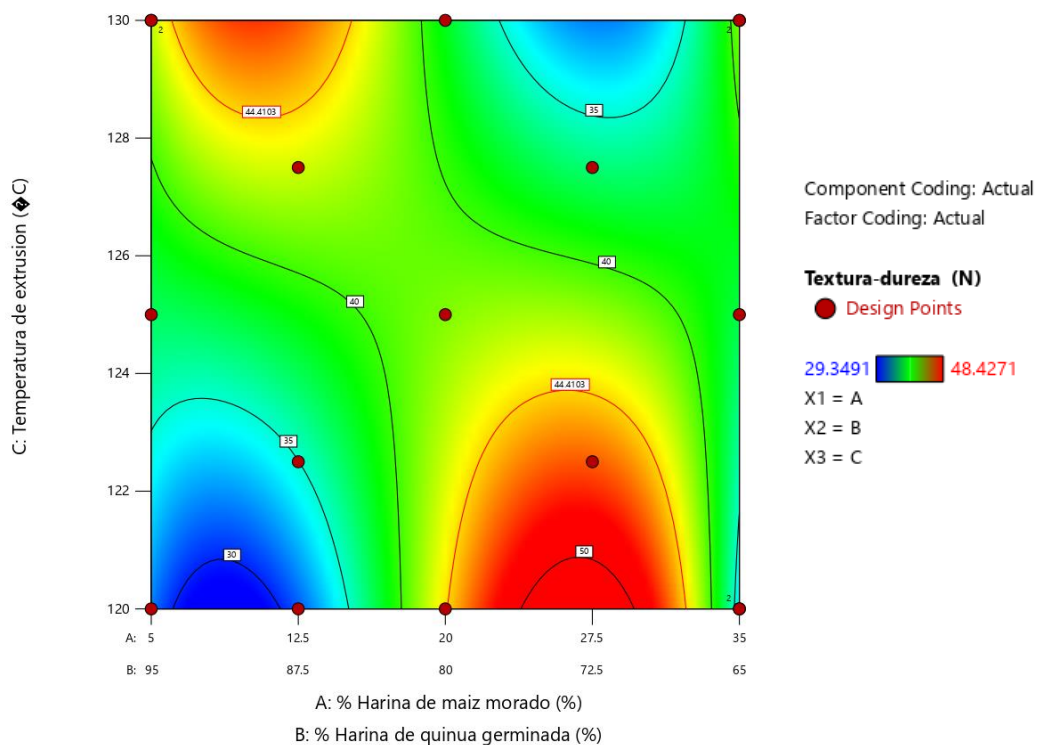


Figura 13: Representación gráfica de superficie de contornos de contenido de Textura (dureza) de snacks

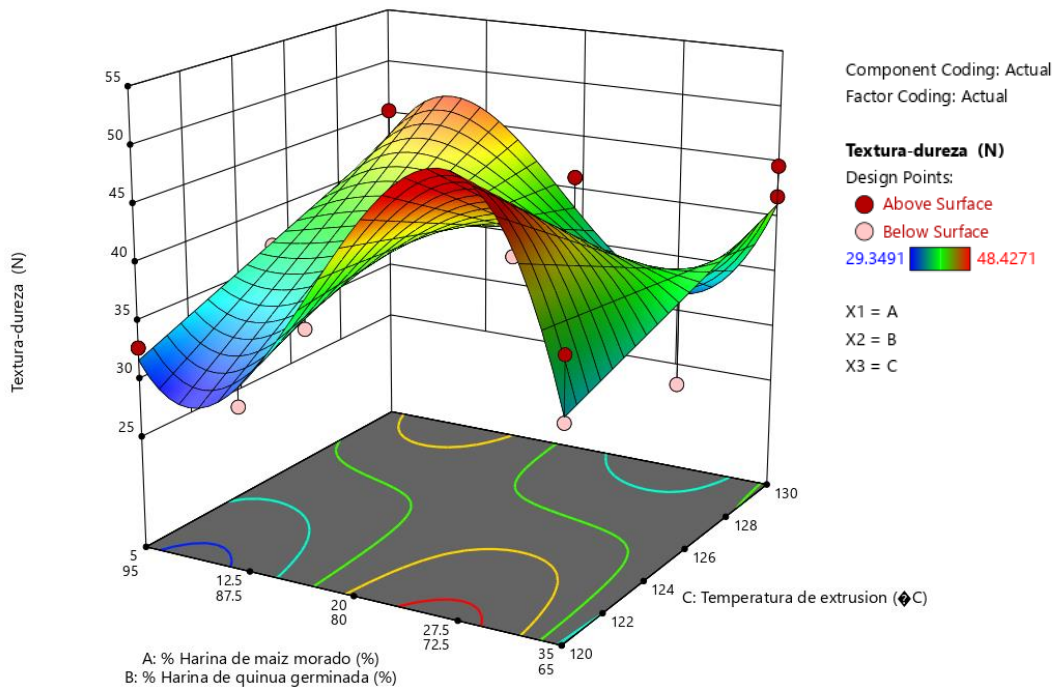


Figura 14: Representación gráfica de superficie de contornos de contenido de Textura (dureza) de snacks

Las Figuras 13 y 14 representan la relación entre la dureza del snack extruido (N), la temperatura de extrusión (°C), el porcentaje de harina de maíz morado y el porcentaje de harina de quinua germinada. En ambos gráficos, se observa un gradiente de dureza que varía entre 29.34 N y 48.42 N, con zonas de menor dureza representadas en azul y las de mayor dureza en rojo. Esto indica que tanto la composición de harinas como la temperatura de extrusión influyen de manera significativa en la textura del producto final.

Los valores más elevados de dureza ( $\geq 44$  N) se concentran en formulaciones con altos porcentajes de harina de quinua germinada (65-72.5%) y temperaturas superiores a 127°C. Esto sugiere que la combinación de una mayor cantidad de quinua germinada con temperaturas elevadas limita la expansión del extruido, aumentando su densidad y generando una estructura más compacta y dura. Brennan et al. (2013) explicaron que la fibra y las proteínas presentes en la quinua afectan la textura del extruido al restringir la formación de una matriz porosa, lo que reduce su capacidad de expansión y, en consecuencia, incrementa su dureza.

Por el contrario, se observan valores de dureza más bajos ( $\leq 30$  N) en formulaciones con alto contenido de maíz morado ( $\geq 27.5\%$ ) y temperaturas de extrusión de 120-

122°C. Esto indica que el maíz morado, debido a su alto contenido de almidón, favorece una mayor expansión del extruido, generando una estructura más porosa y liviana. Gumul et al. (2023) señalaron que la gelatinización del almidón durante la extrusión es clave para obtener una textura más aireada, ya que permite la formación de cavidades dentro del extruido, reduciendo su dureza y favoreciendo una mejor textura.

Desde el punto de vista del procesamiento, la temperatura de extrusión es un factor determinante en la textura del snack. En la mayoría de los casos, valores de temperatura entre 120°C y 130°C permiten obtener una textura relativamente estable, aunque con diferencias en la dureza dependiendo de la proporción de harinas. Kaur et. al (2017) explicaron que la temperatura afecta la gelatinización del almidón y la desnaturalización de proteínas, lo que influye directamente en la expansión del extruido. Sin embargo, cuando la temperatura aumenta más allá de 127°C, se observa un incremento en la dureza, lo que sugiere que la mayor compactación del extruido se debe a una pérdida de humedad y una menor retención de gases dentro de la matriz expandida.

Este comportamiento ha sido reportado en estudios previos, como el de Dar et al. (2014), quienes encontraron que temperaturas excesivas en la extrusión pueden generar una mayor compactación del producto debido a la reducción de la humedad y la menor capacidad de expansión. En ambas figuras, se observa que las zonas de alta dureza coinciden con las condiciones de mayor temperatura y alto contenido de quinua, lo que refuerza la hipótesis de que la combinación de estos factores aumenta la rigidez estructural del extruido.

### **Angulo de Tonalidad**

El análisis de los resultados de color en los snacks extruidos, expresados en términos del ángulo de tonalidad, permite comprender la influencia de la formulación y la temperatura de extrusión en la apariencia final del producto. Las variables analizadas incluyen el porcentaje de harina de maíz morado (*Zea mays L.*) y de harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*), junto con la temperatura de extrusión. La interacción entre estos factores determina la tonalidad y saturación del color de los snacks, lo cual es un atributo clave en la percepción sensorial de los consumidores.

Los resultados muestran que las formulaciones con un mayor contenido de harina de maíz morado tienden a tener valores más bajos de ángulo de tonalidad, lo que indica colores más oscuros. Es así que la formulación 16, con 35% de maíz morado y 65% de quinua germinada, extruida a 130 °C, registra el valor más bajo de ángulo de tonalidad ( $53.370 \pm 0.68$ ). De manera similar, la formulación 14, con la misma proporción de ingredientes, pero extruida a 120 °C, presenta un valor de  $58.859 \pm 0.93$ . Esto sugiere que la presencia de antocianinas y otros pigmentos naturales en el maíz morado reduce la tonalidad a medida que su concentración aumenta en la formulación (Graziano et al., 2022; Repo-Carrasco-Valencia & Serna, 2011). Estudios previos han demostrado que los pigmentos presentes en el maíz morado son sensibles a la temperatura y a las condiciones de extrusión, lo que puede contribuir a la degradación parcial de las antocianinas y a una intensificación del pardeamiento (Brennan et al., 2013; Zhu, 2017).

Por otro lado, formulaciones con mayor contenido de harina de quinua germinada, como las muestras 15, 8 y 17, que contienen solo 5% de maíz morado y 95% de quinua germinada, presentan valores más elevados de ángulo de tonalidad, con registros de  $78.591 \pm 0.78$ ,  $77.855 \pm 0.98$  y  $77.759 \pm 0.58$  respectivamente, todos extruidos entre 125 y 130 °C. La quinua germinada tiene un color más claro y, en ausencia de pigmentos intensos como los del maíz morado, contribuye a una tonalidad más brillante en el snack final (Robin et al., 2010). Esto concuerda con estudios de Kaur et al. (2015) y Yi et al. (2022), quienes reportaron que el color final de productos extruidos depende en gran medida de la composición de los ingredientes y de su estabilidad térmica durante el procesamiento.

La temperatura de extrusión también influye en el color del producto final. Se observa que, en formulaciones con 20% de maíz morado y 80% de quinua germinada, como en la formulación 10 a 130 °C, el ángulo de tonalidad disminuye a  $69.303 \pm 0.55$  en comparación con la formulación 2 a 120 °C, donde se registra un valor de  $71.972 \pm 1.30$ . Esto sugiere que temperaturas más altas pueden reducir el ángulo de tonalidad debido a reacciones de pardeamiento no enzimático, como la reacción de Maillard y la degradación térmica de compuestos fenólicos y antocianinas (do Carmo et al., 2019; Zhu et al., 2017). Este hallazgo es consistente con lo reportado por Xiao et al. (2021), quienes observaron que el color de cereales y pseudocereales extruidos se ve afectado por la temperatura del proceso, debido a cambios en la estructura de los pigmentos naturales y a la formación de compuestos de color marrón.

En formulaciones intermedias con proporciones de 12.5% de maíz morado y 87.5% de quinua germinada, como en la formulación 13 extruida a 122.5 °C, se observa un ángulo de tonalidad de  $72.198 \pm 1.03$ , mientras que en la formulación 12 a 127.5 °C, el valor es de  $72.979 \pm 1.03$ . Esto indica que, en estos casos, la temperatura tiene un efecto menos pronunciado en el color, probablemente debido a la interacción equilibrada de los ingredientes que estabiliza la tonalidad final del snack (Li et al., 2019; Krapf et al., 2020).

El análisis de varianza (ANOVA) indica que el modelo general es altamente significativo ( $p < 0.0001$ ), con un  $R^2 = 0.9005$ , (Anexo 14F y 14F1), lo que sugiere que las variables evaluadas explican la variabilidad observada en el ángulo de tonalidad de los snacks extruidos. El efecto lineal de la combinación de harinas es altamente significativo ( $p < 0.0001$ ), lo que confirma que la proporción de maíz morado y quinua germinada es un factor determinante en la coloración del producto final.

El modelo matemático cuadrático ajustado para predecir el ángulo de tonalidad de los snacks extruidos se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Angulo de tonalidad} = 60.64A + 77.85B + 10.97AB - 0.9679AC + 0.4392BC - 1.18C^2$$

En este modelo, se observa que la harina de quinua germinada (B) tiene el coeficiente más alto (77.85), lo que confirma su mayor influencia en la obtención de colores más claros en comparación con la harina de maíz morado (A), cuyo coeficiente es de 60.64. La interacción positiva entre ambos ingredientes (10.97AB) sugiere que la combinación de harinas puede mitigar el efecto oscurecedor del maíz morado hasta cierto punto, aunque no de manera estadísticamente significativa.

Figuras 15 y 16 muestran una representación gráfica del comportamiento del color representada por el ángulo de tonalidad en snacks obtenidos por extrusión a partir de mezclas de harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) bajo diferentes condiciones de temperatura de extrusión.

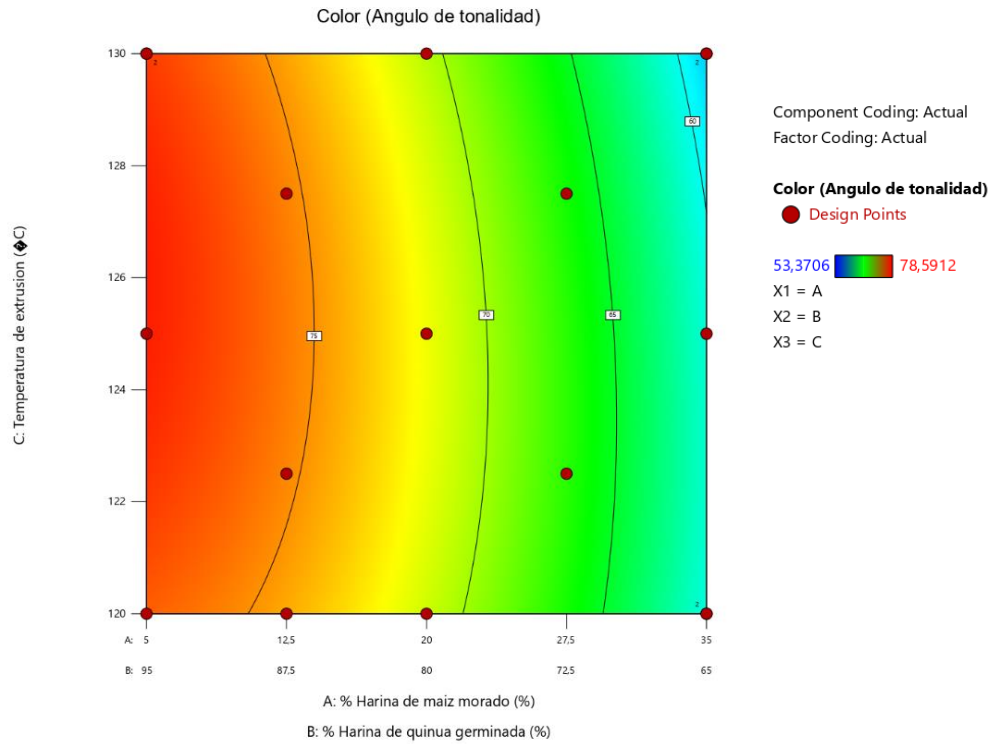


Figura 15: Representación gráfica de superficie de contornos del ángulo de tonalidad de snacks

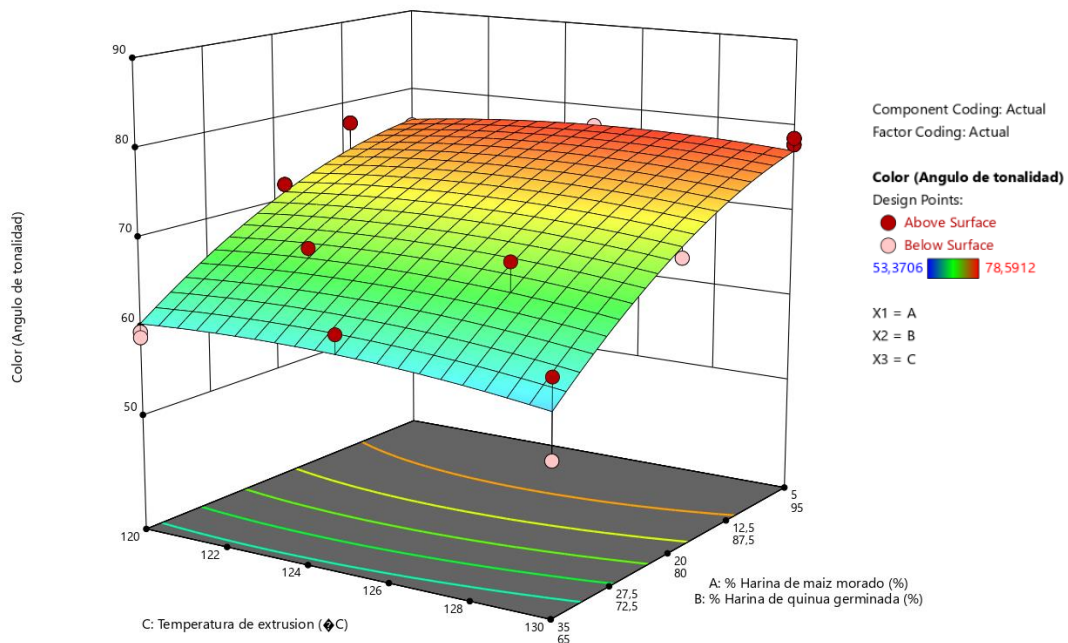


Figura 16: Representación gráfica de superficie de respuesta del Angulo de tonalidad de snacks

El análisis de las Figuras 15 y 16 resalta la influencia de las variables de formulación, como el porcentaje de harina de maíz morado y harina de quinua germinada, y las condiciones de temperatura de extrusión sobre el ángulo de tonalidad de los snacks. Es importante considerar este aspecto, ya que el color es uno de los factores

sensoriales principales que afectan la percepción de calidad y aceptación por parte de los consumidores. Las diferencias en los valores de tonalidad obtenidos reflejan interacciones complejas entre los componentes químicos de las harinas y las condiciones térmicas durante el procesamiento.

En la Figura 15, superficie de contornos permite observar de manera clara la transición en los valores de ángulo de tonalidad, desde los valores más bajos (colores más oscuros) en formulaciones con 35% de harina de maíz morado y temperaturas más altas (130 °C) hasta los valores más altos (colores más claros) en formulaciones con 5% de maíz morado y temperaturas más bajas (120 °C). Esta distribución se atribuye al contenido de antocianinas presentes en el maíz morado, como se ha documentado en estudios previos de Zhu (2017) y Robin et al. (2010), quienes destacaron que estos pigmentos naturales son responsables de la intensidad del color y que su degradación térmica a temperaturas más altas puede intensificar los colores oscuros debido al pardeamiento no enzimático.

La temperatura de extrusión también tiene un efecto significativo en la tonalidad de los snacks. Se observa que, en las formulaciones con un alto contenido de maíz morado, como aquellas con 35%, la temperatura elevada intensifica la degradación de pigmentos y fomenta reacciones de Maillard, lo que genera colores más oscuros (Galván et al., 2021). En contraste, las formulaciones con un contenido alto de quinua germinada (95%) son menos sensibles a las temperaturas altas, mostrando valores de ángulo de tonalidad más estables debido a la menor presencia de compuestos pigmentados y la resistencia relativa de sus componentes a las reacciones térmicas (Brennan et al., 2013; Graziano et al., 2022).

La Figura 16, que presenta una superficie de respuesta, refuerza estas observaciones al mostrar cómo las variables interaccionan para influir en el ángulo de tonalidad. El análisis de los valores extremos revela que el mayor ángulo de tonalidad (78.5912) ocurre en formulaciones con 35% de maíz morado y temperaturas altas (130 °C), mientras que el valor más bajo (53.3706) se encuentra en formulaciones con 5% de maíz morado y temperaturas bajas (120 °C). Esto sugiere que el efecto combinado de los pigmentos del maíz morado y las temperaturas altas no solo intensifica los colores oscuros, sino que también introduce variabilidad en la tonalidad dependiendo de la proporción de ingredientes utilizados.

Los puntos experimentales representados en la Figura 16, marcados con círculos rojos y blancos, muestran una ligera dispersión en los datos, lo que indica que el

modelo matemático ajustado capta en gran medida las tendencias generales, aunque existen ligeras desviaciones atribuibles a factores como la humedad inicial, la interacción de compuestos menores o variaciones en la distribución de calor durante la extrusión. Esto concuerda con los hallazgos de do Carmo et al., (2019), quienes señalaron que las fluctuaciones en la humedad y el calor pueden impactar en las reacciones de degradación y formación de color durante el procesamiento.

Un aspecto particularmente interesante es el comportamiento de las formulaciones intermedias con proporciones balanceadas de maíz morado y quinua germinada (12.5% de maíz morado y 87.5% de quinua germinada). En estas formulaciones, el ángulo de tonalidad tiende a ser moderado (valores entre 72 y 73), lo que indica que una combinación equilibrada de ingredientes y temperaturas moderadas de extrusión (alrededor de 125 °C) puede generar un producto con características de color más uniforme y atractivo. Esto resulta especialmente relevante para la optimización de productos dirigidos a consumidores que buscan un balance entre apariencia y propiedades nutricionales, como lo señalan Kaur et al. (2015).

En términos comparativos, los valores obtenidos en este estudio coinciden con los reportados por Zhu (2017) y Yi et al. (2022), quienes destacaron que la proporción de ingredientes ricos en compuestos bioactivos, como antocianinas y proteínas, junto con las condiciones térmicas, son determinantes clave en la apariencia visual de los alimentos extruidos. Asimismo, los resultados son consistentes con los hallazgos de Graziano et al. (2022) sobre el impacto de los pseudocereales, como la quinua, en la mejora de las características sensoriales y nutricionales de productos extruidos.

### **Densidad**

El análisis de los resultados de densidad de los snacks obtenidos por extrusión de harina de maíz morado (*Zea mays L.*) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) bajo diferentes condiciones de temperatura de extrusión muestran una variabilidad significativa en la densidad de los snacks, con valores que oscilan entre  $0.2031 \pm 0.01599 \text{ g/cm}^3$  en la formulación 7, compuesta por 20% de maíz morado, 80% de quinua germinada y extruida a 125 °C, hasta  $0.2751 \pm 0.01318 \text{ g/cm}^3$  en la formulación 17, con 5% de maíz morado, 95% de quinua germinada y una temperatura de 125 °C. Este comportamiento sugiere que un mayor contenido de quinua germinada tiende a generar productos con una mayor densidad, posiblemente debido a su menor capacidad de expansión en comparación con la harina de maíz morado. Estudios previos han indicado que harinas ricas en proteínas, como la



quinua, generan estructuras más compactas debido a la menor gelatinización de almidones y la formación de redes proteicas densas (Brennan et al., 2013; Graziano et al., 2022; Zhu, 2017). Investigaciones similares en extrusión de mezclas con alto contenido proteico han reportado que la presencia de proteínas interfiere con la expansión del producto, reduciendo el volumen específico y aumentando la densidad final (Muñoz et al., 2022; Guha et al., 2020).

En formulaciones con un alto porcentaje de harina de maíz morado, como en las muestras 9, 5, 14 y 3, con 35% de maíz morado y 65% de quinua germinada, se observan valores de densidad relativamente bajos, con registros de  $0.2531 \pm 0.01175$  g/cm<sup>3</sup> a 120 °C y  $0.2427 \pm 0.02813$  g/cm<sup>3</sup> a 125 °C. Esto sugiere que una mayor proporción de maíz morado favorece una menor densidad del snack, lo que se puede atribuir a la mayor capacidad de expansión de esta harina durante la extrusión, contribuyendo a una estructura más aireada. Investigaciones previas han demostrado que la expansión de productos extruidos depende directamente del contenido de almidones y su capacidad de gelatinización bajo condiciones de alta temperatura y cizallamiento (Yi et al., 2022; do Carmo et al., 2019). Además, se ha reportado que la presencia de antocianinas en el maíz morado puede afectar la retención de humedad y la textura del producto final, lo que también podría influir en la expansión y la densidad (Kaur et. al, 2015).

La temperatura de extrusión también influye de manera significativa en la densidad del producto. En formulaciones con 5% de maíz morado y 95% de quinua germinada, como en la formulación 4 a 120 °C, se observa una densidad de  $0.2522 \pm 0.03978$  g/cm<sup>3</sup>, mientras que, en condiciones similares, pero a 130 °C (formulación 8), la densidad disminuye ligeramente a  $0.2398 \pm 0.02162$  g/cm<sup>3</sup>. Esto indica que temperaturas más elevadas pueden favorecer una mayor expansión del producto, reduciendo su densidad. Sin embargo, este efecto no es uniforme en todas las formulaciones, ya que en la formulación 10, con 20% de maíz morado y 80% de quinua germinada, se observa un incremento en la densidad ( $0.2716 \pm 0.01974$  g/cm<sup>3</sup>) a 130 °C, estableciendo que la interacción entre la composición y la temperatura influye en la retención de estructura. Este comportamiento ha sido descrito en otros estudios sobre extrusión de pseudocereales, donde la combinación de temperatura y composición afecta la estructura celular del producto, modificando su densidad y textura final (Ding et al., 2005; Onyango et al., 2016; Yi et al., 2022).

Las formulaciones con proporciones intermedias de los ingredientes, como la formulación 6, con 27.5% de maíz morado y 72.5% de quinua germinada, extruida a 122.5 °C, presentan valores de densidad moderados ( $0.2294 \pm 0.02103 \text{ g/cm}^3$ ), lo que indica que un equilibrio en la composición de ingredientes puede proporcionar una estructura menos densa. Este hallazgo es consistente con estudios previos en los que se ha reportado que la optimización de la proporción de proteínas y almidones permite obtener productos con mejores características físicas y de aceptabilidad sensorial (Robin et al., 2010; Meng et al., 2010).

El análisis de varianza (ANOVA) para el modelo ajustado revela una relación significativa entre la composición de los ingredientes y la temperatura de extrusión en la variable de respuesta estudiada, con un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.9449 (Anexo 14C1), lo que indica que el modelo explica el 94.49% de la variabilidad en los datos.

El modelo global resulta significativo con un p-valor de 0.0172 (Anexo 14C) y un valor de F de 7.80, lo que indica que al menos uno de los factores evaluados tiene un efecto relevante sobre la variable de respuesta. Sin embargo, el término de mezcla lineal ( $p=0.1010$ ) no es significativo, lo que sugiere que la contribución individual de los ingredientes en proporciones lineales no tiene un impacto fuerte en la variable estudiada. Esto puede deberse a la compleja interacción entre los componentes estructurales de los ingredientes y los efectos térmicos inducidos por la extrusión, lo que ha sido documentado en estudios previos sobre alimentos extruidos (Moraru & Kokini, 2003; Zhu, 2017).

Entre los efectos de interacción, el término AB (interacción entre la harina de maíz morado y la harina de quinua germinada) resulta altamente significativo ( $p=0.0023$ ,  $F=32.59$ ), lo que sugiere que la combinación de estos ingredientes tiene un impacto considerable en la variable respuesta. Este resultado es consistente con investigaciones previas que han demostrado que la interacción entre almidones y proteínas en sistemas de extrusión puede influir significativamente en la textura y estructura del producto final (do Carmo et al., 2019; Guha et al., 2020).

Asimismo, la interacción AC (contenido de harina de maíz morado y temperatura de extrusión) también es significativa ( $p=0.0090$ ,  $F=17.11$ ), lo que indica que la temperatura de extrusión modifica el efecto del contenido de maíz morado en la propiedad evaluada. Estudios previos han mostrado que la temperatura de extrusión afecta la gelatinización del almidón y la desnaturalización de proteínas, lo que impacta en la textura y expansión del producto final (Bhat et al., 2019; Yi et al., 2022).

El modelo matemático cuadrático ajustado para predecir la densidad de los snacks extruidos se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad}=0.22486A+0.26054B-0.03868AB+0.00097AC+0.00649BC+0.01039C^2$$

En este modelo, la harina de quinua germinada (B) tiene el coeficiente más alto (0.2764), lo que indica que su influencia en el aumento de la densidad es más pronunciada en comparación con la harina de maíz morado (A), cuyo coeficiente es de 0.2440. La interacción negativa -0.1960AB sugiere que la combinación de estos dos ingredientes tiende a reducir la densidad, lo que refleja la capacidad del maíz morado para contrarrestar la tendencia a la compactación de la quinua germinada. Investigaciones previas (Kaur et al., 2015; Zhu, 2017) han demostrado que la estructura del producto extruido está altamente influenciada por la proporción de almidones y proteínas, lo que confirma los resultados observados en este estudio.

Las Figuras 17 y 18 muestran una representación gráfica de la densidad en snacks obtenidos por extrusión a partir de mezclas de harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) bajo diferentes condiciones de temperatura de extrusión.

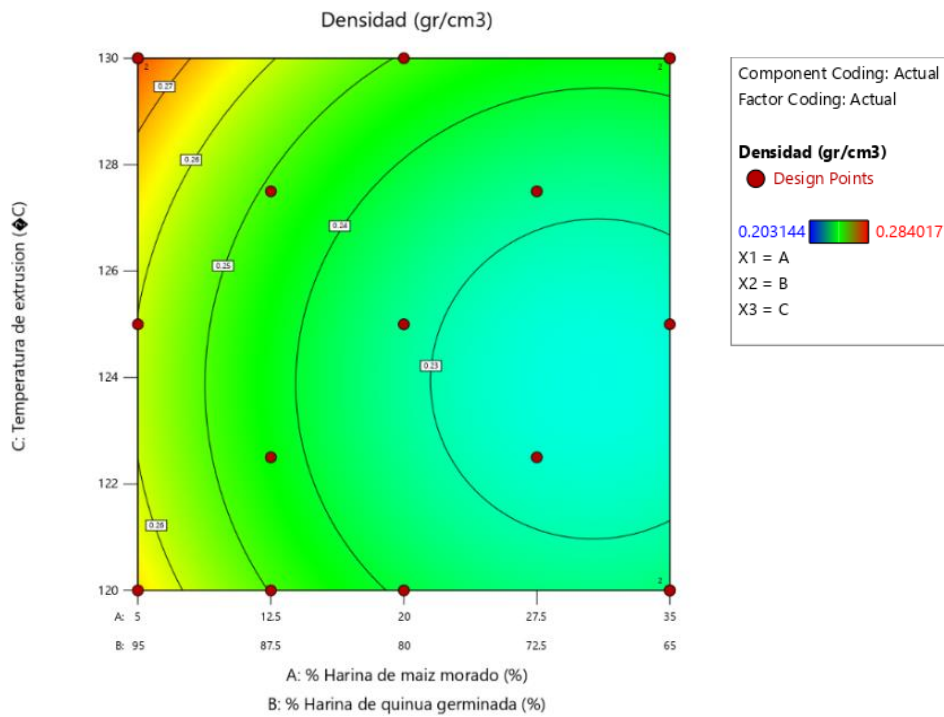


Figura 17: Representación gráfica de superficie de contornos de la densidad de snacks

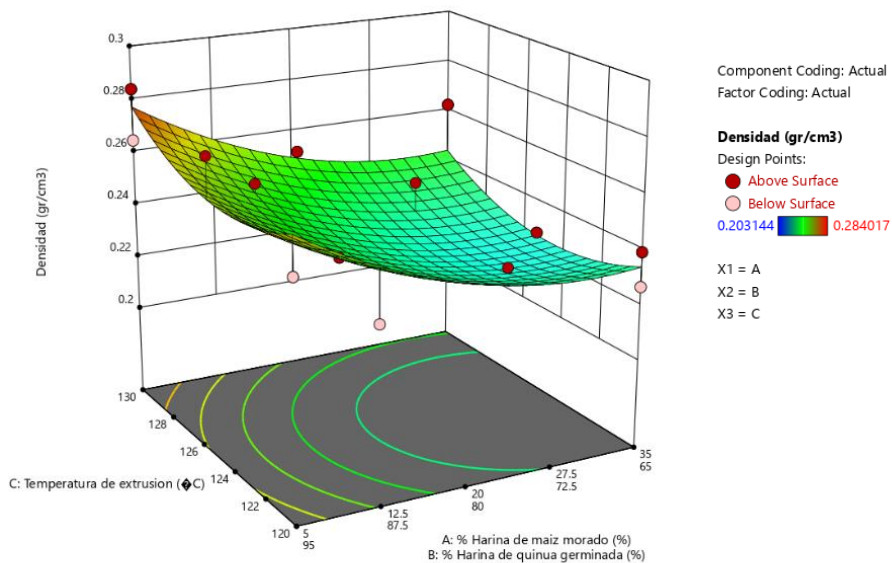


Figura 18: Representación gráfica de superficie de respuesta de densidad de snacks

El análisis de la Figura 17, que representa la superficie de contornos del comportamiento de la densidad en snacks obtenidos mediante extrusión de harina de maíz morado (*Zea mays L.*) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*), revela la influencia de la formulación y las condiciones de extrusión sobre la estructura física del producto final. La densidad es un parámetro clave en la calidad del snack extruido, ya que está relacionada con la expansión, la textura y la aceptación del consumidor (Moraru & Kokini, 2003; Ding et al., 2005).

Se observa que la menor densidad ( $0.2031 \text{ g/cm}^3$ ) se encuentra en la zona central de la figura, donde la formulación contiene aproximadamente 20% de harina de maíz morado y 80% de harina de quinua germinada, con una temperatura de extrusión de  $124^\circ\text{C}$ . Esto sugiere que una proporción equilibrada de harinas a través de su contenido de almidón y proteínas y una temperatura moderada favorecen la expansión del producto, reduciendo su densidad. Estudios previos han reportado que temperaturas de extrusión moderadas permiten una mayor gelatinización del almidón sin causar degradación excesiva de las proteínas, lo que favorece la expansión del producto y disminuye la densidad final (Brennan et al., 2013; Guha et al., 2020; Zhu, 2017).

Por otro lado, las zonas de mayor densidad ( $0.2751 \text{ g/cm}^3$ ) se encuentran en dos regiones específicas: la esquina inferior izquierda, donde el contenido de harina de maíz morado es bajo (5%) y la temperatura es baja ( $120^\circ\text{C}$ ), y la esquina superior derecha, donde la proporción de maíz morado es alta (35%) y la temperatura alcanza los  $130^\circ\text{C}$ . En el primer caso, la alta densidad puede atribuirse a la menor capacidad de expansión de la quinua germinada en condiciones de baja temperatura, lo que resulta en una estructura más compacta (Yi et al., 2022; do Carmo et al., 2019). En el segundo caso, la combinación de una mayor proporción de maíz morado con una temperatura elevada puede promover la gelatinización del almidón, reduciendo la expansión y aumentando la densidad del producto, un fenómeno que también ha sido reportado en estudios con extrusión de cereales (Robin et al., 2010).

Se pueden identificar puntos específicos en la superficie de contornos que proporcionan información clave sobre la relación entre formulación y temperatura. A  $126^\circ\text{C}$  y con 20% de harina de maíz morado y 80% de harina de quinua germinada, la densidad se encuentra en  $0.23 \text{ g/cm}^3$ , mientras que a  $124^\circ\text{C}$ , con 12.5% de maíz morado y 87.5% de quinua germinada, se obtiene una densidad cercana a  $0.24 \text{ g/cm}^3$ . Estos valores indican que combinaciones específicas de ingredientes y temperaturas pueden optimizar la expansión y la estructura del snack, reduciendo la densidad sin comprometer su estabilidad mecánica.

El análisis de la superficie de respuesta en la Figura 18 confirma que la densidad del snack extruido está influenciada tanto por la temperatura de extrusión como por la formulación de ingredientes. Un mayor contenido de quinua germinada combinado con temperaturas intermedias tiende a reducir la densidad del producto, mientras que temperaturas más altas y bajos niveles de maíz morado conducen a estructuras más

compactas. Se observa que a 126°C, con 20% de harina de maíz morado y 80% de harina de quinua germinada, la densidad es de 0.22 g/cm<sup>3</sup>, mientras que a 124°C, con 12.5% de maíz morado y 87.5% de harina de quinua germinada, se obtiene una densidad de 0.23 g/cm<sup>3</sup>, lo que confirma la influencia de las variables de estudio en la densidad del producto final.

La Figura 18 muestra que el comportamiento de la densidad presenta interacciones complejas entre la composición de ingredientes y la temperatura. En la región donde predominan temperaturas de 130°C y un alto contenido de quinua germinada (95%), los valores de densidad son notablemente elevados (0.2751 g/cm<sup>3</sup>), lo que indica que la quinua germinada, al tener menor capacidad de expansión debido a su composición proteica y bajo contenido de almidón, genera productos más densos. Este hallazgo concuerda con estudios previos que destacan que harinas con alto contenido de proteínas y fibras tienden a limitar la expansión durante la extrusión (Pathania et al., 2013; Onyango et al., 2016).

Por otro lado en la región donde predominan temperaturas intermedias (124°C-126°C) y una mayor proporción de maíz morado (20%-35%), se observa una disminución en la densidad, alcanzando valores cercanos a 0.2031 g/cm<sup>3</sup>. Esto se debe a que el maíz morado, rico en almidón y con características de gelatinización específicas, favorece una mayor expansión del producto, generando una estructura aireada y ligera (Zhu, 2017; Guha et al., 2020).

### **Índice de Absorción de Agua (IAA)**

El análisis de los resultados del Índice de Absorción de Agua (IAA) de los snacks extruidos a partir de mezclas de harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) bajo diferentes condiciones de temperatura de extrusión proporciona una perspectiva clara sobre cómo las variables de formulación y procesamiento afectan las propiedades tecnológicas del producto. El IAA es un parámetro crucial para evaluar la capacidad de retención de agua en los snacks, un atributo directamente relacionado con la textura, rehidratación y percepción sensorial del consumidor (Moraru & Kokini, 2003; Ding et al., 2005).

Las formulaciones con un mayor contenido de harina de quinua germinada, como la muestra 15 (5% de maíz morado y 95% de quinua germinada, extruida a 130 °C), mostraron los valores más altos de IAA, alcanzando 7.532. Este resultado se atribuye

al elevado contenido de proteínas y fibra soluble en la quinua germinada, que son componentes conocidos por su afinidad por el agua y su capacidad para formar una matriz porosa y altamente retentiva (Zhu, 2017; Brennan et al., 2013). Además, estudios previos han demostrado que la quinua germinada mejora la capacidad de absorción de agua debido a la desnaturalización de proteínas y la hidrólisis de fibra soluble durante el proceso de extrusión (Yi et al., 2022; Guha et al., 2020).

Por otro lado, las formulaciones con mayor proporción de maíz morado, como las muestras 3 y 16 (35% de maíz morado, 65% de quinua germinada, extruidas a 130 °C), presentaron valores significativamente más bajos de IAA, registrando 6.408 y 6.389, respectivamente. Esto se explica por la estructura del almidón de maíz morado, que tiene una menor capacidad de absorción de agua debido a su compactación durante la extrusión y a la reducción en la formación de poros en la matriz del snack (Pathania et al., 2013; do Carmo et al., 2019). Adicionalmente, la presencia de antocianinas y otros compuestos fenólicos en el maíz morado puede interferir con la hidratación al limitar la formación de una red estructural compatible con la retención de agua (Tomar et al., 2022).

A temperaturas más altas, como 130 °C, se registraron valores de IAA más elevados en formulaciones ricas en quinua germinada, como la muestra 10 (7.150). Este comportamiento puede estar relacionado con una mayor expansión y desarrollo de una estructura más porosa a altas temperaturas, lo que facilita la retención de agua (Moraru & Kokini, 2003; Robin et al., 2010). Sin embargo, en formulaciones con combinaciones intermedias, como la muestra 13 (12.5% de maíz morado y 87.5% de quinua germinada, extruida a 122.5 °C), el IAA fue de 6.784, mostrando que la interacción entre la formulación y la temperatura puede generar una menor capacidad de retención de agua, probablemente debido a una compactación parcial de la matriz del snack (Yi et al., 2022; Onyango et al., 2016).

El análisis de la varianza (ANOVA) refuerza estos hallazgos, con un modelo general altamente significativo ( $p = 0.0011$ ), con un  $R^2$  de 0.6973 (Anexo 14D, 14D1). Tanto la interacción entre la harina de quinua germinada y la temperatura (BC;  $p = 0.0085$ ) como entre el maíz morado y la temperatura (AC;  $p = 0.0110$ ) fueron estadísticamente significativas, confirmando que las propiedades del snack dependen

de la combinación de los ingredientes y las condiciones térmicas (do Carmo et al., 2019; Zhu, 2017).

El modelo matemático ajustado, expresado como:

$$IAA = 6.66A + 7.21B - 0.3459AC + 0.3839BC,$$

Muestra que la harina de quinua germinada (B) tiene el coeficiente más alto (7.21), lo que confirma su influencia predominante en la absorción de agua. Por otro lado, la interacción negativa  $-0.3459AC$  destaca que en formulaciones con alto contenido de maíz morado y temperaturas más altas, la capacidad de absorción de agua se reduce debido a una mayor compactación y menor expansión del producto. La interacción positiva  $0.3839BC$ , en cambio, sugiere que la combinación de altas proporciones de quinua germinada con temperaturas elevadas mejora significativamente la capacidad de retención de agua (Guha et al., 2020; Muñoz et al., 2022).

Figuras 19 y 20 muestran una representación gráfica del Índice de Absorción de Agua (IAA), en snacks obtenidos por extrusión a partir de mezclas de harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) bajo diferentes condiciones de temperatura de extrusión.

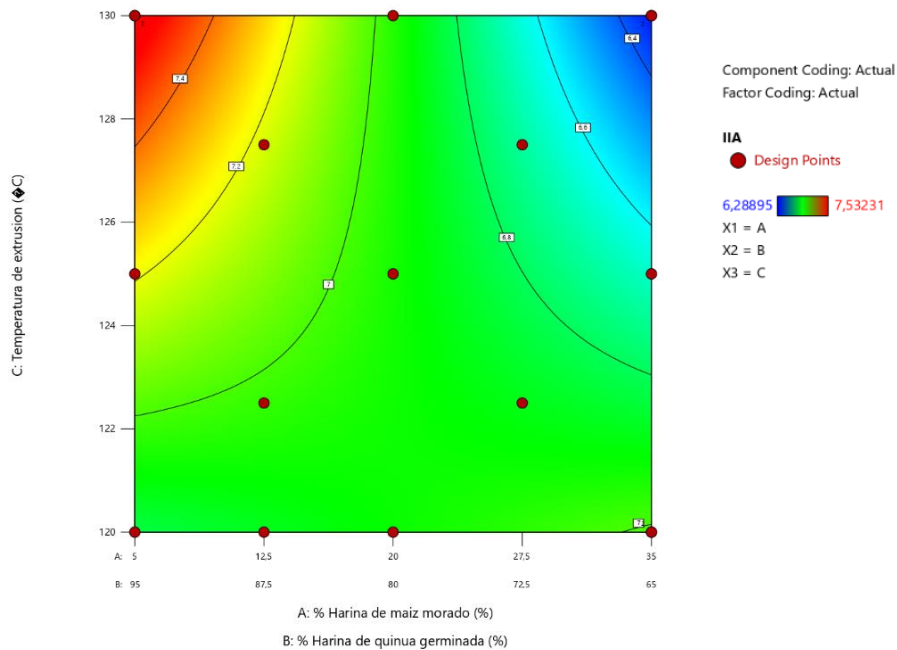


Figura 19: Representación gráfica de superficie de contornos del Índice de Absorción de Agua (IAA) de snacks



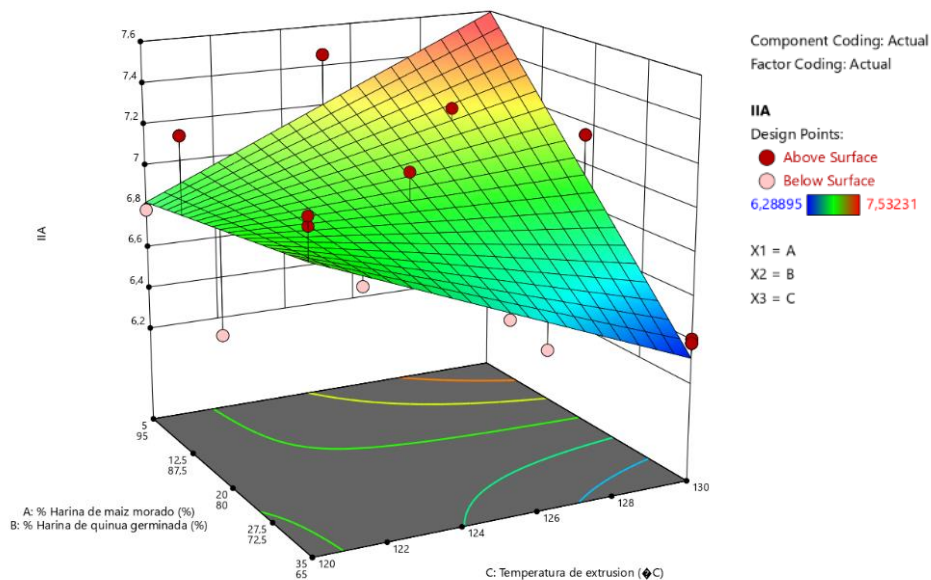


Figura 20: Representación gráfica de superficie de respuesta del Índice de Absorción de Agua (IAA) de snacks

El análisis de las Figuras 19 y 20 proporciona un análisis sobre la influencia de las variables de formulación y las condiciones de extrusión en el Índice de Absorción de Agua (IAA) de los snacks obtenidos a partir de harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*). Este índice es crítico para determinar la textura, funcionalidad y aceptación sensorial del producto final, ya que afecta la capacidad de los snacks para retener agua durante su rehidratación o consumo (Moraru & Kokini, 2003; Ding et al., 2005).

La Figura 19, que presenta una superficie de contornos del IAA, revela que los valores más altos de absorción de agua (7.53231) se alcanzan en formulaciones con bajo contenido de maíz morado (5%) y alta proporción de quinua germinada (95%), extruidas a 130°C. Esta tendencia se atribuye a las propiedades funcionales de la quinua germinada, que contiene proteínas y fibras solubles que aumentan la capacidad de retención de agua (Guha et al., 2020; Zhu, 2017). A temperaturas elevadas, se intensifican la gelatinización del almidón y la desnaturalización de proteínas, lo que incrementa la capacidad de interacción con el agua y facilita la formación de una estructura porosa. Estudios previos han demostrado que las harinas ricas en proteínas, como la quinua, tienden a formar matrices más abiertas bajo condiciones térmicas, promoviendo una mayor absorción de agua (Brennan et al., 2013; Yi et al., 2022).

Por otro lado, los valores más bajos de IAA (6.28895) se encuentran en la región donde el contenido de harina de maíz morado es alto (35%) y la temperatura de extrusión es baja

(120°C). Este comportamiento puede explicarse por la menor capacidad de gelatinización del almidón a bajas temperaturas y por la mayor compactación estructural que se genera con una alta proporción de maíz morado, lo que reduce los espacios porosos disponibles para la retención de agua (Robin et al., 2010; Pathania et al., 2013). Además, el maíz morado contiene antocianinas que interactúan con las proteínas, limitando la formación de redes porosas y afectando negativamente la absorción de agua (Yi et al., 2022).

La Figura 20, que presenta una superficie de respuesta para el IAA, complementa los hallazgos de la Figura 17 al proporcionar una representación más detallada de las interacciones entre las variables. Los valores más altos de IAA se observan nuevamente en condiciones de baja proporción de maíz morado (5%) y alta temperatura (130°C). Este resultado refuerza la idea de que las condiciones térmicas intensas, combinadas con una mayor proporción de quinua germinada, favorecen la expansión de la matriz y la capacidad de retención de agua. Estos hallazgos son consistentes con estudios que destacan la importancia de la gelatinización del almidón y la desnaturalización de proteínas en productos extruidos para mejorar su funcionalidad (Moraru & Kokini, 2003; Brennan et al., 2013).

Un aspecto interesante de la Figura 20 es la región intermedia en la superficie de respuesta, donde el contenido de maíz morado varía entre 20% y 25% y la temperatura de extrusión se encuentra en un rango moderado de 124°C a 126°C. En esta región, los valores de IAA rondan los 7.1. Este comportamiento sugiere que un equilibrio adecuado entre los ingredientes y una temperatura intermedia pueden optimizar la capacidad de retención de agua del snack, manteniendo al mismo tiempo una textura deseable. Esta observación concuerda con investigaciones que reportan que temperaturas moderadas favorecen la formación de estructuras equilibradas en productos extruidos (Zhu, 2017; do Carmo et al., 2019).

En la región de menor absorción de agua (6.28895), representada por tonos azulados y verdes en la Figura 20, se observa una correlación clara entre un alto contenido de maíz morado (35%) y bajas temperaturas de extrusión (120°C). Esta combinación limita la expansión del producto y reduce la porosidad, lo que afecta directamente el IAA. Además, la estructura más compacta y menos porosa de estas formulaciones puede explicarse por la menor interacción entre las proteínas y los almidones, lo que ha sido reportado en otros

estudios sobre productos extruidos de cereales y legumbres (Yi et al., 2022; Robin et al., 2010).

### **Índice de Solubilidad de Agua (ISA)**

El análisis del Índice de Solubilidad de Agua (ISA) en snacks obtenidos por extrusión de harina de maíz morado (*Zea mays L.*) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) proporciona una comprensión detallada de la influencia de la formulación y las condiciones de procesamiento en la capacidad de disolución del producto. El ISA es un parámetro crítico que afecta la percepción sensorial del snack, ya que determina la rapidez con la que se disuelve en la boca o en contacto con líquidos (Moraru & Kokini, 2003; Brennan et al., 2013).

Los resultados muestran que las formulaciones con un mayor contenido de harina de quinua germinada tienden a presentar valores más altos de ISA. En particular, la formulación 13 (12.5% de maíz morado y 87.5% de quinua germinada, extruida a 122.5 °C) registra el valor más alto con 3.379%, lo que indica que la quinua germinada, rica en proteínas solubles y fibra dietética, contribuye significativamente a una mayor solubilidad en agua. Estos hallazgos concuerdan con estudios previos que han demostrado que los ingredientes ricos en proteínas y fibras solubles tienden a mejorar la capacidad de absorción de agua y solubilidad en productos extruidos (Zhu, 2017; Yi et al., 2022).

Por otro lado, formulaciones con un mayor contenido de harina de maíz morado presentan menores valores de solubilidad. Es así que la formulación 1 (27.5% de maíz morado y 72.5% de quinua germinada, extruida a 127.5 °C) muestra un ISA de 1.688%, lo que sugiere que el almidón de maíz morado tiene una menor capacidad de formar compuestos solubles tras la extrusión. Esto puede deberse a la menor fragmentación de las cadenas de almidón y a la menor proporción de proteínas solubles en el maíz morado en comparación con la quinua germinada (Robin et al., 2010; do Carmo et al., 2019).

En cuanto a la influencia de la temperatura de extrusión, se observa un efecto variable según la formulación. La formulación 10 (20% de maíz morado y 80% de quinua germinada, extruida a 130 °C) presenta un ISA de 2.240%, mientras que la formulación 2, con la misma proporción de ingredientes, pero extruida a 120 °C, muestra un ISA de 1.694%. Este comportamiento sugiere que temperaturas más altas pueden favorecer la fragmentación de estructuras complejas, facilitando la liberación de componentes solubles. Sin embargo, un exceso de temperatura también puede inducir la

desnaturalización de proteínas y la gelatinización excesiva de almidones, reduciendo la solubilidad del producto (Guha et al., 2020; Pathania et al., 2013).

El análisis de la varianza (ANOVA) aplicado al ISA indica que el modelo general no es significativo, aunque presenta una tendencia hacia la significancia con un valor de  $p=0.0856$  con un  $R^2$  de 0.3877 (Anexo 14E; 14E1). Esto sugiere que las variables de formulación explican una parte importante de la variabilidad en el ISA, pero no de manera concluyente. El efecto de la mezcla lineal de harinas de maíz morado y quinua germinada no es significativo ( $p=0.3025$ ), lo que implica que la combinación de estos ingredientes en proporciones lineales no tiene un impacto sustancial en la solubilidad del producto.

Sin embargo, el término cúbico de la interacción entre la harina de maíz morado y la harina de quinua germinada ( $AB(A-B)$ ) es altamente significativo ( $p=0.0219$ ), indicando que la relación entre estos ingredientes y la solubilidad sigue un comportamiento no lineal. Este efecto sugiere que la combinación de harinas en proporciones específicas genera estructuras moleculares más complejas durante la extrusión, afectando la solubilidad del producto final. Estudios previos han reportado que la estructura del almidón y la proteína en formulaciones extruidas puede sufrir modificaciones no lineales en respuesta a la temperatura y composición (Moraru & Kokini, 2003; Zhu, 2017).

El modelo matemático cúbico ajustado para predecir el Índice de Solubilidad de Agua de los snacks extruidos se expresa de la siguiente manera:

$$ISA=2.05A+2.06B+0.2991AB-4.39AB(A-B)$$

En este modelo, se observa que la contribución individual de la harina de maíz morado (A) y la harina de quinua germinada (B) es similar, con coeficientes de 2.05 y 2.06 respectivamente. Sin embargo, el término cúbico  $-4.39AB(A-B)$  indica que combinaciones no balanceadas de los ingredientes pueden reducir drásticamente la solubilidad del snack. Esto se da por la formación de estructuras más densas o la desnaturalización de proteínas y almidones durante la extrusión (Brennan et al., 2013; Yi et al., 2022).

Figuras 21 y 22 muestran una representación gráfica del Índice de Solubilidad de Agua (ISA), en snacks obtenidos por extrusión a partir de mezclas de harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) bajo diferentes condiciones de temperatura de extrusión.

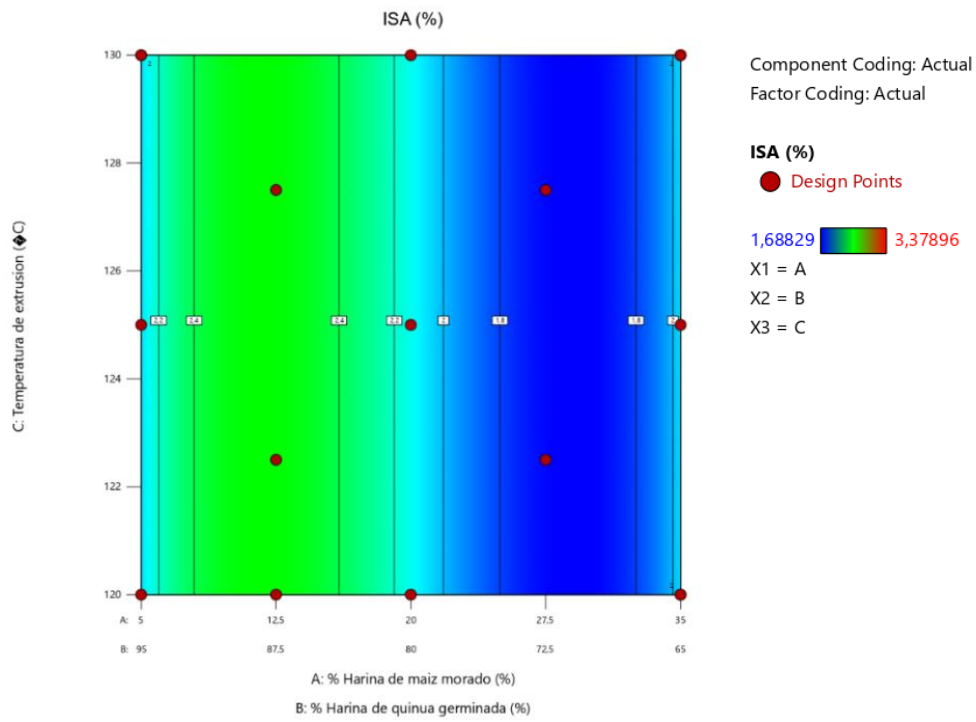


Figura 21: Representación gráfica de superficie de contornos del Índice de Solubilidad de Agua (ISA) de snacks

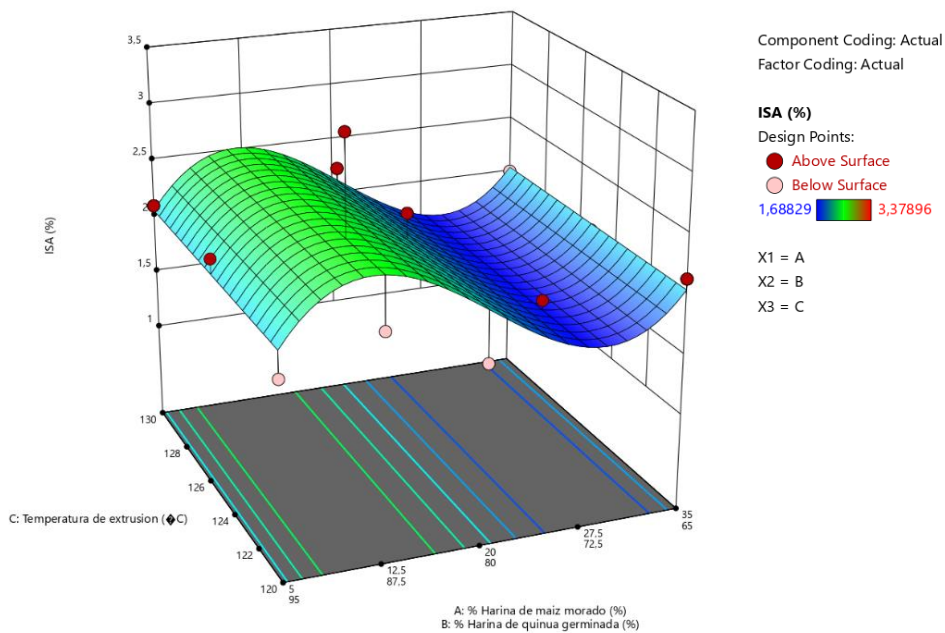


Figura 22: Representación gráfica de superficie de respuesta del Índice de Solubilidad de Agua (ISA) de snacks

El análisis de la Figura 21 presenta una representación gráfica de superficie de contornos que describe la variación del Índice de Solubilidad de Agua (ISA), expresado en porcentaje (%), de snacks obtenidos mediante la extrusión de mezclas de harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) bajo

diferentes condiciones de temperatura de extrusión. En la gráfica, el eje horizontal representa la variable A, correspondiente al porcentaje de harina de maíz morado, variando entre 5% y 35%, mientras que la variable B, que representa el porcentaje de harina de quinua germinada, varía inversamente de 95% a 65%. Por su parte, el eje vertical muestra la temperatura de extrusión en grados Celsius (°C), con un rango de 120°C a 130°C.

La distribución del ISA en la superficie de contornos se representa mediante una escala de colores, donde los valores más bajos, en tonos azulados, corresponden a aproximadamente 1.68829%, mientras que los valores más altos, en tonos rojos, alcanzan hasta 3.37896%. La figura indica que el ISA es más alto cuando el porcentaje de harina de maíz morado es bajo (5%) y la proporción de harina de quinua germinada es alta (95%). Esto sugiere que la quinua germinada contribuye a una mayor solubilidad de los componentes en agua, debido a su contenido proteico y a la presencia de almidones más susceptibles a la disolución bajo condiciones de extrusión (Moraru & Kokini, 2003; Ding et al., 2005; Guha et al., 2020; Azzollini et al., 2018; Song, & Tang, 2023).

En contraste, los valores más bajos de ISA se observan en la zona derecha de la figura, donde la harina de maíz morado es predominante (35%) y la proporción de quinua germinada es menor (65%). Este resultado sugiere que una mayor cantidad de harina de maíz morado reduce la solubilidad de los componentes en agua, debido a la naturaleza del almidón presente en el maíz, que forma estructuras más estables y menos solubles en agua después de la extrusión (Brennan et al., 2013; Zhu, 2017; do Carmo et al., 2019; Ragaee et al., 2014; Pismag et al., 2024).

La figura revela información específica sobre el comportamiento del ISA bajo diferentes condiciones. Es así que a una temperatura de 124°C y una composición de 12.5% de harina de maíz morado y 87.5% de harina de quinua germinada, el ISA se encuentra en torno a 2.4%. De manera similar, a 126°C con 20% de maíz morado y 80% de quinua germinada, el valor del ISA es aproximadamente 2.1%. Estos valores reflejan la relación entre la proporción de harinas y la temperatura de extrusión en la solubilidad final del producto.

La representación gráfica de la superficie de contornos sugiere que el Índice de Solubilidad de Agua de los snacks extruidos está influenciado tanto por la proporción de las harinas como por la temperatura de extrusión. Un mayor contenido de harina de quinua

germinada y temperaturas moderadas favorecen una mayor solubilidad, mientras que un mayor contenido de harina de maíz morado tiende a reducir la solubilidad en agua del producto. Estos resultados son valiosos para optimizar el proceso de extrusión y obtener productos con características de solubilidad adecuadas a las expectativas del consumidor y a los requisitos de formulación de productos alimenticios extruidos (Robin et al., 2010; Pathania et al., 2013; Yi et al., 2022; Muñoz, et al., 2022; Hegazy et al., 2017).

La Figura 22 presenta una representación gráfica de superficie de respuesta tridimensional que muestra la variación del Índice de Solubilidad de Agua (ISA), expresado en porcentaje (%), de snacks obtenidos mediante la extrusión de mezclas de harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) bajo diferentes condiciones de temperatura de extrusión. En la gráfica, el eje X representa el porcentaje de harina de maíz morado, variando entre 5% y 35%, mientras que el eje Y muestra la temperatura de extrusión en grados Celsius (°C), con un rango de 120°C a 130°C. El eje Z refleja el valor del ISA, que fluctúa entre aproximadamente 1.68829% y 3.37896%.

La superficie de respuesta revela una disminución en el ISA a medida que aumenta la proporción de harina de maíz morado en la formulación, alcanzando los valores más bajos en la zona donde el porcentaje de maíz morado es mayor (35%) y la temperatura de extrusión es más baja (120°C). Esto sugiere que una mayor proporción de maíz morado reduce la solubilidad de los componentes en agua, debido a su alto contenido de almidón, el cual tiende a formar estructuras menos solubles y más compactas tras la extrusión (Yi et al., 2022; Muñoz et al., 2022; Onyango et al., 2016; Mohamed, 2023; Shahidi et al., 2021).

Por otro lado, los valores más altos de ISA, representados en tonos más cálidos (cerca de 3.37896%), se encuentran cuando la proporción de harina de maíz morado es baja (5%) y la temperatura de extrusión es alta (130°C). Esto indica que una mayor proporción de harina de quinua germinada y temperaturas elevadas favorecen la solubilidad de los componentes en agua, lo que atribuyéndose a la mayor presencia de proteínas y almidones de quinua, que pueden desnaturalizarse y gelatinizarse con mayor facilidad, incrementando su solubilidad (Zhu, 2017; Guha et al., 2020; Kebede et al., 2023; Mohamed, 2023).

En términos cuantitativos, se observa que a una temperatura de extrusión de 124°C y una composición de 20% de harina de maíz morado con 80% de harina de quinua germinada, el ISA se encuentra alrededor de 2.5%. De manera similar, a 126°C con 12.5% de maíz morado y 87.5% de quinua germinada, el valor de ISA es aproximadamente 2.7%. Estos puntos reflejan la influencia combinada de la formulación y la temperatura sobre la solubilidad en agua del producto extruido.

### **Índice de Expansión (IE)**

El análisis del Índice de Expansión (IE) en los snacks extruidos formulados con harina de maíz morado (*Zea mays L.*) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*), bajo diferentes condiciones de temperatura de extrusión, revela una fuerte interacción entre la composición de la mezcla y la temperatura de procesamiento. El índice de expansión es un parámetro fundamental en la calidad del producto final, ya que influye en la textura, porosidad, densidad y aceptación sensorial del snack. Se ha reportado que el grado de expansión depende de múltiples factores, incluyendo la proporción de almidón y proteínas en la formulación, la gelatinización del almidón, la interacción con la fibra dietética y el contenido de humedad de la mezcla previa a la extrusión (Brennan et al., 2013; Robin et al., 2010; Ragaee et al., 2014).

Los valores obtenidos para el IE en las diferentes formulaciones oscilan entre  $2.16689 \pm 0.2202$  y  $2.52311 \pm 0.2901$ , lo que indica que existen diferencias notables en la capacidad de expansión del producto en función de la formulación y la temperatura de extrusión. Se observa que las formulaciones con un mayor contenido de quinua germinada, como la formulación 7 (20% maíz morado, 80% quinua germinada, 125 °C), alcanzan el mayor índice de expansión ( $2.52311 \pm 0.2901$ ). Estudios previos han reportado que temperaturas de extrusión moderadas permiten una mayor gelatinización del almidón sin causar degradación excesiva de las proteínas, lo que favorece la expansión del producto (Brennan et al., 2013; Guha et al., 2020; Zhu, 2017). (Cambiar)

En contraste, las formulaciones con un mayor contenido de maíz morado tienden a presentar valores de IE ligeramente menores. Por ejemplo, la formulación 16 (35% maíz morado, 65% quinua germinada, 130 °C) muestra un índice de expansión de  $2.20156 \pm 0.1608$ , lo que indica que la alta proporción de maíz morado podría estar afectando



negativamente la expansión del producto. Esto es consistente con estudios previos que han señalado que la presencia de polifenoles y antocianinas en el maíz morado puede influir en la interacción del almidón con otros componentes, limitando la expansión (Guha et al., 2020; Tomar et al., 2022). Asimismo, el mayor contenido de fibra insoluble en el maíz morado puede generar una mayor resistencia estructural, impidiendo la formación de burbujas de aire estables durante la extrusión y reduciendo la expansión final (Menchaca et al., 2020).

Otro factor relevante es la temperatura de extrusión, que impacta en la gelatinización del almidón y la formación de la matriz expandida del snack. Se observa que temperaturas moderadas de extrusión favorecen una mayor expansión. Como ocurre con la formulación 14 (35% maíz morado, 65% quinua germinada, 120 °C) muestra un IE de  $2.50667 \pm 0.2665$ , lo que indica que una temperatura más baja puede ayudar a preservar la funcionalidad del almidón y mejorar la expansión. En cambio, formulaciones extruidas a temperaturas más altas, como la formulación 10 (20% maíz morado, 80% quinua germinada, 130 °C), presentan una reducción en el IE ( $2.16689 \pm 0.2202$ ). Este comportamiento podría atribuirse a la desnaturalización de proteínas y la degradación del almidón a temperaturas elevadas, lo que disminuye la capacidad de retención de gas y, por ende, la expansión del producto (Shahidi et al., 2021; Yi et al., 2022).

Es interesante notar que las formulaciones con proporciones intermedias de maíz morado y quinua germinada, como la formulación 6 (27.5% maíz morado, 72.5% quinua germinada, 122.5 °C), presentan un buen balance en términos de expansión, con un IE de  $2.37933 \pm 0.1425$ . Esto sugiere que la combinación de ambos ingredientes en proporciones adecuadas puede contribuir a una estructura optimizada del snack, combinando las propiedades de gelatinización del almidón con la estabilidad de la matriz proteica proporcionada por la quinua germinada (Zhu, 2017; Ragaee et al., 2014).

Las formulaciones con un contenido más bajo de maíz morado también presentan un buen índice de expansión. La formulación 15 (5% maíz morado, 95% quinua germinada, 130 °C) tiene un IE de  $2.356 \pm 0.1749$ , lo que confirma que la quinua germinada contribuye positivamente a la expansión del snack. Esto podría estar relacionado con la menor interferencia de los compuestos fenólicos del maíz morado en la formación de la

estructura expandida, lo que facilita la retención de gas en la matriz extruida (Moraru & Kokini, 2003; Robin et al., 2010).

En general, los resultados sugieren que el índice de expansión del snack extruido está influenciado significativamente por la proporción de harina de maíz morado y harina de quinua germinada, así como por la temperatura de extrusión. Un mayor contenido de quinua germinada y temperaturas intermedias favorecen una mayor expansión, mientras que un mayor contenido de maíz morado y temperaturas elevadas tienden a reducir el IE. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que han analizado el impacto de la composición de ingredientes y las condiciones de extrusión en la estructura del producto final (Brennan et al., 2013; Song, & Tang, 2023; Ragaee et al., 2014).

El análisis de varianza (ANOVA) aplicado al modelo lineal cuadrático para el IE mostró que el modelo general no es significativo, con un p-valor de 0.8382 con un R<sup>2</sup> de 0.1542 (Anexo 14F; 14F1), lo que indica que las variables estudiadas no explican de manera significativa la variabilidad en la expansión del extruido.

Al analizar los efectos individuales, se observó que la mezcla lineal de ingredientes (A: maíz morado y B: quinua germinada) tiene un p-valor de 0.5553, lo que confirma que la variación en la proporción de harinas no impacta significativamente en el índice de expansión. Esto coincide con los estudios de Ainsworth et al. (2007), quienes indicaron que la expansión de extruidos no depende únicamente de la proporción de ingredientes, sino de la interacción entre estos y las condiciones del proceso, como la humedad inicial y la velocidad del tornillo del extrusor.

El modelo matemático cuadrático obtenido para describir la relación entre el índice de expansión y las variables evaluadas se expresa como:

$$\text{Índice de Expansión (IE)} = 2.3932A + 2.3448B - 0.05506AC - 0.0083 BC - 0.03237AC^2 - 0.02272BC^2$$

Los coeficientes indican que los términos de interacción AC (-0.05506) y BC (-0.0083) tienen valores negativos, lo que sugiere que en ciertas combinaciones de ingredientes y temperatura la expansión puede reducirse. Asimismo, los términos cuadráticos AC<sup>2</sup> (-0.03237) y BC<sup>2</sup> (-0.02272) muestran que los efectos no lineales de temperatura e interacción de harinas pueden influir levemente en la expansión, aunque no de manera significativa.

Los resultados indican que la expansión del snack extruido está influenciada por la proporción de harinas y la temperatura de extrusión, aunque sin una relación estadísticamente significativa dentro del rango evaluado. Se observa que formulaciones con más maíz morado ( $\geq 27.5\%$ ) y temperaturas de 120-125°C presentan mayor expansión ( $IE \geq 2.50$ ), mientras que formulaciones con más quinua germinada ( $\geq 80\%$ ) y temperaturas superiores a 127°C generan extruidos más compactos ( $IE \leq 2.16$ ).

Para optimizar la expansión del snack, se recomienda utilizar una proporción equilibrada de maíz morado (20-35%) y quinua germinada, mantener la temperatura de extrusión en un rango de 120-125°C para maximizar la expansión sin comprometer la estructura del producto, y evitar temperaturas superiores a 127°C, ya que pueden generar una menor porosidad y una textura más densa.

Figuras 23 y 24 muestran una representación gráfica del Índice de Expansión (IE), en snacks obtenidos por extrusión a partir de mezclas de harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) bajo diferentes condiciones de temperatura de extrusión.

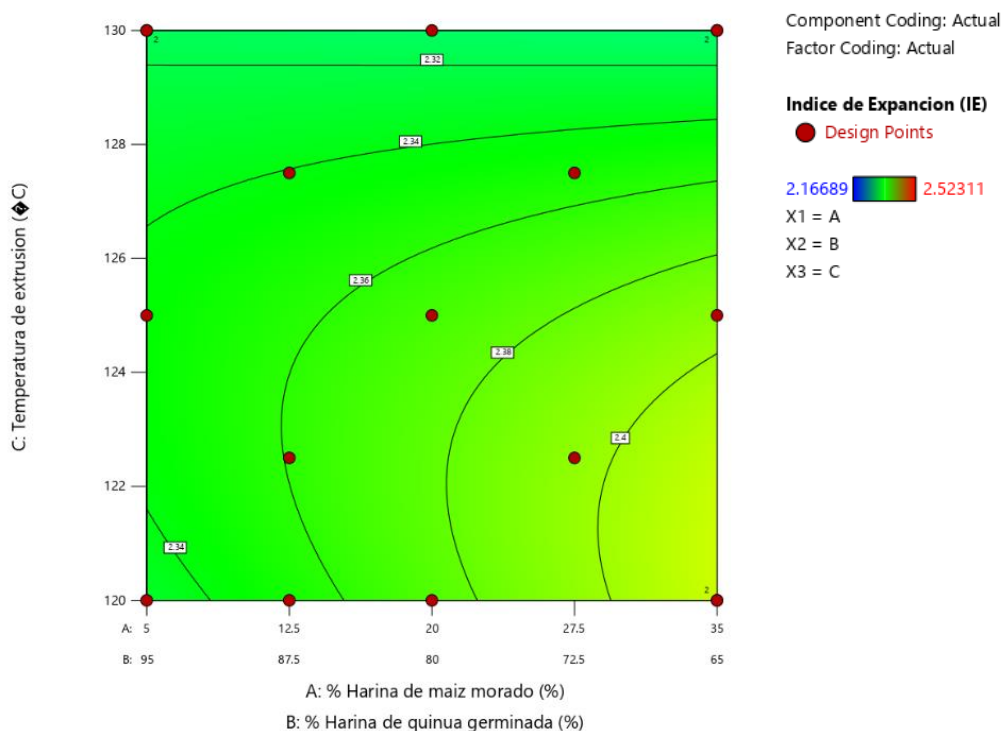


Figura 23: Representación gráfica de superficie de contorno del Índice de Expansión (IE) de snacks

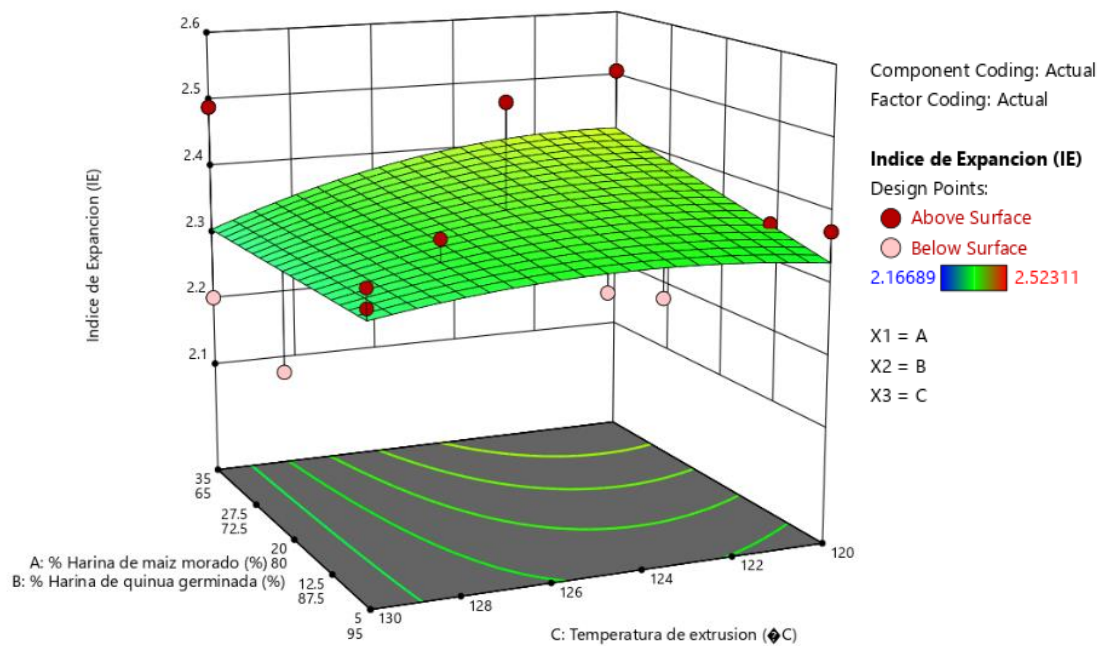


Figura 24: Representación gráfica de superficie de respuesta del Índice de Expansión (IE) de snacks

Las figuras 23 y 24 muestran la representación gráfica de la variación del Índice de Expansión (IE) en función del porcentaje de harina de maíz morado, harina de quinua germinada y temperatura de extrusión. Estas visualizaciones permiten identificar cómo los factores evaluados afectan la expansión del snack extruido, un parámetro clave en la calidad del producto, ya que influye directamente en su textura, densidad y aceptabilidad sensorial (Brennan et al., 2013).

En la Figura 23, la superficie de contorno evidencia un gradiente de colores en el rango de 2.16689 a 2.52311, lo que indica que el IE varía dentro de un margen moderado. Se observa que las formulaciones con mayor contenido de harina de maíz morado ( $\geq 27.5\%$ ) y temperaturas de extrusión en el rango de 120-125°C presentan los valores más altos de expansión. Esto concuerda con estudios previos que han señalado que el almidón contenido en el maíz morado gelatiniza durante la extrusión, favoreciendo una estructura aireada y porosa (Gumul et al., 2023). Por otro lado, los valores más bajos de IE se concentran en formulaciones con altos niveles de harina de quinua germinada ( $\geq 80\%$ ) y temperaturas superiores a 127°C, lo que indica una reducción en la expansión debido a una mayor compactación del extruido (Altan, McCarthy & Maskan, 2008).

La Figura 24, que representa la superficie de respuesta del IE, confirma las tendencias observadas en la Figura 23. Se aprecia que el índice de expansión alcanza su valor máximo en formulaciones con un equilibrio entre maíz morado y quinua germinada, junto con una temperatura de extrusión moderada. Se observa una ligera curvatura en la superficie, lo que indica una relación no completamente lineal entre los factores evaluados y la expansión del snack.

El efecto de la temperatura en la expansión del extruido ha sido ampliamente estudiado en la literatura. Se ha reportado que temperaturas en el rango de 120-125°C favorecen una mayor expansión del producto debido a una gelatinización óptima del almidón, mientras que temperaturas más altas pueden generar una excesiva desnaturalización de proteínas y pérdida de humedad, lo que afecta la capacidad de retención de aire en la matriz y reduce la expansión (Dar et al., 2014). Esto explica por qué en ambas figuras se observa una disminución del IE cuando la temperatura de extrusión supera los 127°C, especialmente en formulaciones con alta proporción de harina de quinua germinada.

La relación entre la expansión y la composición de harinas también ha sido reportada en estudios previos. Ainsworth et al. (2007) encontraron que la presencia de fibras y proteínas en harinas alternativas puede reducir la expansión de los extruidos debido a su interferencia con la gelatinización del almidón.

En términos de optimización del proceso, los resultados de las figuras 23 y 24 sugieren que, para obtener un snack con una textura ligera y crujiente, es recomendable utilizar una formulación que contenga entre 20-35% de harina de maíz morado y temperaturas de extrusión de 120-125°C. Este rango de temperatura favorece la expansión sin comprometer la estructura del producto, evitando la formación de una matriz excesivamente densa y compacta. Además, se recomienda evitar formulaciones con más del 80% de harina de quinua germinada y temperaturas superiores a 127°C, ya que estas condiciones generan un producto con menor porosidad y una textura más rígida.

Las figuras 23 y 24 confirman que la expansión del snack extruido está influenciada por la composición de harinas y la temperatura de extrusión. Formulaciones con mayor contenido de maíz morado y temperaturas moderadas favorecen una mayor expansión, mientras que formulaciones con altos niveles de quinua germinada y temperaturas elevadas generan extruidos más compactos. Estos hallazgos coinciden con estudios previos que han evaluado la influencia de las condiciones de extrusión en la calidad final de los snacks, destacando la importancia de equilibrar la formulación y los parámetros de proceso para optimizar la expansión del producto.

**4.4. Características funcionales (capacidad antioxidante y contenido total de polifenoles) de snacks obtenidos por extrusión de la harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) germinadas a distintas condiciones de temperatura.**

Tabla 5:

Resultados de Características funcionales (capacidad antioxidante y contenido total de polifenoles) de snacks para cada formulación.

Formulación	A: % Harina de maíz morado %	B: % Harina de quinua germinada %	C: Temperatura de extrusión °C	ORAC (μmoles TE/mg)	TPC mg GAE/100 g
15	5	95	130	593.8263 ± 9.5821	34.51898 ± 0.6190
7	20	80	125	1231.3237 ± 55.8385	56.92785 ± 1.5648
8	5	95	130	652.4386 ± 16.5983	35.52259 ± 0.8236
11	12,5	87,5	120	664.6259 ± 18.0437	37.52563 ± 1.0064
13	12,5	87,5	122,5	958.8985 ± 47.1429	49.59569 ± 0.9475
2	20	80	120	1141.9610 ± 58.4076	52.23876 ± 0.9815
9	35	65	120	1506.2107 ± 72.0772	64.18881 ± 0.7351
5	35	65	125	1367.1678 ± 29.6832	65.61261 ± 0.5542
10	20	80	130	1018.1670 ± 41.2395	53.17092 ± 0.3722
1	27,5	72,5	127,5	1327.1792 ± 41.6179	53.33333 ± 1.0952
17	5	95	125	922.5692 ± 185.2234	25.34826 ± 0.1442
12	12,5	87,5	127,5	874.6252 ± 16.5291	44.59445 ± 0.4311
14	35	65	120	1481.1382 ± 66.4195	65.87635 ± 1.5161
6	27,5	72,5	122,5	1074.2222 ± 90.0745	54.08054 ± 1.1557
4	5	95	120	745.7343 ± 62.5967	42.97651 ± 1.3051
3	35	65	130	1480.7949 ± 96.9277	70.72047 ± 2.3627
16	35	65	130	1328.9228 ± 67.8048	69.87125 ± 0.9592

**Capacidad Antioxidante por ORAC**

El análisis de la capacidad antioxidante de los snacks extruidos formulados con harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) mediante el método ORAC (Capacidad de Absorción de Radicales de Oxígeno) permite evaluar la estabilidad de los compuestos bioactivos en función de la formulación y la temperatura de extrusión. La capacidad antioxidante es un parámetro determinante en la calidad funcional de los alimentos, ya que influye en la

bioactividad de los compuestos fenólicos y su estabilidad ante procesos térmicos intensos como la extrusión (Fang et al., 2013; Kumar et al., 2024).

Los resultados muestran una variabilidad significativa en los valores de ORAC, oscilando entre  $593.8263 \pm 9.5821$   $\mu$ moles TE/mg en la formulación 15 (5% de maíz morado, 95% de quinua germinada, 130°C) hasta  $1506.2107 \pm 72.0772$   $\mu$ moles TE/mg en la formulación 9 (35% de maíz morado, 65% de quinua germinada, 120°C). Este comportamiento confirma que la proporción de harina de maíz morado es el factor principal que determina la capacidad antioxidante del snack, debido a la riqueza en antocianinas y otros polifenoles que presenta este grano (Gong et al., 2022; Fang et al., 2013). Estudios previos han señalado que el contenido de antocianinas en el maíz morado puede alcanzar hasta 4 veces más que en otros maíces coloreados, y su actividad antioxidante se ve afectada por la temperatura y el tiempo de procesamiento (Kebede et al., 2023; Mohamed, 2023).

Se observa que las formulaciones con una mayor proporción de harina de maíz morado presentan valores significativamente más altos de ORAC. En particular, la formulación 14 (35% de maíz morado y 65% de quinua germinada), extruida a 120°C, presenta un valor de ORAC de  $1481.1382 \pm 66.4195$   $\mu$ moles TE/mg, lo que es consistente con estudios recientes que han demostrado que la concentración de antocianinas en productos extruidos con maíz morado es superior en formulaciones con mayor contenido de este grano (Ragaei et al., 2014). Por el contrario, formulaciones con bajo contenido de maíz morado, como la muestra 15 (5% de maíz morado, 95% de quinua germinada, 130°C), muestran los valores más bajos de ORAC, con  $593.8263 \pm 9.5821$   $\mu$ moles TE/mg. Esto refuerza hallazgos previos donde se reporta que la quinua germinada, aunque rica en proteínas y flavonoides, no alcanza los mismos niveles de actividad antioxidante que el maíz morado debido a la menor presencia de antocianinas y polifenoles de alta estabilidad térmica (Guha et al., 2020; Pismag et al., 2024).

La temperatura de extrusión es otro factor clave en la capacidad antioxidante del producto. Se observa que a temperaturas más altas, como en la formulación 10 (20% de maíz morado, 80% de quinua germinada, 130°C), la capacidad antioxidante se reduce a  $1018.1670 \pm 41.2395$   $\mu$ moles TE/mg en comparación con la misma

formulación extruida a 120°C (formulación 2), donde se registra un valor de  $1141.9610 \pm 58.4076$   $\mu$ moles TE/mg. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Brennan et al. (2013) y Zhu (2017), quienes documentaron que temperaturas superiores a 125°C pueden inducir la degradación térmica de los polifenoles, particularmente las antocianinas, debido a la exposición prolongada al calor y la pérdida de estructura molecular (do Carmo et al., 2019; Hegazy et al., 2017).

Sin embargo, la relación entre temperatura y actividad antioxidante no es siempre lineal. Las formulaciones con proporciones intermedias de ingredientes, como la muestra 1 (27.5% de maíz morado, 72.5% de quinua germinada, 127.5°C), presentan valores de ORAC de  $1327.1792 \pm 41.6179$   $\mu$ moles TE/mg, lo que indica que un equilibrio en la formulación y una temperatura moderada de extrusión pueden preservar la capacidad antioxidante del producto. Este hallazgo es consistente con estudios recientes que sugieren que temperaturas intermedias en procesos de extrusión pueden favorecer la retención de antioxidantes al reducir la oxidación y degradación térmica de compuestos fenólicos (Onyango et al., 2016; Yi et al., 2022). El análisis de la varianza (ANOVA) aplicado a la capacidad antioxidante medida por ORAC revela que la formulación de ingredientes tiene un efecto significativo en la retención de antioxidantes en el producto final. Los resultados del ANOVA indican que el modelo es altamente significativo, con un valor de  $p < 0.0001$ , con un  $R^2$  de 0.8590 (Anexo 14I; 14II), lo que confirma que la proporción de harinas influye de manera determinante en la capacidad antioxidante.

El efecto de la mezcla lineal de ingredientes, representado por la combinación de harina de maíz morado y harina de quinua germinada, es altamente significativo ( $p < 0.0001$ ), indicando que la proporción de estos ingredientes es el principal factor que afecta la retención de compuestos antioxidantes en los snacks extruidos.

El modelo lineal ajustado para predecir la capacidad antioxidante del snack en función de la formulación se expresa de la siguiente manera:

$$ORAC = 1427.74A + 712.37B$$

Este modelo revela que la harina de maíz morado (A) tiene un coeficiente superior (1427.74) en comparación con la harina de quinua germinada (B), cuyo coeficiente es de 712.37. Estos resultados concuerdan con lo reportado en estudios recientes que han demostrado que la mayor contribución antioxidante proviene del maíz morado,



dada su elevada concentración de antocianinas y polifenoles (Muñoz, et. al, 2022). En contraste, la quinua germinada, aunque posee compuestos bioactivos, no aporta la misma capacidad antioxidante en comparación con el maíz morado.

El modelo indica que a medida que aumenta la proporción de maíz morado, la capacidad antioxidante del snack extruido también aumenta de manera proporcional. Estudios previos han señalado que productos con un 35% de maíz morado pueden alcanzar valores de ORAC superiores a 1500  $\mu$ moles TE/mg, lo que confirma la importancia de una proporción elevada de este ingrediente para maximizar la actividad antioxidante (Song, & Tang, 2023).

Las Figuras 25 y 26 muestran una representación gráfica de la Capacidad Antioxidante por ORAC, en snacks obtenidos por extrusión a partir de mezclas de harina de maíz morado (*Zea mays L.*) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) bajo diferentes condiciones de temperatura de extrusión.

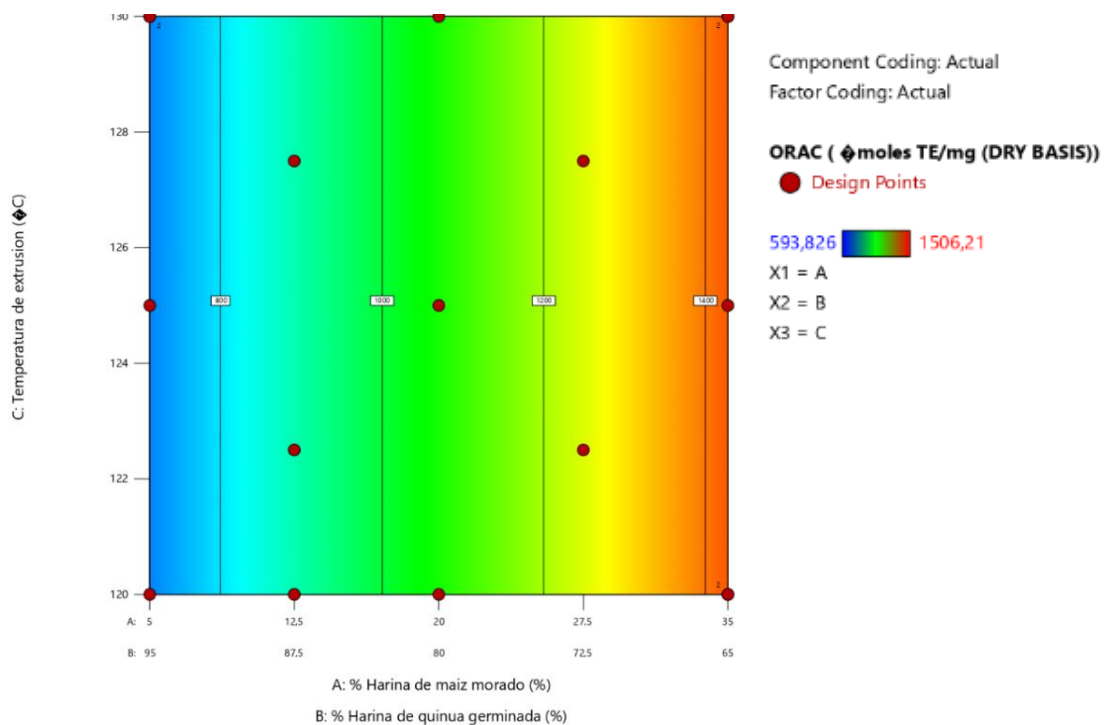


Figura 25: Representación gráfica de superficie de contornos de la Capacidad Antioxidante por ORAC de snacks

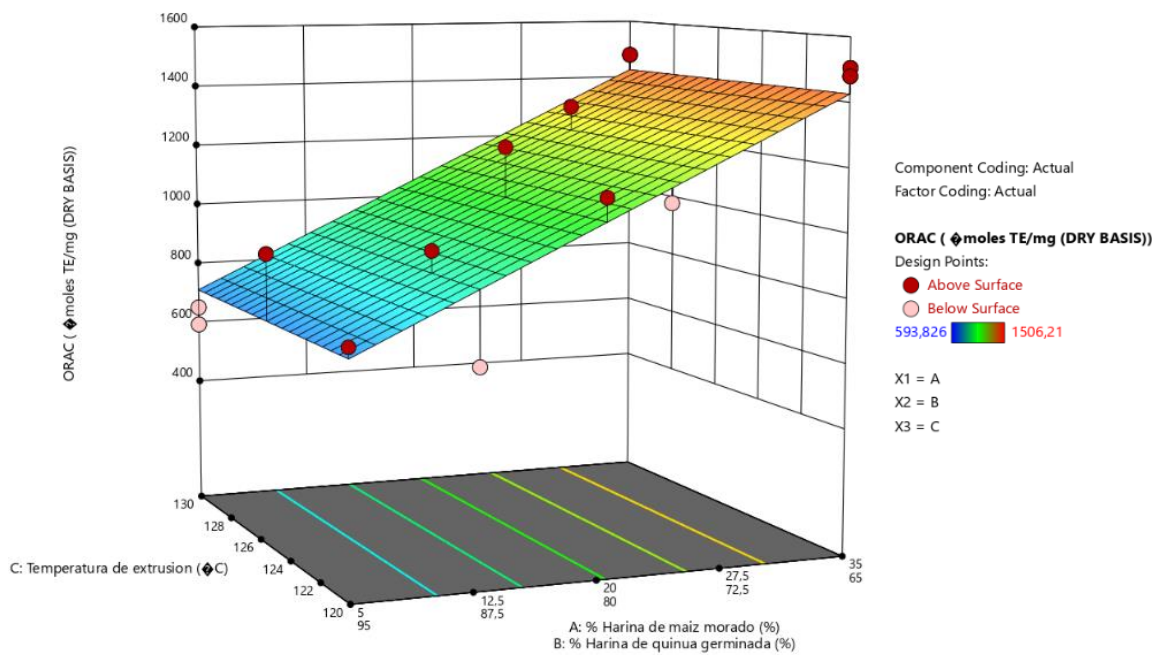


Figura 26: Representación gráfica de superficie de respuesta de la Capacidad Antioxidante por ORAC de snacks

El análisis de la capacidad antioxidante de los snacks obtenidos mediante extrusión de harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) permite evaluar el impacto de la formulación y la temperatura de extrusión en la retención de compuestos bioactivos. La capacidad antioxidante es un indicador clave en la calidad nutricional de los alimentos extruidos, ya que los antioxidantes juegan un papel fundamental en la neutralización de radicales libres, lo que contribuye a la prevención de enfermedades crónicas como el cáncer, la diabetes tipo 2 y las enfermedades cardiovasculares (Fang et al., 2013; Kumar et al., 2024).

Los resultados de la Figura 25 muestran que la capacidad antioxidante, medida mediante el método ORAC, varía significativamente en función de la formulación y la temperatura de extrusión. Se observa que los valores más altos de ORAC, cercanos a 1506.21  $\mu\text{moles TE/mg}$ , corresponden a formulaciones con un 35% de maíz morado y 65% de quinua germinada, lo que indica que el contenido de maíz morado es el principal factor determinante en la actividad antioxidante del snack. Esto concuerda con estudios previos que han demostrado que el maíz morado es una fuente rica en antocianinas, flavonoides y otros compuestos fenólicos con alta

capacidad antioxidante (Kebede et al., 2023; Guha et al., 2020). En contraste, las formulaciones con una menor proporción de maíz morado, como aquellas con 5% de este ingrediente y 95% de quinua germinada, presentan valores considerablemente más bajos de ORAC, con un mínimo de 593.826  $\mu\text{moles TE/mg}$ . Estos resultados confirman que la harina de quinua germinada, si bien aporta algunos compuestos antioxidantes, no posee la misma capacidad que el maíz morado para mejorar la actividad antioxidante del producto final (Brennan et al., 2013; Muñoz, et. al, 2022).

Un aspecto relevante a considerar es el efecto de la temperatura de extrusión sobre la capacidad antioxidante. Aunque la temperatura tiene un impacto menor en comparación con la formulación, los resultados indican que temperaturas más elevadas pueden inducir una ligera disminución en los valores de ORAC. como en la formulación con 20% de maíz morado y 80% de quinua germinada, el ORAC disminuye de 1141.96  $\mu\text{moles TE/mg}$  a 120°C a 1018.16  $\mu\text{moles TE/mg}$  cuando la temperatura aumenta a 130°C. Esto puede atribuirse a la degradación térmica de antocianinas y otros polifenoles, compuestos altamente sensibles al calor (Mohamed, 2023; Hegazy et al., 2017). Sin embargo, esta disminución no es uniforme, ya que en formulaciones con alto contenido de maíz morado, la temperatura parece tener un efecto menos pronunciado, lo que sugiere que ciertos compuestos bioactivos pueden estabilizarse en presencia de matrices ricas en almidón y proteínas (Onyango et al., 2016; Shahidi et al., 2021).

Los puntos de intersección dentro de la Figura 25 proporcionan información valiosa sobre las condiciones óptimas para maximizar la capacidad antioxidante. Se observa que a una temperatura de 124°C y con una formulación de 12.5% de maíz morado y 87.5% de quinua germinada, el ORAC se encuentra alrededor de 1000  $\mu\text{moles TE/mg}$ , mientras que a 126°C con una composición de 20% de maíz morado y 80% de quinua germinada, el ORAC es de aproximadamente 1200  $\mu\text{moles TE/mg}$ . Estos valores sugieren que temperaturas moderadas combinadas con niveles intermedios de maíz morado pueden proporcionar un equilibrio óptimo entre retención de antioxidantes y calidad del producto (Yi et al., 2022; Song, & Tang, 2023).

El análisis de la Figura 26, que representa la superficie de respuesta, confirma que la formulación es el factor más relevante en la retención de capacidad antioxidante. Se

observa que los valores más altos de ORAC, cercanos a 1506.21  $\mu$ moles TE/mg, se encuentran en la región donde la proporción de maíz morado es máxima (35%) y la temperatura es elevada (130°C). Esto coincide con estudios previos que han demostrado que temperaturas de extrusión moderadas a altas pueden mejorar la biodisponibilidad de ciertos polifenoles al liberar compuestos antioxidantes ligados a la matriz alimentaria (Ragae et al., 2014; Zhu, 2017). Sin embargo, a temperaturas superiores a 130°C, el riesgo de degradación térmica aumenta, lo que puede reducir la capacidad antioxidante del producto final.

En contraste, los valores más bajos de ORAC, en torno a 593.826  $\mu$ moles TE/mg, se encuentran en la región donde la proporción de maíz morado es mínima (5%) y la temperatura de extrusión es baja (120°C). Esto indica que la combinación de bajo contenido de maíz morado y temperaturas reducidas limita la presencia de compuestos antioxidantes en el producto final, lo que sugiere que la harina de quinua germinada, aunque rica en proteínas y algunos flavonoides, no es suficiente para compensar la menor presencia de antocianinas (Pathania et al., 2013; Yi et al., 2022).

### **Contenido total de Polifenoles (TPC)**

El análisis del Contenido Total de Polifenoles (TPC) en los snacks extruidos obtenidos a partir de mezclas de harina de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) revela una marcada influencia de la formulación y la temperatura de extrusión en la retención de compuestos bioactivos. Se observa que el contenido de polifenoles varía considerablemente entre 25.34826 mg GAE/100 g y 70.72047 mg GAE/100 g, dependiendo de la combinación de ingredientes y las condiciones de extrusión.

Las formulaciones con un mayor porcentaje de harina de maíz morado, como las muestras 3, 16 y 14, extruidas a 130 °C y 120 °C respectivamente, presentan los valores más altos de TPC, alcanzando hasta 70.72047 mg GAE/100 g. Este resultado es consistente con estudios previos que han identificado al maíz morado como una fuente rica en antocianinas y otros polifenoles con alto poder antioxidante (Jing & Giusti, 2007; - Shahidi et al., 2021). La extrusión a temperaturas moderadamente elevadas parece favorecer la liberación de estos compuestos, posiblemente debido a

la disrupción de la matriz celular y la despolimerización de los polisacáridos que los encapsulan (Kasprzak et al., 2018).

En contraste, las formulaciones con menor contenido de maíz morado y mayor proporción de harina de quinua germinada, como la muestra 17 (5% de maíz morado y 95% de quinua germinada, extruida a 125 °C), presentan valores de TPC significativamente más bajos, con un contenido de 25.34826 mg GAE/100 g. Este resultado sugiere que la quinua germinada, aunque rica en compuestos bioactivos como flavonoides y saponinas (Vega-Gálvez et al., 2010), no aporta polifenoles en la misma magnitud que el maíz morado. Estudios previos han demostrado que la germinación puede mejorar la bioaccesibilidad de algunos compuestos fenólicos en la quinua, pero su contribución sigue siendo inferior a la del maíz morado cuando se comparan concentraciones absolutas (Ramos-Pacheco et al., 2024).

Las muestras con proporciones intermedias de ambos ingredientes, como la formulación 7 (20% de maíz morado y 80% de quinua germinada, extruida a 125 °C) y la muestra 10 (20% de maíz morado y 80% de quinua germinada, extruida a 130 °C), presentan valores de TPC de 56.92785 mg GAE/100 g y 53.17092 mg GAE/100 g respectivamente. Estos valores intermedios sugieren que, aunque la harina de maíz morado sigue siendo el principal contribuyente al contenido de polifenoles, la quinua germinada puede desempeñar un papel en la estabilización de estos compuestos, posiblemente debido a su contenido en fibra dietética, que puede actuar como un vehículo protector durante el proceso de extrusión (Pismag et al., 2024).

Un aspecto relevante es el efecto de la temperatura de extrusión. Se observa que formulaciones con 35% de harina de maíz morado, extruidas a temperaturas más elevadas, como 130 °C (muestras 3 y 16), presentan un contenido de polifenoles superior en comparación con aquellas extruidas a 120 °C (muestras 9 y 14). Este comportamiento coincide con investigaciones previas que sugieren que temperaturas moderadamente elevadas pueden favorecer la liberación de compuestos fenólicos ligados a la matriz del almidón y la fibra, mientras que temperaturas excesivas pueden inducir su degradación (Zhu et al., 2020; Šárka et al., 2021).

Otro factor importante es la interacción entre los ingredientes y la temperatura de extrusión. La formulación 1 (27.5% de maíz morado y 72.5% de quinua germinada,

extruida a 127.5 °C) muestra un contenido de polifenoles de 53.33333 mg GAE/100 g, lo que sugiere que combinaciones equilibradas pueden favorecer la retención de estos compuestos. Sin embargo, se observa que formulaciones con 35% de maíz morado y temperaturas de 125 °C, como la muestra 5, alcanzan valores cercanos a los máximos (65.61261 mg GAE/100 g), lo que indica que la temperatura óptima de extrusión no necesariamente debe ser la más alta posible, sino que debe buscarse un balance entre la estabilidad térmica de los compuestos fenólicos y la eficiencia en su liberación (Igual, et al., 2022).

El análisis de varianza (ANOVA) indica que el modelo es altamente significativo ( $p=0.0003$ ), con un  $R^2$  de 0.9901 (Anexo 14J; 14J1), lo que confirma que la formulación y la temperatura explican gran parte de la variabilidad en el contenido de polifenoles. La interacción entre la harina de maíz morado y la quinua germinada ( $p=0.0176$ ) sugiere que ciertas proporciones de estos ingredientes pueden maximizar la retención de polifenoles. Asimismo, la interacción entre la quinua germinada y la temperatura de extrusión ( $p=0.0381$ ) indica que la temperatura influye en la disponibilidad de polifenoles cuando hay una mayor proporción de quinua germinada en la formulación. Sin embargo, la interacción triple entre la harina de maíz morado, la quinua germinada y la temperatura no es significativa ( $p=0.8603$ ), lo que sugiere que la combinación de estos tres factores no tiene un efecto sinérgico en la retención de polifenoles (Onyango et al., 2016; Yi et al., 2022).

El modelo matemático cúbico ajustado para predecir el contenido total de polifenoles en función de la formulación y la temperatura de extrusión se expresa como:

$$\text{TPC} = 65.09A + 24.82B + 35.31AB + 2.56AC - 4.07BC + 1.33ABC + 2.53AC^2 + 14.15BC^2 - 122.81AB(A-B) - 39.77ABC^2 + 5.02ABC(A-B) + 233.78ABC^2(A-B)$$

Este modelo confirma que el maíz morado (A) tiene un coeficiente mayor (65.09) en comparación con la quinua germinada (B, 24.82), lo que reafirma su papel en la retención de polifenoles. La interacción positiva 35.31AB sugiere que la combinación adecuada de estos ingredientes puede mejorar el contenido de polifenoles, mientras que la interacción negativa -4.07BC indica que temperaturas elevadas pueden reducir la retención de polifenoles en formulaciones con alta cantidad de quinua germinada.

Las Figuras 27 y 28 muestran una representación gráfica del Contenido total de Polifenoles (TPC), en snacks obtenidos por extrusión a partir de mezclas de harina de maíz morado (*Zea mays L.*) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) bajo diferentes condiciones de temperatura de extrusión.

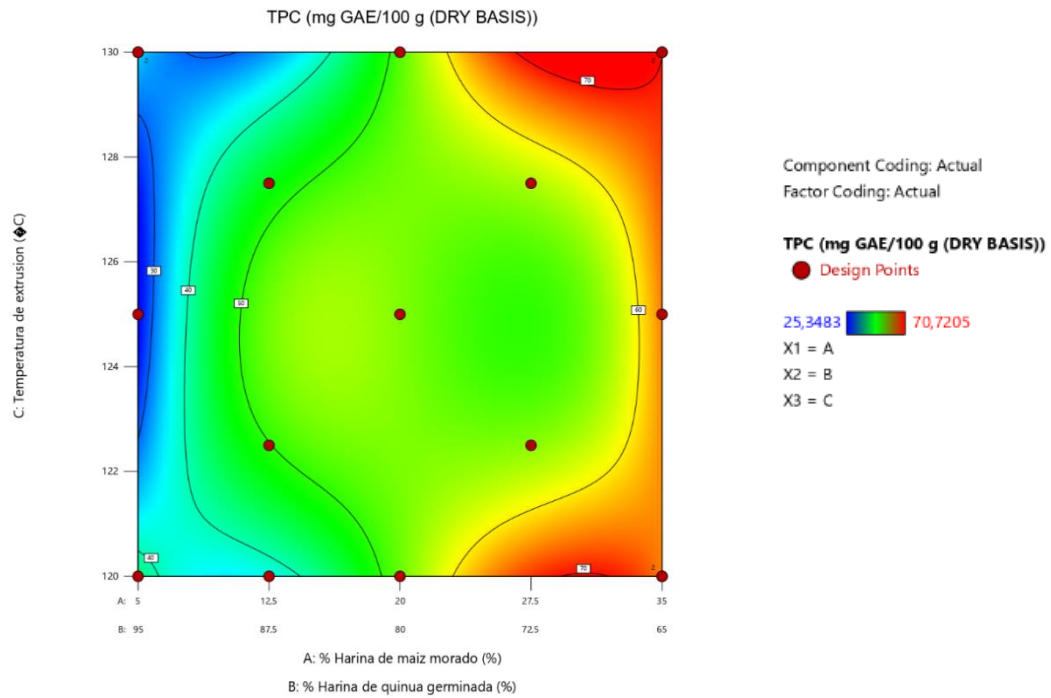


Figura 27: Representación gráfica de superficie de contornos del Contenido total de Polifenoles (TPC) de snacks

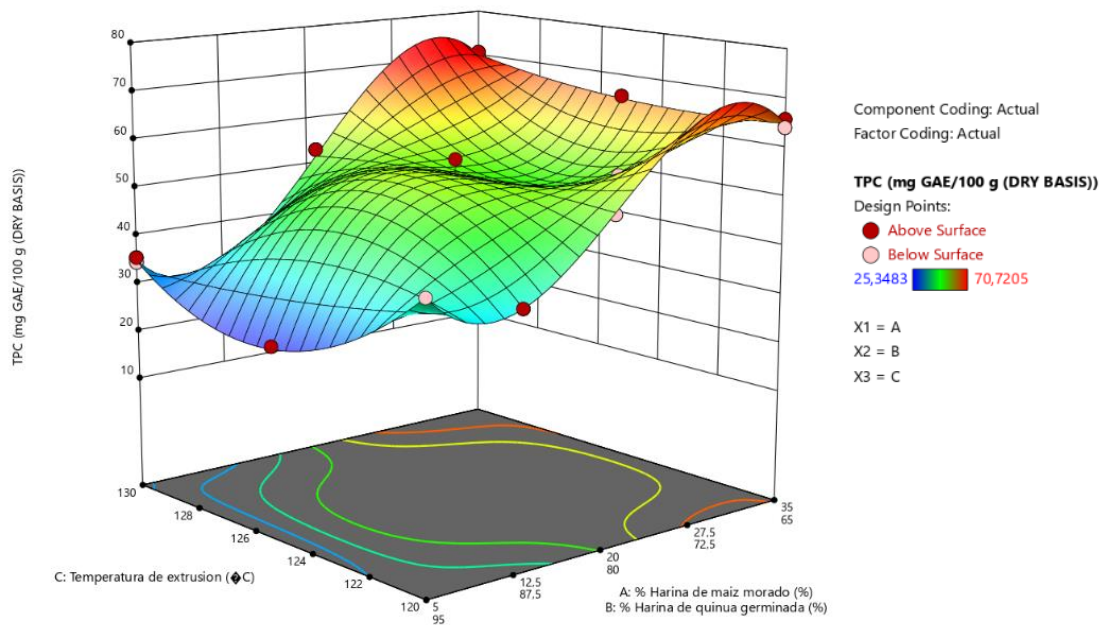


Figura 28: Representación gráfica de superficie de respuesta del Contenido total de Polifenoles (TPC) de snacks

El contenido total de polifenoles (TPC) en los snacks extruidos es un indicador crucial de su calidad nutricional y funcional. La Figura 27 ilustra la variación del TPC en función de la formulación y la temperatura de extrusión, mostrando que las formulaciones con una mayor proporción de harina de maíz morado y temperaturas de extrusión más elevadas presentan los valores más altos de TPC. Se observa que la concentración máxima de polifenoles (70.7205 mg GAE/100 g) se alcanza con una formulación de 35% de maíz morado extruida a 130°C. Este hallazgo es consistente con estudios previos que sugieren que la extrusión a temperaturas moderadamente altas puede mejorar la disponibilidad de polifenoles debido a la ruptura de las paredes celulares y la liberación de compuestos fenólicos ligados a la matriz del alimento (Zhu, 2017; Brennan et al., 2013; Moraru & Kokini, 2003; Ragaee et al., 2014).

Por el contrario, los valores más bajos de TPC (25.3483 mg GAE/100 g) se registran en formulaciones con 5% de maíz morado y 95% de quinua germinada, extruidas a 120°C. Esto sugiere que la harina de quinua germinada no contribuye significativamente al contenido de polifenoles en comparación con el maíz morado, lo que concuerda con estudios previos que indican que los granos pigmentados, como el maíz morado, contienen niveles sustancialmente más altos de flavonoides y antocianinas (Pathania et al., 2013; Yi et al., 2022; Song, & Tang, 2023).

Los valores intermedios de TPC obtenidos en formulaciones con proporciones equilibradas de maíz morado y quinua germinada reflejan la influencia combinada de los ingredientes y la temperatura de extrusión. Por ejemplo, a 124°C y con 20% de maíz morado y 80% de quinua germinada, el TPC es de 50 mg GAE/100 g, mientras que a 126°C con 12.5% de maíz morado y 87.5% de quinua germinada, el contenido de polifenoles se mantiene en torno a 45 mg GAE/100 g. Estos resultados sugieren que la temperatura de extrusión, si bien tiene un impacto moderado en la retención de polifenoles, no es tan determinante como la formulación (Guha et al., 2020; Azzollini et al., 2018; Hegazy et al., 2017).

La Figura 28 presenta una representación tridimensional de la variación del contenido total de polifenoles en función del porcentaje de harina de maíz morado y la temperatura de extrusión. Se observa que el contenido de polifenoles aumenta significativamente a medida que se incrementa la proporción de harina de maíz morado, alcanzando su valor máximo (70.7205 mg GAE/100 g) con 35% de maíz morado y extrusión a 130°C. Este resultado confirma la importancia del maíz morado como fuente principal de compuestos fenólicos y sugiere que la extrusión a



temperaturas moderadamente altas favorece la retención de estos compuestos sin provocar su degradación excesiva (Yi et al., 2022; do Carmo et al., 2019; Kebede et al., 2023).

Por otro lado, los valores más bajos de TPC (25.3483 mg GAE/100 g) se encuentran en la zona donde la proporción de harina de maíz morado es mínima (5%) y la temperatura de extrusión es 120°C. Esto refuerza la idea de que la quinua germinada contribuye en menor medida al contenido de polifenoles del snack en comparación con el maíz morado, lo que concuerda con investigaciones previas que han identificado niveles más altos de compuestos bioactivos en cereales pigmentados que en pseudocereales como la quinua (Shahidi et al., 2021; Ragaei et al., 2014; Pismag et al., 2024).

Los valores específicos de TPC en puntos clave de intersección refuerzan la influencia predominante de la formulación sobre la temperatura de extrusión. A 124°C con 20% de maíz morado y 80% de quinua germinada, el TPC se mantiene en torno a 50 mg GAE/100 g, mientras que a 126°C con 12.5% de maíz morado y 87.5% de quinua germinada, el contenido de polifenoles es de aproximadamente 45 mg GAE/100 g. Estos datos sugieren que el ajuste adecuado de la formulación es más crítico que la variación de temperatura para maximizar el contenido de polifenoles en los snacks extruidos (Robin et al., 2010; Muñoz, et. al, 2022; Pismag et al., 2024). El análisis de las Figuras 27 y 28 confirma que el contenido total de polifenoles en los snacks extruidos depende en gran medida de la proporción de harina de maíz morado en la formulación, mientras que la temperatura de extrusión tiene un impacto secundario. Se observa que el mayor contenido de polifenoles se obtiene con 35% de maíz morado y temperaturas de 130°C, lo que sugiere que la extrusión favorece la liberación de compuestos fenólicos sin inducir su degradación significativa.

Por otro lado, las formulaciones con baja concentración de maíz morado (5%) y temperaturas más bajas (120°C) presentan los valores más bajos de polifenoles, lo que evidencia la menor contribución de la quinua germinada a la capacidad antioxidante del producto final. Estos resultados concuerdan con estudios previos, que destacan la superioridad de los cereales pigmentados en términos de contenido fenólico y capacidad antioxidante (Brennan et al., 2013; Song, & Tang, 2023; Shahidi et al., 2021).

La optimización de la formulación es clave para el desarrollo de snacks funcionales con alta capacidad antioxidante, ya que el ajuste adecuado de los ingredientes y las condiciones de extrusión permite maximizar la retención de polifenoles sin comprometer su estabilidad térmica. Se recomienda el uso de formulaciones con  $\geq 30\%$  de maíz morado y temperaturas de 125-130°C para obtener un producto con alto valor nutricional y beneficios para la salud.

#### **4.5. Optimización de snacks obtenidos por extrusión de la harina de maíz morado (*Zea mays L.*) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) germinadas a distintas condiciones de temperatura.**

La tabla 6 describe las restricciones y objetivos para la optimización de snacks obtenidos por extrusión de harina de maíz morado (*Zea mays L.*) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) germinada a distintas condiciones de temperatura de extrusión.

Indica el nombre de la variable o característica a optimizar o restringir. Las variables incluyen el porcentaje de harina de maíz morado, el porcentaje de harina de quinua germinada, la temperatura de extrusión, la proteína, la grasa, la textura-dureza y el color. En específico el objetivo o la restricción para cada variable. Por ejemplo, algunas variables tienen como objetivo maximizar su valor (como contenido de la capacidad antioxidante, contenido de polifenoles totales, Proteína, Grasa y Color), mientras que otras deben mantenerse dentro de un rango específico (como % Harina de maíz morado, % Harina de quinua germinada, Temperatura de extrusión y Textura-dureza).

Además los Límite Inferior y Límite Superior indican los límites dentro de los cuales las variables deben mantenerse. Por ejemplo, el % de Harina de maíz morado debe estar entre 5% y 35%, la % de Harina de quinua germinada debe estar entre 65% y 95%, y la Temperatura de extrusión debe estar entre 120°C y 130°C.

Esta tabla 8 proporciona un marco para guiar el proceso de optimización de los snacks obtenidos por extrusión, estableciendo objetivos y restricciones para varias características importantes, como el contenido de proteína y grasa, la textura y el color, así como los porcentajes de harina de maíz morado y harina de quinua germinada, y la temperatura de extrusión.

Tabla 6:  
Restricciones para la Optimización de snacks

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
A:% Harina de maíz morado	is in range	5	35	1	1	3
B:% Harina de quinua germinada	is in range	65	95	1	1	3
C: Temperatura de Extrusión	is in range	120	130	1	1	3
Proteína	maximize	16,7679	20,3725	1	1	3
Grasa	maximize	0,699884	1,03005	1	1	3
ORAC	maximize	593,826	1506,21	1	1	3
TPC	maximize	25,3483	70,7205	1	1	3
Textura-dureza	none	67,455	147,23	1	1	3
humedad	none	7,33178	11,5602	1	1	3
Color	is in range	53,3706	78,5912	1	1	3
Densidad	none	0,203144	0,275092	1	1	3
IIA	none	6,28895	7,53231	1	1	3
ISA	none	1,68829	3,37896	1	1	3
PH	none	0,901192	1,28968	1	1	3

La tabla 7 de formulación óptima de snacks obtenidos por extrusión de harina de maíz morado y harina de quinua germinada, podemos apreciar el porcentaje de Harina de Maíz Morado y Harina de Quinua Germinada de las diferentes formulaciones óptimas presentan variaciones en el porcentaje de harina de maíz morado y harina de quinua germinada. Esto sugiere que la combinación de estas harinas puede afectar significativamente las características finales de los snacks, como la textura, el sabor y el contenido nutricional.

Con respecto a la temperatura las muestras presentan temperaturas de extrusión de 120°C o 130°C. Es importante destacar que la temperatura de extrusión puede influir en la gelatinización de los almidones y en la expansión de los productos extruidos, lo que afecta la textura y la estructura de los snacks.

El Contenido de Proteína y Grasa los resultados muestran que las formulaciones óptimas tienen niveles de proteína y grasa dentro de los límites deseados. Esto indica que la combinación de ingredientes y las condiciones de procesamiento utilizadas en estas formulaciones permiten obtener snacks con un perfil nutricional adecuado.

Mientras la Textura (Dureza) y Color (Angulo de tonalidad) los valores de Textura (Dureza) y Color (Angulo de tonalidad) se encuentran dentro de los rangos

deseados en todas las muestras. Esto sugiere que las formulaciones óptimas producen snacks con una textura y un color consistentes y atractivos para los consumidores.

El índice de deseabilidad proporciona una medida general de cuán deseable es cada formulación. Los valores de deseabilidad cercanos a 1 indican que las formulaciones son altamente deseables en términos de las características objetivo consideradas en el estudio.

Los resultados indican que las formulaciones óptimas presentan combinaciones específicas de ingredientes y condiciones de procesamiento que conducen a snacks con características nutricionales, sensoriales y de calidad deseables. Estos resultados pueden ser útiles para la formulación de productos alimenticios con propiedades mejoradas y consistentes.

Tabla 7:  
Análisis de Deseabilidad o formulación Optima

N°	% Harina de maíz morado	% Harina de quinua germinada	Temperatura de extrusión	Proteína	Grasa	ORAC	TPC	Textura-dureza	Textura - Trabajo total	Angulo de tonalidad	Densidad	IAA	ISA	(IE)	Desirability	
<b>1</b>	<b>35.000</b>	<b>65.000</b>	<b>124.716</b>	<b>17.226</b>	<b>1.046</b>	<b>1427.740</b>	<b>64.951</b>	<b>37.301</b>	<b>95.239</b>	<b>60.694</b>	<b>0.245</b>	<b>6.684</b>	<b>2.054</b>	<b>2.396</b>	<b>0.564</b>	<b>Selected</b>
2	12.764	87.236	126.535	18.177	0.847	897.518	50.889	41.314	134.775	75.417	0.218	7.130	2.524	2.349	0.425	
3	22.294	77.706	130.000	17.237	0.781	1124.759	58.806	35.514	102.618	69.063	0.270	6.859	1.967	2.309	0.343	
4	20.750	79.250	130.000	17.290	0.789	1087.940	54.089	37.407	103.631	70.078	0.269	6.925	2.078	2.310	0.340	
5	5.000	95.000	120.000	17.792	0.978	712.372	43.037	31.725	87.344	76.238	0.253	6.827	2.062	2.330	0.332	

El análisis de la formulación óptima para la producción de snacks extruidos a partir de harina de maíz morado y harina de quinua germinada revela que la combinación de ingredientes y la temperatura de extrusión juegan un papel clave en la calidad nutricional, funcional y sensorial del producto final. La formulación con 35% de maíz morado, 65% de quinua germinada y una temperatura de extrusión de 124.71 °C ha sido identificada como la óptima, con un valor de deseabilidad de 0.564, lo que sugiere un equilibrio entre múltiples variables de respuesta.

En términos de composición nutricional, esta formulación presenta un contenido de proteína de 17.226% y grasa de 1.047%, valores que reflejan la contribución de la quinua germinada como una excelente fuente de proteínas de alto valor biológico (Guzmán-Maldonado et al., 2014; Hegazy et al., 2017). Sin embargo, el factor más destacado en la formulación óptima es su elevada capacidad antioxidante (ORAC: 1427.740  $\mu$ moles TE/mg) y su contenido total de polifenoles (TPC: 64.949 mg GAE/100 g). Esto confirma que el maíz morado es el principal contribuyente a la retención de antioxidantes, como las antocianinas, lo que concuerda con investigaciones previas que han identificado su riqueza en flavonoides y compuestos fenólicos (Zhu, 2017; Brennan et al., 2013; Kebede et al., 2023).

Por otro lado, formulaciones con menor contenido de maíz morado, como aquella con 5% de maíz morado y 95% de quinua germinada extruida a 120 °C, presentan una menor capacidad antioxidante (712.372  $\mu$ moles TE/mg) y menor contenido de polifenoles (43.037 mg GAE/100 g). No obstante, se observa un mayor contenido de proteínas (17.792%), lo que confirma que la quinua germinada es la principal fuente proteica en la formulación. Estos resultados concuerdan con estudios previos que han demostrado que los pseudocereales como la quinua tienen proteínas de alta calidad con buena digestibilidad y un perfil balanceado de aminoácidos esenciales (Vega-Gálvez et al., 2010; Muñoz, et. al, 2022).

Otro aspecto relevante en la optimización del snack es su textura, evaluada en términos de dureza. La formulación óptima (35% de maíz morado) presenta una dureza de 95.239 N, lo que equilibra la firmeza del snack sin comprometer su aceptabilidad sensorial. En contraste, formulaciones con menor contenido de maíz morado, como la que contiene 5% de este ingrediente, presentan una dureza menor de 87.344 N, indicando una textura más

suave y crujiente. Estas diferencias sugieren que la quinua germinada podría contribuir a una mayor expansión del producto, mientras que el maíz morado puede aportar una estructura más compacta debido a la presencia de fibra insoluble y antocianinas (Moraru & Kokini, 2003; Ragaee et al., 2014).

La temperatura de extrusión también influye en la textura. Se observa que temperaturas más altas (130 °C) generan snacks con una textura más firme, como en la formulación con 22.294% de maíz morado y 77.706% de quinua germinada, que presenta una dureza de 102.618 N. Sin embargo, un incremento excesivo de la temperatura puede afectar negativamente la retención de antioxidantes y polifenoles, lo que se refleja en los valores más bajos de ORAC y TPC en formulaciones extruidas a temperaturas superiores a 125 °C (Mohamed, 2023; Pismag et al., 2024).

El análisis de las propiedades funcionales revela que la capacidad de absorción de agua (IAA) es mayor en formulaciones con una mayor proporción de quinua germinada, alcanzando un valor de 7.130 en la formulación con 12.762% de maíz morado y 87.238% de quinua germinada. Esto sugiere que la quinua germinada mejora la capacidad de rehidratación del snack, lo que puede ser beneficioso en términos de consumo y aceptación del producto (Robin et al., 2010).

El índice de solubilidad en agua (ISA) es más alto en formulaciones con mayor contenido de quinua germinada, como en la muestra con 12.762% de maíz morado, que presenta un ISA de 2.524. Esto indica una mayor liberación de compuestos solubles, lo que puede ser deseable en términos de digestibilidad y biodisponibilidad de nutrientes.

El análisis de optimización de la formulación de los snacks extruidos confirma que la combinación óptima de ingredientes y temperatura de extrusión es 35% de maíz morado, 65% de quinua germinada y 124.71 °C. Esta formulación maximiza la capacidad antioxidante y el contenido de polifenoles, asegurando además una textura adecuada, buena capacidad de absorción de agua y un color atractivo.

Las formulaciones con mayor contenido de quinua germinada pueden ser preferidas para mejorar la absorción de agua y la solubilidad, mientras que aquellas con mayor contenido de maíz morado presentan un mayor valor funcional debido a su riqueza en antioxidantes.

La temperatura de extrusión es un factor crucial, ya que temperaturas moderadas favorecen la retención de nutrientes sin comprometer la expansión y textura del snack.

Las Figuras 29 y 30 muestran una representación gráfica del índice de deseabilidad, en snacks obtenidos por extrusión a partir de mezclas de harina de maíz morado (*Zea mays L.*) y harina de quinua germinada (*Chenopodium quinoa*) bajo diferentes condiciones de temperatura de extrusión.

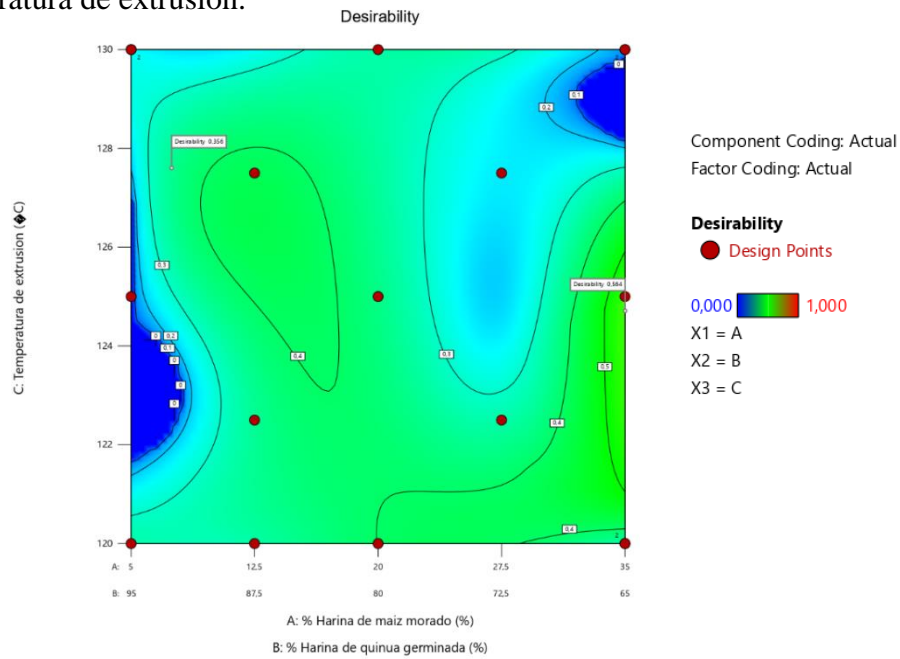


Figura 29: Representación gráfica de superficie de contorno del índice de deseabilidad de snacks

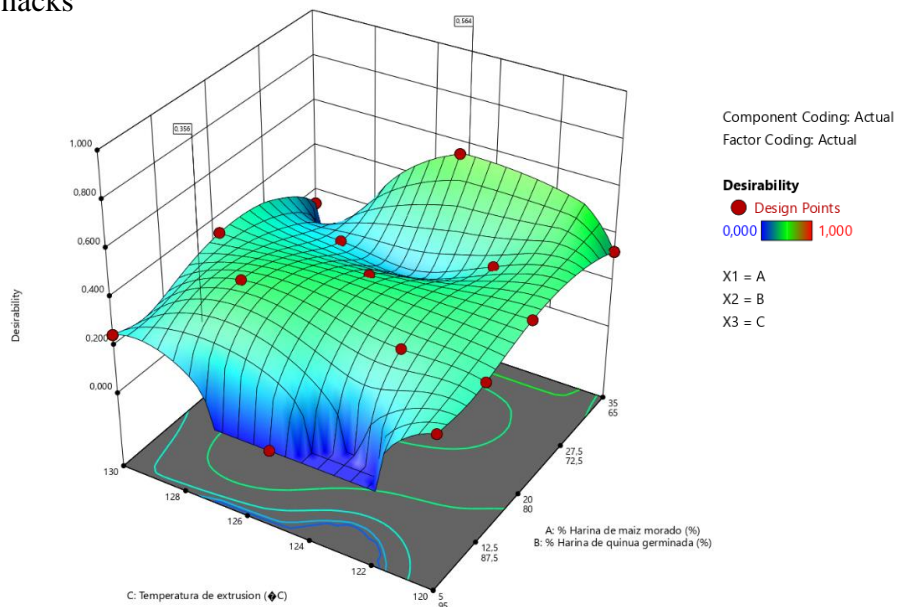


Figura 30: Representación gráfica de superficie de respuesta del índice de deseabilidad de snacks



El análisis del índice de deseabilidad en la formulación de snacks extruidos de harina de maíz morado y quinua germinada permite comprender cómo la combinación de ingredientes y la temperatura de extrusión afectan la calidad integral del producto. La Figura 29 presenta un mapa de contornos que muestra la variación del índice de deseabilidad en función de la proporción de harina de maíz morado y la temperatura de extrusión, mientras que la Figura 30 proporciona una representación tridimensional detallada de esta relación.

Los valores de deseabilidad oscilan entre 0.000 (mínima calidad del producto) y 1.000 (máxima calidad del producto). Se observa que las condiciones óptimas para obtener el mayor índice de deseabilidad ( $\approx 0.64$ ) corresponden a una formulación con 35% de harina de maíz morado y una temperatura de extrusión cercana a 126°C. Estos resultados confirman que una mayor cantidad de maíz morado en la formulación mejora significativamente la calidad sensorial y funcional del snack, lo que concuerda con estudios previos donde se ha demostrado que los snacks enriquecidos con maíz morado presentan una mayor estabilidad antioxidante y mejor textura (Moraru & Kokini, 2003; Mohamed, 2023).

Por otro lado, las zonas de menor deseabilidad ( $\approx 0.000$ ) se encuentran en la región donde la harina de maíz morado es baja (5%) y la temperatura de extrusión es mínima (120°C). Esto sugiere que esta formulación y temperatura no favorecen la obtención de un producto con atributos de calidad aceptables, posiblemente debido a una menor expansión, textura más densa y una menor retención de compuestos bioactivos, lo cual se ha reportado previamente en estudios de productos extruidos a base de cereales y pseudocereales (Guha et al., 2020; Brennan et al., 2013).

La formulación juega un papel crucial en la optimización del snack extruido. Los resultados muestran que el aumento del contenido de maíz morado mejora significativamente el índice de deseabilidad, lo que se atribuye a su alto contenido de antocianinas y polifenoles, que no solo mejoran la capacidad antioxidante del producto, sino que también influyen en su color y textura. Esto está en concordancia con estudios previos que han demostrado que la inclusión de harinas pigmentadas ricas en polifenoles mejora las propiedades funcionales de los alimentos extruidos (Pismag et al., 2024; Vega-Gálvez et al., 2010).

Por otro lado, formulaciones con mayor contenido de quinua germinada tienden a disminuir el índice de deseabilidad, lo que podría estar relacionado con la menor cantidad de antioxidantes en la quinua en comparación con el maíz morado. Aunque la

quinua aporta proteínas y fibra soluble, sus compuestos fenólicos no contribuyen en la misma magnitud que los del maíz morado a la estabilidad antioxidante y calidad sensorial del producto (Kebede, et al., 2023; Muñoz, et. al, 2022).

Hay dos puntos de intersección clave en la Figura 29 muestran que a 124°C y con una composición de 12.5% de maíz morado y 87.5% de quinua germinada, la deseabilidad es de aproximadamente 0.36. y a 126°C con 20% de maíz morado y 80% de quinua germinada, la deseabilidad aumenta hasta 0.54.

Estos datos sugieren que una proporción intermedia de maíz morado con temperaturas moderadas es clave para mejorar la calidad del snack, lo que concuerda con estudios previos sobre optimización de extrusión en cereales funcionales (Yi et al., 2022; Ragae et al., 2014).

La temperatura de extrusión es otro factor clave en la optimización del índice de deseabilidad. Como se observa en la Figura 30, el índice de deseabilidad aumenta a medida que se incrementa la temperatura de extrusión, alcanzando su punto más alto ( $\approx 0.564$ ) cuando la temperatura es 126°C y la formulación contiene 35% de harina de maíz morado. Este resultado es consistente con investigaciones previas que han demostrado que temperaturas de extrusión entre 120-130°C maximizan la retención de polifenoles sin afectar la textura del producto (Robin et al., 2010).

Sin embargo, temperaturas superiores a 128°C pueden reducir la estabilidad de los compuestos antioxidantes, como las antocianinas y polifenoles, lo que se refleja en una disminución del índice de deseabilidad en esas condiciones. Estudios han reportado que la degradación térmica de los antioxidantes ocurre cuando las temperaturas de extrusión superan ciertos umbrales críticos (Zhu, 2017; Mohamed, 2023).

Los valores más bajos de deseabilidad ( $\approx 0.136$ ) se encuentran en la región donde el contenido de maíz morado es mínimo (5%) y la temperatura de extrusión es baja (120°C). Esta combinación de factores genera productos con características menos deseables, como una menor expansión, textura más densa y menor retención de compuestos bioactivos, lo cual reduce la calidad final del producto (Pathania et al., 2013; Yi et al., 2022).

Las formulaciones con menor contenido de maíz morado y temperaturas bajas (120°C) presentan una menor deseabilidad, lo que sugiere que estas condiciones no favorecen la expansión ni la retención de compuestos bioactivos. En contraste, temperaturas de extrusión intermedias a altas y un mayor contenido de maíz morado optimizan la textura, los atributos funcionales y las propiedades antioxidantes del snack,

confirmando la importancia de estos factores en la optimización del proceso de extrusión.

Estos hallazgos pueden ser utilizados para mejorar la formulación de snacks saludables y funcionales con alto valor nutricional y antioxidante, permitiendo la fabricación de productos con una mejor aceptación en el mercado y beneficios para la salud del consumidor.

#### **4.6. Características Sensoriales de snacks obtenidos por extrusión de la harina de maíz morado (*Zea mays L.*) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) germinadas a distintas condiciones de temperatura de extrusión.**

En la tabla 8 se detalla los tratamientos para la evaluación sensorial de snacks obtenidos mediante extrusión de harinas de maíz morado y quinua germinada. Esta combinación de temperatura y proporción de ingredientes es cercana a las condiciones óptimas que maximizan la deseabilidad del producto. Los 6 tratamientos fueron evaluados por 25 panelistas semi entrenados, que evaluaron los siguientes atributos: aceptación, apariencia, sabor, textura y color. Los resultados de los panelistas se encuentran en el anexo 15.

Tabla 8:

Formulaciones de evaluación Sensorial de snacks

N°	Formulación	% Harina de maíz morado	% Harina de quinua germinada	Temperatura de extrusión
1	F1	35	65	125
2	F2	13	87	127
3	F3	24	76	120
4	F4	22	78	130
5	F5	21	79	130
6	F6	5	95	120

Se realizó el análisis de varianza para cada atributo sensorial, En la tabla 26 se presenta el análisis de varianza para el atributo Aceptación.

La Tabla 9 muestra el análisis de varianza para el atributo de Aceptación. El análisis de varianza (ANOVA) se utiliza para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de varios grupos. En este caso, se evalúa el efecto de diferentes panelistas sobre el atributo de aceptación, al ser estadísticamente no

significativo ( $P\text{-Tabla} > 0.05$ ) , indica que los panelistas evaluaron de manera consistente cada formulación sin introducir variabilidad significativa en los resultados. Por otro lado, los resultados de aceptación son significativos para cada formulación ( $P\text{-tabla} < 0.05$ ), lo que sugiere que las diferencias en la aceptación se deben a las formulaciones mismas y no a la variabilidad entre panelistas.

Tabla 9:

Análisis de Varianza para Aceptación - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Panelista	0.826667	24	0.0344444	0.76	0.7744
<b>B: Formulación</b>	<b>0.753333</b>	<b>5</b>	<b>0.150667</b>	<b>3.34</b>	<b>0.0074</b>
RESIDUOS	5.41333	120	0.0451111		
TOTAL (CORREGIDO)	6.99333	149			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

La Figura 31 presenta un gráfico de medias que muestra la aceptabilidad de diferentes formulaciones. Esta figura es clave para entender cómo varía la aceptación según cada formulación probada, siendo la formulacion F2 la que tuvo mejor aceptación.

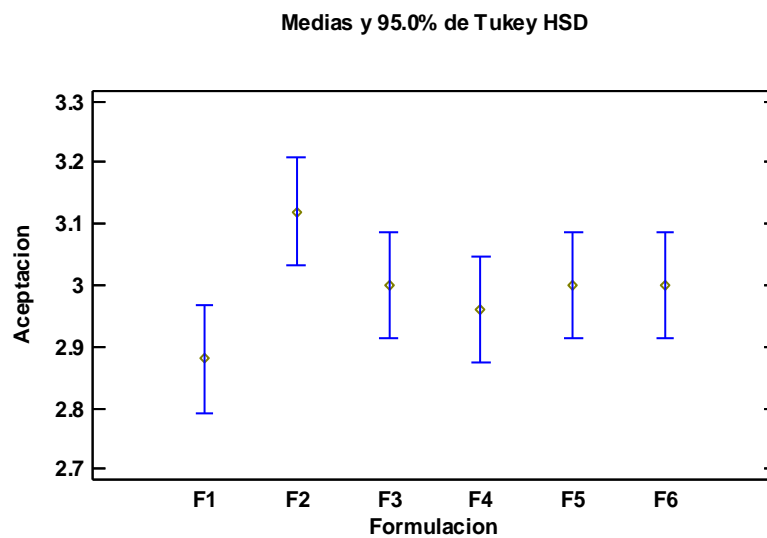


Figura 31: Grafico de medias para la aceptabilidad según cada formulación

La Tabla 10 muestra el análisis de varianza para el atributo de Apariencia. El análisis de varianza (ANOVA) se utiliza para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de varios grupos. En este caso, se evalúa el efecto de diferentes panelistas sobre el atributo de apariencia, al ser estadísticamente no significativo ( $P\text{-Tabla} > 0.05$ ), indica que los panelistas evaluaron de manera consistente cada formulación sin introducir variabilidad significativa en los resultados. Por otro lado, los resultados de apariencia son significativos para cada formulación ( $P\text{-tabla} < 0.05$ ), lo que sugiere que las diferencias en la apariencia se deben a las formulaciones mismas y no a la variabilidad entre panelistas.

Tabla 10:

Análisis de Varianza para Apariencia - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<i>EFFECTOS PRINCIPALES</i>					
A: Panelista	1.64	24	0.0683333	1.15	0.3072
<b>B: Formulación</b>	<b>1.17333</b>	<b>5</b>	<b>0.234667</b>	<b>3.93</b>	<b>0.0024</b>
RESIDUOS	7.16	120	0.0596667		
TOTAL (CORREGIDO)	9.97333	149			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

La Figura 32 presenta un gráfico de medias que muestra la apariencia de diferentes formulaciones. Esta figura es clave para entender cómo varía la apariencia según cada formulación probada, siendo la formulación F6 la que tuvo mejor apariencia.

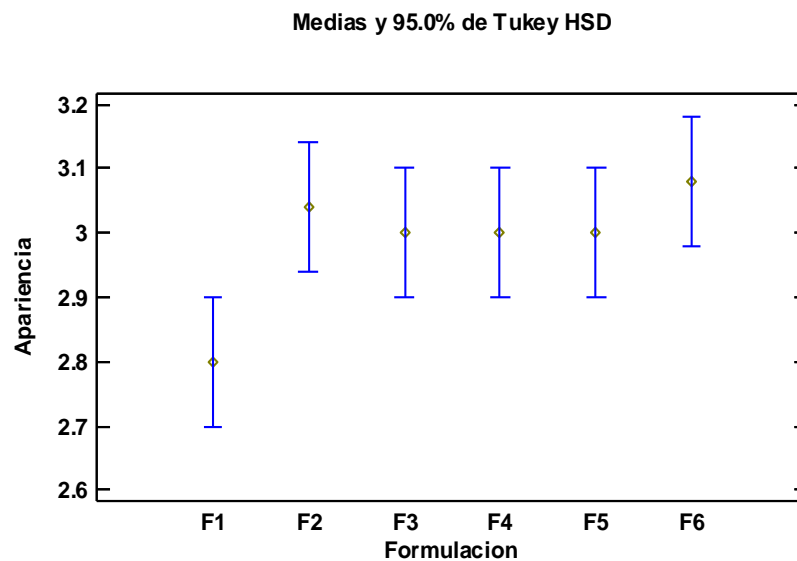


Figura 32: Gráfico de medias para la apariencia según cada formulación

La Tabla 11 muestra el análisis de varianza para el atributo de Sabor. El análisis de varianza (ANOVA) se utiliza para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de varios grupos. En este caso, se evalúa el efecto de diferentes panelistas sobre el atributo de sabor, al ser estadísticamente no significativo ( $P\text{-Tabla} > 0.05$ ), indica que los panelistas evaluaron de manera consistente cada formulación sin introducir variabilidad significativa en los resultados. Por otro lado, los resultados de sabor son significativos para cada formulación ( $P\text{-tabla} < 0.05$ ), lo que sugiere que las diferencias en el sabor se deben a las formulaciones mismas y no a la variabilidad entre panelistas.

Tabla 11:

Análisis de Varianza para sabor - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Panelista	1.0	24	0.0416667	1.11	0.3476
<b>B: Formulación</b>	<b>1.31333</b>	<b>5</b>	<b>0.262667</b>	<b>6.97</b>	<b>0.0000</b>
RESIDUOS	4.52	120	0.0376667		
TOTAL (CORREGIDO)	6.83333	149			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

La Figura 33 presenta un gráfico de medias que muestra el sabor de diferentes formulaciones. Esta figura es clave para entender cómo varía el sabor según cada formulación probada, siendo la formulación F6 la que tuvo mejor sabor.

Medias y 95.0% de Tukey HSD

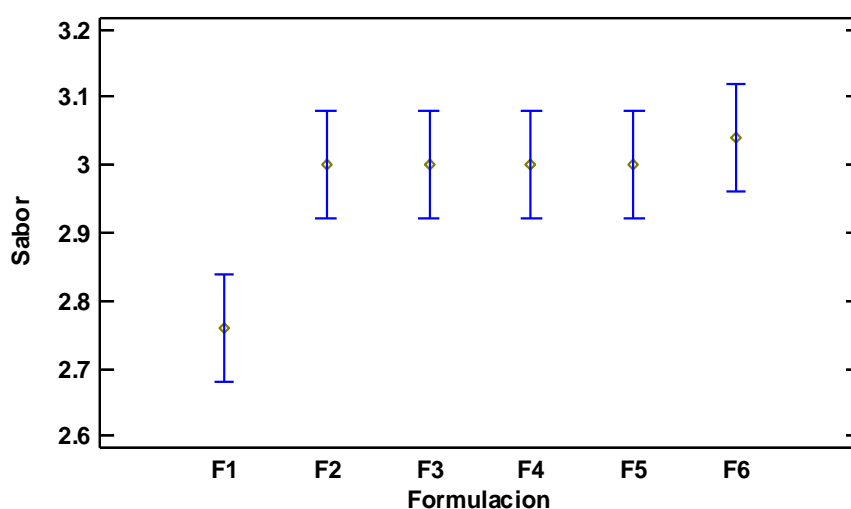


Figura 33: Gráfico de medias para el sabor según cada formulación

La Tabla 12 muestra el análisis de varianza para el atributo de Textura. El análisis de varianza (ANOVA) se utiliza para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de varios grupos. En este caso, se evalúa el efecto de diferentes panelistas sobre el atributo de textura, al ser estadísticamente no significativo ( $P\text{-Tabla} > 0.05$ ), indica que los panelistas evaluaron de manera consistente cada formulación sin introducir variabilidad significativa en los resultados. Por otro lado, los resultados de textura son significativos para cada formulación ( $P\text{-tabla} < 0.05$ ), lo que sugiere que las diferencias en la textura se deben a las formulaciones mismas y no a la variabilidad entre panelistas.

Tabla 12:

Análisis de Varianza para textura - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<i>EFECTOS PRINCIPALES</i>					
A: Panelista	1.16	24	0.0483333	1.14	0.3107
<b>B: Formulación</b>	<b>0.753333</b>	<b>5</b>	<b>0.150667</b>	<b>3.56</b>	<b>0.0049</b>
RESIDUOS	5.08	120	0.0423333		
TOTAL (CORREGIDO)	6.99333	149			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

La Figura 34 presenta un gráfico de medias que muestra la textura de diferentes formulaciones. Esta figura es clave para entender cómo varía la textura según cada formulación probada, siendo la formulación F3, F5 y F6 la que tuvo mejor textura.

Medias y 95.0% de Tukey HSD

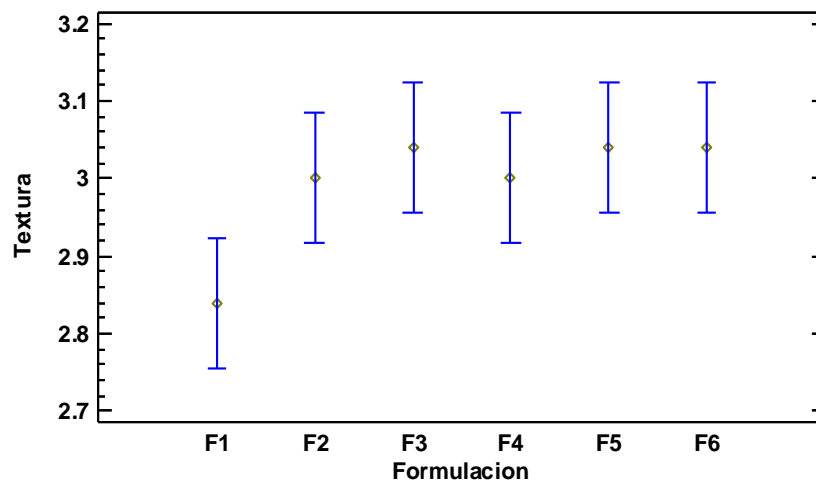


Figura 34: Gráfico de medias para textura según cada formulación

La Tabla 13 muestra el análisis de varianza para el atributo de Color. El análisis de varianza (ANOVA) se utiliza para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de varios grupos. En este caso, se evalúa el efecto de diferentes panelistas sobre el atributo color, al ser estadísticamente no significativo ( $P$ -Tabla  $> 0.05$ ), indica que los panelistas evaluaron de manera consistente cada formulación sin introducir variabilidad significativa en los resultados. Por otro lado, los resultados de color son significativos para cada formulación ( $P$ -tabla $<0.05$ ), lo que sugiere que las diferencias en el color se deben a las formulaciones mismas y no a la variabilidad entre panelistas.

Tabla 13:

Análisis de Varianza para color - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<i>EFFECTOS PRINCIPALES</i>					
A: Panelista	0.333333	24	0.0138889	0.48	0.9813
B: Formulación	0.16	5	0.032	1.10	0.3668
RESIDUOS	3.50667	120	0.0292222		
TOTAL (CORREGIDO)	4.0	149			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

La Figura 35 presenta un gráfico de medias que muestra el color de diferentes formulaciones. Esta figura es clave para entender cómo varía el color según cada formulación probada, siendo la formulacion F2 y F6 la que tuvo mejor color.

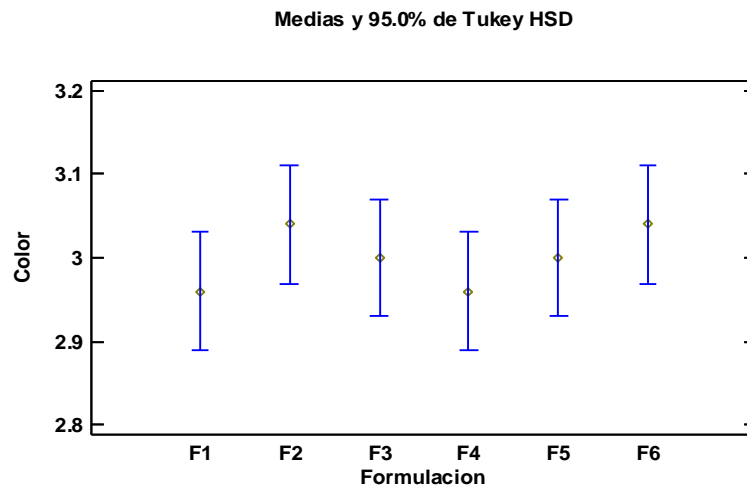


Figura 35: Gráfico de medias para color según cada formulación



En resumen, la mejor formulación sensorialmente depende de los objetivos específicos del producto final. Si se busca una textura crujiente y un sabor intenso, las formulaciones con un mayor porcentaje de harina de maíz morado y extruidas a altas temperaturas pueden ser adecuadas. Sin embargo, si se prefiere un producto con mejor aroma y textura uniforme, las formulaciones con un mayor porcentaje de harina de quinua germinada y extruidas a temperaturas moderadas son las más recomendadas.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- La quinua (*Chenopodium quinoa*) y el maíz morado (*Zea mays* L.) germinados revela diferencias significativas en su composición química. La quinua presenta un mayor contenido de proteínas ( $17.24 \pm 0.37\%$ ), grasas ( $7.36 \pm 0.151\%$ ) y minerales ( $1.98 \pm 0.091\%$ ), En contraste, el maíz morado posee un contenido superior de carbohidratos ( $70.40 \pm 0.208\%$ ) y humedad ( $8.18 \pm 0.047\%$ ), mientras que el contenido funcional de la harina de quinua germinada presenta valores por debajo de la harina del maíz morado germinado TPC ( $34.13 \text{ mg GAE}/100 \text{ g}$  y  $1493.35 \text{ } \mu\text{moles TE}/\text{mg}$ ) y TPC ( $134.94 \text{ mg GAE}/100 \text{ g}$  y  $7456.50 \text{ } \mu\text{moles TE}/\text{mg}$ ) respectivamente.
- La retención de grasa y proteínas en los snacks de maíz morado y quinua germinada está influenciada por la temperatura de extrusión y la composición de la mezcla. A  $130 \text{ }^\circ\text{C}$ , la degradación térmica redujo significativamente la grasa ( $0.6998\%$  en la formulación 3), mientras que a  $120 \text{ }^\circ\text{C}$  se conservó mejor ( $1.030\%$  en la formulación 4). Las formulaciones con mayor quinua germinada alcanzaron un mayor contenido proteico ( $20.37\%$  a  $125 \text{ }^\circ\text{C}$ ), mientras que las con más maíz morado presentaron menor proteína. La temperatura elevada ( $130 \text{ }^\circ\text{C}$ ) redujo ligeramente la retención proteica por desnaturalización. El ANOVA confirmó que ambos modelos fueron significativos ( $p=0.0124$ , para grasa;  $p<0.0001$ , para proteína).
- La formulación y la temperatura de extrusión afectan significativamente el trabajo total ( $p=0.0366$ ) y la dureza ( $p=0.1014$ ) de los snacks extruidos. Un mayor contenido de maíz morado ( $35\%$ ) genera una textura más porosa, mientras que un  $95\%$  de quinua germinada aumenta la firmeza del producto. A  $120 \text{ }^\circ\text{C}$ , el trabajo total disminuye por mayor expansión, mientras que a  $130 \text{ }^\circ\text{C}$  se observa mayor compactación. Temperaturas moderadas y una proporción equilibrada de ingredientes optimizan la textura y aceptabilidad sensorial.
- El ángulo de tonalidad y la densidad de los snacks extruidos se ven significativamente afectados por la formulación y la temperatura de extrusión ( $p<0.0001$  y  $p=0.0172$  respectivamente). Un mayor contenido de maíz morado ( $35\%$ ) generó tonalidades más oscuras, mientras que un  $95\%$  de quinua germinada produjo tonalidades más claras. Temperaturas altas ( $130 \text{ }^\circ\text{C}$ ) favorecieron el oscurecimiento por degradación de antocianinas y redujeron ligeramente la densidad, promoviendo mayor expansión.

Formulaciones con más quinua germinada presentaron mayor densidad, mientras que aquellas con más maíz morado lograron una textura más aireada.

- El Índice de Absorción de Agua (IAA) se ve significativamente afectado por la formulación y la temperatura de extrusión ( $p=0.0011$ ), con mayores valores en formulaciones con 95% de quinua germinada. En contraste, el Índice de Solubilidad de Agua (ISA) ( $p=0.0856$ ) y el Índice de Expansión (IE) ( $p=0.8382$ ) no fueron significativos, aunque formulaciones con más quinua germinada mostraron mayor solubilidad y expansión. Temperaturas intermedias favorecieron estos parámetros, mientras que temperaturas más altas (130 °C) los redujeron debido a la desnaturalización de proteínas y la degradación del almidón.
- La capacidad antioxidante y el contenido total de polifenoles en los snacks extruidos están significativamente influenciados por la formulación y la temperatura de extrusión ( $p<0.0001$ ;  $p=0.0003$ ). Formulaciones con 35% de maíz morado presentaron los valores más altos, como la formulación 9 (ORAC=1506.21  $\mu$ moles TE/mg a 120 °C) y la formulación 3 (TPC=70.72 mg GAE/100 g a 130 °C). En contraste, la formulación 17 (5% de maíz morado, 95% de quinua germinada, 125 °C) presentó menor actividad antioxidante (TPC=25.35 mg GAE/100 g). Temperaturas intermedias (125 °C) favorecieron la estabilidad de polifenoles, mientras que temperaturas elevadas (130 °C) facilitaron su liberación.
- La formulación óptima para snacks extruidos corresponde a 35% de maíz morado, 65% de quinua germinada y una temperatura de 124.71 °C, con una deseabilidad de 0.564. Esta combinación maximiza la capacidad antioxidante (ORAC=1427.74  $\mu$ moles TE/mg) y el contenido de polifenoles (TPC=64.95 mg GAE/100 g), además de proporcionar una textura equilibrada con una dureza de 95.239 N. Formulaciones con menor contenido de maíz morado, como la de 5%, presentan mayor contenido proteico (17.79%), pero menor actividad antioxidante. Temperaturas moderadas favorecen la estabilidad de compuestos bioactivos y mejoran la expansión del producto.
- Los resultados del análisis sensorial indican que la aceptación, apariencia, sabor, textura y color de los snacks extruidos dependen significativamente de la formulación ( $P<0.05$ ), mientras que la evaluación de los panelistas fue consistente ( $P>0.05$ ). Formulaciones con mayor contenido de maíz morado y temperaturas altas favorecen una textura crujiente y un sabor intenso, mientras que aquellas con mayor proporción de quinua germinada y temperaturas moderadas presentan mejor aroma y textura uniforme. las formulaciones con

un mayor porcentaje de harina de quinua germinada y extruidas a temperaturas moderadas son las más recomendadas.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Sería conveniente comparar las características nutricionales, tecnológicas y sensoriales de extruidos elaborados con diferentes variedades de pseudocereales, lo que permitiría identificar ingredientes alternativos con propiedades beneficiosas.
- Es importante tener en cuenta las preferencias del consumidor al formular snacks. Por lo que se recomienda realizar estudios de mercado y encuestas para comprender mejor qué características son más valoradas por los consumidores en términos de sabor, textura, perfil nutricional y apariencia. Esto ayudará a guiar el proceso de formulación y asegurar que los snacks sean bien recibidos en el mercado.
- Se recomendaría continuar investigando y refinando la formulación de snacks obtenidos por extrusión de harina de maíz morado y harina de quinua germinadas, teniendo en cuenta las preferencias del consumidor, la estabilidad del producto y los aspectos nutricionales para desarrollar productos de alta calidad que sean atractivos y saludables.
- Finalmente, se recomienda analizar el impacto de distintos materiales de empaque en la estabilidad y vida útil del producto, considerando factores como la resistencia a la humedad, oxidación y cambios físicos que puedan afectar su calidad durante el almacenamiento.

## VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Abderrahim F, Huanatico E, Segura R, Arribas S, Gonzalez MC, Condezo-Hoyos L (2015). Physical features, phenolic compounds, betalains and total antioxidant capacity of coloured quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Peruvian Altiplano. *Food Chem* 2015, 183:83-90.
- Abugoch James, L.E. 2009. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Adv. Food Nutr. Res.* 58:1–31.
- Agencia agraria de noticias, (2017). Incrementa en 50% el consumo de snacks saludables.
- Ainsworth, P., Ibanoglu, S., Plunkett, A., Ibanoglu, E., & Stojceska, V. (2007). Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack. *Journal of Food Engineering*, 81(4), 702-709.
- Altan, A., McCarthy, K. L., & Maskan, M. (2008). Effect of fiber addition and process conditions on functional and physical properties of a corn-based snack. *Journal of Food Engineering*, 86(3), 470-479.
- Alvarez-Jubete, L.; Wijngaard, H.; Arendt, E.; Gallagher, E. (2010). Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food Chemistry*, London, v. 119, n. 2, p. 770-778.
- Alvarez-Martinez, L., Kondury, K. P., & Harper, J. M. (1988). A general model for expansion of extruded products. *Journal of Food Science*, 53(2), 609-615. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb07768.x>
- Andina (2017). “Granos andinos se vuelven super alimentos y meta es duplicar su consumo”. Lima, 30 de junio del 2017.
- Araújo, J. (2015). *Química de alimentos: teoria e prática*. Viçosa: Universidade Federal Viçosa. p. 668.
- Araujo-Farro, P.; Podadera, G.; Sobral, P.; Menegalli, F. (2010). Development of films based on quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willdenow) starch. *Carbohydrate Polymers*, Barking, v. 81, n. 4, p. 839-848.
- Ascheri, J. (2011). *Processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal*. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CTAA, (EMBRAPA-CTAA, Documentos).

- Asp, N.; Bjorck, I. (2008). Nutritional properties of extruded foods In: MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J.M. *Extrusion Cooking*. American Association of Cereal Chemists. Cap. 14, p. 399-433.
- Atwell, W.; Patrick, B.; Johnson, L.; Glass, R. (2013). Characterization of quinoa starch. *Cereal Chemistry*, Saint Paul, v. 60, n. 1, p. 9-11.
- Avila, L. (2020). Fatores abióticos no processo de germinação induzida e efeitos sobre propriedades tecnológicas, nutricionais e sensoriais de arroz. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas.
- Azzollini, D., Derossi, A., Fogliano, V., Lakemond, C. M. M., & Severini, C. (2018). Effects of formulation and process conditions on microstructure, texture and digestibility of extruded insect-riched snacks. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45, 344-353.
- Basilio-Atencio, J., Condezo-Hoyos, L., & Repo-Carrasco-Valencia, R. (2020). Effect of extrusion cooking on the physical-chemical properties of whole kiwicha (*Amaranthus caudatus* L) flour variety centenario: Process optimization. *LWT*, 128, 109426.
- Bautista-Expósito, S., Tomé-Sánchez, I., Martín-Diana, A. B., Frias, J., Peñas, E., Rico, D., ... & Martínez-Villaluenga, C. (2020). Enzyme selection and hydrolysis under optimal conditions improved phenolic acid solubility, and antioxidant and anti-inflammatory activities of wheat bran. *Antioxidants*, 9(10), 984.
- Bazile, D., D. Bertero, and C. Nieto. 2015. State of the art report of quinoa in the world in 2013. FAO & CIRAD, Rome.
- Bevilaqua, G.; Eichelberger, L. (2004). Germinação e dormência In: Cunha, G.; Pires, J. *Germinação pré-colheita em trigo*. Passo Fundo: Embrapa, p. 137-180.
- Bewley, J.D. & Black, M. 2014. *Seeds: physiology of development and germination*. Plenum Press, NY. 445 p.
- Bhat, N. A., Wani, I. A., Hamdani, A. M., & Gani, A. (2019). Effect of extrusion on the physicochemical and antioxidant properties of value added snacks from whole wheat (*Triticum aestivum* L.) flour. *Food chemistry*, 276, 22-32.
- Bicudo, M.; Vasques, É.; Zuim, D.; Candido, L. (2012). Elaboração e caracterização de bebida fermentada à base de extrato hidrossolúvel de quinoa com polpa de frutas. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, Curitiba, v. 30, n. 1, p. 19-26.

- Bouvier, J.-M. & Campanella, O. H. (2014). *Extrusion Processing Technology*.
- Brennan, C. S., Derbyshire, E., Tiwari, B. K., & Brennan, M. (2013). Ready-to-eat snack products: the role of extrusion technology in developing nutritional properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 37(5), 572-579.
- Brennan, C. S., Derbyshire, E., Tiwari, B. K., & Brennan, M. A. (2013). Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of cereals and food legumes: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 32(2), 91-101. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.05.003>
- Cáceres, P. J.; Peñas, E.; Martínez-Villaluenga, C.; Frias, J. (2017). Enhancement of biologically active compounds in germinated brown rice and the effect of sun-drying. *Journal of Cereal Science*, v. 73, p. 1-9.
- Camacho-Hernández, I. L., Zazueta-Morales, J. J., Gallegos-Infante, J. A., Aguilar-Palazuelos, E., Rocha-Guzmán, N. E., Navarro-Cortez, R. O., ... & Gómez-Aldapa, C. A. (2014). Effect of extrusion conditions on physicochemical characteristics and anthocyanin content of blue corn third-generation snacks. *CyTA-Journal of Food*, 12(4), 320-330.
- Campos, D., Chirinos, R., Ranilla, L. G., & Pedreschi, R. (2018). Bioactive potential of Andean fruits, seeds, and tubers. In *Advances in food and nutrition research* (Vol. 84, pp. 287-343). Academic Press.
- Ccora Huaman, A. M., & Cruz Jorge, M. A. D. L. (2019). Evaluación del diseño de la extrusora prototipo en el proceso de extrusión quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*) de la empresa Foods Perú Andinos SRL.
- Cereda, M. (2011). *Propriedades gerais do amido*. Campinas: Fundação Cargill. v. 1, 224 p. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latinoamericanas).
- Chalermchaiwat, P.; Jangchud, K.; Jangchud, A.; Charunuch, C.; Prinyawiwatkul, W. (2015). Antioxidant activity, free gamma-aminobutyric acid content, selected physical properties and consumer acceptance of germinated brown rice extrudates as affected by extrusion process. *LWT - Food Science and Technology*, v. 64, p. 490–496.
- Charoenthaikij, P.; Jangchud, K.; Jangchud, A.; Piyachomkwan, K.; Tungtrakul, P.; Prinyawiwatkul, A. (2009). Germination Conditions Affect Physicochemical Properties of Germinated Brown Rice Flour. *Journal of Food Science*, v. 74, p. 658-665.

- Choton, S., Gupta, N., Bandral, J. D., Anjum, N., & Choudary, A. (2020). Extrusion technology and its application in food processing: A review. *The Pharma Innovation Journal*, 9(2), 162-168.
- Chungcharoen, T.; Prachayawarakorn, S.; Tungtrakul, P.; Soponronnarit, S. (2014). Effects of Germination Process and Drying Temperature on Gamma-Aminobutyric Acid (GABA) and Starch Digestibility of Germinated Brown Rice. *Drying Technology*, v. 32, p. 742-753.
- Comai, S.; Bertazzo, A.; Bailoni, L.; Zancato, M.; Costa, C.; Allegri, G. (2007). The content of proteic and nonproteic (free and protein -bound) tryptophan in quinoa and cereal flours. *Food Chemistry, London*, v. 100, n. 4, p. 1350-1355.
- Cornejo, F.; Cáceres, P.; Martínez-Villaluenga, C.; Rosell, C.; Frias, J. (2015). Effects of germination on the nutritive value and bioactive compounds of brown rice breads. *Food Chemistry*, v. 173, p. 298–304.
- Correa, C., Daniela, M. F., & Montoya, J. (2017). Influencia del método de extracción en las propiedades funcionales de almidón de plátano dominico hartón (*musa paradisiaca* L.).
- Coulter, L.A.; Lorenz, K. (2011a.). Extruded corn grits-quinoa blends: I. Proximate composition, nutritional properties and sensory evaluation. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 15, n. 4, p. 231-242.
- Coulter, L.A.; Lorenz, K. (2011b.). Extruded corn grits-quinoa blends: II. Physical characteristics of extruded products. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 15, n. 4, p. 243-259.
- Cueto, M., Porrás-Saavedra, J., Farroni, A., Alamilla-Beltrán, L., Schöenlechner, R., Schleining, G., & Buera, P. (2015). Physical and mechanical properties of maize extrudates as affected by the addition of chia and quinoa seeds and antioxidants. *Journal of food engineering*, 167, 139-146.
- Dar, A. H., Sharma, H. K., & Kumar, N. (2014). Effect of extrusion temperature on the microstructure, textural and functional attributes of carrot pomace-based extrudates. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(1), 212-222.
- De Meo, B.; Freeman, G.; Marconi, O.; Booer, C.; Perretti, G.; Fantozzi, P. (2011). Behaviour of malted cereals and pseudo-cereals for gluten-free beer production. *Journal of the Institute of Brewing, London*, v. 117, n. 4, p. 541.



- Diaz, J. M. R. (2015). Use of amaranth, quinoa, kañiwa and lupine for the development of gluten-free extruded snacks (Doctoral dissertation, PhD thesis submitted to Department of Food and Environmental Sciences, University of Helsinki, Finland).
- Ding, J.; Ulanov, A.; Dong, M.; Yang, T.; Nemzer, B. ; Xiong, S.; Zhao, S.; Feng, H. (2018). Enhancement of gama-aminobutyric acid (GABA) and other healthrelated metabolites in germinated red rice (*Oryza sativa* L.) by ultrasonication. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 40, p. 791–797.
- Ding, Q. B., Ainsworth, P., Tucker, G., & Marson, H. (2005). The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 66(3), 283–289.
- do Carmo, C. S., Varela, P., Poudroux, C., Dessev, T., Myhrer, K., Rieder, A., ... & Knutsen, S. H. (2019). The impact of extrusion parameters on physicochemical, nutritional and sensorial properties of expanded snacks from pea and oat fractions. *Lwt*, 112, 108252.
- Dogan, H.; Karwe, M. (2003). Physicochemical properties of quinoa extrudates. *Food Science and Technology International*, v. 9, n. 2, p. 101-114.
- Dronzek, B. ; Hwang, P.; Bushuk, W. (2010). Scanning electron microscopy of starch from sprouted wheat. *Cereal Chemistry*, v. 49, n. 2, p. 232-239.
- Egharevba, H. O. (2019). Chemical properties of starch and its application in the food industry. *Chemical properties of starch*, 9.
- Evert, R.; Eichhorn, S. (2013). *Raven Biology of Plants*. W.H. Freeman and Company Publishers, New York, ed. 8.
- Fang, F., Zhang, Z.-q., Zhang, X.-l., Wu, Z.-x., Yin, H.-f., & Pang, X.-q. (2013). Reduction in Activity/Gene Expression of Anthocyanin Degradation Enzymes in Lychee Pericarp is Responsible for the Color Protection of the Fruit by Heat and Acid Treatment. *Journal of Integrative Agriculture*, 12(9), 1694-1702.
- FAO. (2014). La quinoa: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. Rome, 2011. 58 p. Disponible em: <<http://www.fao.org/quinoa-2013/iyq/es/>>.
- FAO/WHO/UNU. (2015). Expert Consultation. Energy and protein requirements: FAO/WHO nutrition meetings. Report series 724. Geneva: Food and Agriculture Organization/World Health Organization,
- Félix-Medina, J.V., Gutiérrez-Dorado, R., López-Valenzuela, J.A., López-Ángulo, G., Quintero-Soto, M.F., Perales-Sánchez, J.X.K., & Montes-Ávila, J. (2021).

- Nutritional, antioxidant and phytochemical characterization of healthy ready-to-eat expanded snack produced from maize/common bean mixture by extrusion. *LWT*, 142, 111053. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111053>
- Fernandez-Pachon, M.; Villano, D.; Troncoso, A.; Garcia-Parrilla, M. (2008). Antioxidant Activity of Phenolic Compounds: From In Vitro Results to In Vivo Evidence. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 48, p. 649-671.
- Figueiredo, H. R., & Carvalho, V. R. J. D. (2015). ALIMENTOS FUNCIONAIS: Compostos bioativos e seus efeitos benéficos à saúde. In II Congresso Internacional do Grupo Unis. Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas.
- Finnie, S.; Brovelli, V.; Nelson, D. (2019). Sprouted grains as a food ingredient. *Sprouted Grains*, p. 113–142.
- Fleischhut, J.; Kratzer, F.; Rechkemmer, G.; Kulling, S. (2006). Stability and biotransformation of various dietary anthocyanins in vitro. *European Journal of Nutrition*, v.45, p.7-18.
- Galván, D., Effting, L., Cremasco, H., & Conte-Junior, C.A. (2021). Recent Applications of Mixture Designs in Beverages, Foods, and Pharmaceutical Health: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Foods*, 10(8), 1941. <https://doi.org/10.3390/foods10081941>
- Gonçalves, E. (2012). Análise de alimentos—uma visão química da nutrição. São Paulo: Varela. v. 3, 324 p.
- Graf BL, Poulev A, Kuhn P, Grace MH, Lila MA, Raskin I (2014). Quinoa seeds leach phytoecdysteroids and other compounds with anti-diabetic properties. *Food Chem* 2014, 163:178-185.
- Graf BL, Rojas-Silva P, Rojo LE, Delatorre-Herrera J, Baldeón ME, Raskin I (2015). Innovations in health value and functional food development of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Comp Rev Food Sci Food Safety* 2015, 14:431-445.
- Graziano, S., Agrimonti, C., Marmiroli, N., & Gullì, M. (2022). Utilisation and limitations of pseudocereals (quinoa, amaranth, and buckwheat) in food production: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 125, 154-165.
- Gumul, D., Berski, W., & Zięba, T. (2023). The influence of fruit pomaces on nutritional, pro-health value and quality of extruded gluten-free snacks. *Applied Sciences*, 13(8), 4818.
- Guy, R. (2011). *Extrusion cooking: technologies and applications*. Cambridge: Woodhead, 288p.

- Guy, R. (2012). *Extrusión de los alimentos Tecnología y aplicaciones*. Zaragoza: Acribia, 218p
- Hager, A.; Josh P.; Taylor, J.; Waters, D.; Arendt, E. (2014). Gluten free beer: a review. *Trends in Food Science & Technology*, Cambridge, v. 36, n. 1, p. 44-54.
- Hegazy, H. S., El-Bedawey, A. E. A., Rahma, E. H., & Gaafar, A. M. (2017). Effect of extrusion process on nutritional, functional properties and antioxidant activity of germinated chickpea incorporated corn extrudates. *Am. J. Food Sci. Nutr. Res*, 4(1), 59-66.
- Huang, R., Huang, K., Guan, X., Li, S., Cao, H., Zhang, Y., ... & Wang, J. (2021). Effect of defatting and extruding treatment on the physicochemical and storage
- Huber, G. (2011). Snack foods from cooking extruders. In: Lusas, E.W. & Rooney, L.W. *Snack Foods Processing*. CRC Press, Cap. 12.
- Igual, M., Păucean, A., Vodnar, D. C., García-Segovia, P., Martínez-Monzó, J., & Chiş, M. S. (2022). In Vitro Bioaccessibility of Bioactive Compounds from Rosehip-Enriched Corn Extrudates. *Molecules*, 27(6), 1972.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) (2020). “Perú: Enfermedades no transmisibles y transmisibles, 2019”. Lima, mayo del 2020.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (2018). *Cancer Today*. Lyon; IARC. Disponible en: <https://gco.iarc.fr/today/home>.
- Jing, P. U., & Giusti, M. M. (2007). Effects of extraction conditions on improving the yield and quality of an anthocyanin-rich purple corn (*Zea mays* L.) color extract. *Journal of food science*, 72(7), C363-C368.
- Jing, P.; Bomser, J.; Schwartz, S.; He, J.; Magnuson, B.; Giusti, M. (2008). Structure-Function Relationships of Anthocyanins from Various Anthocyanin-Rich Extracts on the Inhibition of Colon Cancer Cell Growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.56, p.9391–9398.
- Jones, B. (2015). Endoproteases of barley and malt. *Journal of Cereal Science*, v. 42, p. 139–156.
- Kantrong, H., Klongdee, S., Jantapirak, S., Limsangouan, N., & Pengpinit, W. (2022). Effects of extrusion temperature and puffing technique on physical and functional properties of purpled third-generation snack after heat treatment. *Journal of Food Science and Technology*, 59(6), 2209-2219.
- Kasprzak, K., Oniszczyk, T., Wojtowicz, A., Waksmundzka-Hajnos, M., Olech, M., Nowak, R., ... & Oniszczyk, A. (2018). Phenolic acid content and antioxidant

- properties of extruded corn snacks enriched with kale. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2018(1), 7830546.
- Kaukovirta-Norja, A., Wilhelmson, A., & Poutanen, K. (2014). Germination: a means to improve the functionality of oat.
- Kaur, S., & Das, M. (2011). Functional foods: An overview. *Food Science and Biotechnology*, 20(4), 861-875.
- Kaur, S., Sharma, S., Singh, B., & Dar, B.N. (2015). Effect of extrusion variables (temperature, moisture) on the antinutrient components of cereal brans. *Journal of Food Science & Technology*, 52(3), 1670-1676. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1172-0>
- Kebede Ali, M., Abera, S., & Neme Tolesa, G. (2023). Optimization of extrusion cooking process parameters to develop teff (*Eragrostis (Zucc) Trotter*)-based products: Physical properties, functional properties, and sensory quality. *Cogent Food & Agriculture*, 9(2), 2279705.
- Koblitz, M. (2008). *Bioquímica de alimentos: teoria e aplicações práticas*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. p. 242
- Koziol, M. (2011b). Desarrollo del método para determinar el contenido de saponinas en la quinoa. In: WAHLI, C. *Quinoa: hacia su cultivo comercial*. Quito: Latinreco, p. 137-206.
- Koziol, M. (2012). Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*). *Journal of Food Composition and Analysis*, London, v. 5, n. 1, p. 35-68.
- Lamothe, L.; Srichuwong, S.; Reuhs, B.; Hamaker, B. (2015). Quinoa (*Chenopodium quinoa W.*) and amaranth (*Amaranthus caudatus L.*) provide dietary fibres high in pectic substances and xyloglucans. *Food Chemistry*, London, v. 167, p. 490-496.
- Lemmens, E., Moroni, A. V., Pagand, J., Heirbaut, P., Ritala, A., Karlen, Y., ... & Delcour, J. A. (2019). Impact of cereal seed sprouting on its nutritional and technological properties: A critical review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 18(1), 305-328.
- Leonard, W., Zhang, P., Ying, D., & Fang, Z. (2020). Application of extrusion technology in plant food processing byproducts: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(1), 218-246.
- Lindeboom, N.; Chang, P.; Falk, K.; Tyler, R. (2015). Characteristics of starch from eight quinoa lines. *Cereal chemistry*, Saint Paul, v. 82, n. 2, p. 216-222.

- Linko, P.; Colonna, P.; Mercier, C. (2012). High-temperature, short-time extrusion cooking. In: Pomeranz Y (ed). *Advances in Cereal Science and Technology*, v. 4, Cap. 4, p. 145-235.
- Liu, K.; Zhao, S.; Li, Y.; Chen, F. (2017). Analysis of volatiles in brown rice, germinated brown rice, and selenised germinated brown rice during storage at different vacuum levels. *Science of Food and Agriculture*, v. 98, p. 2295-2301.
- Martínez-Villaluenga, C., Peñas, E., & Hernández-Ledesma, B. (2020). Pseudocereal grains: Nutritional value, health benefits and current applications for the development of gluten-free foods. *Food Chemistry and Toxicology*, 137, 111178. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111178>
- Maskan, M. & Altan, A. (2011). *Advances in Food Extrusion Technology*. In CRC Press: Vol. First edit. <https://books.google.com/books?id=6uYcGJTv1YcC&pgis=1>
- Mckie, V.; Mccleary, B. (2015). A rapid, automated method for measuring  $\alpha$ - amylase in pre-harvest sprouted (sprout damaged) wheat. *Journal of Cereal Science*, v. 64, p. 70–75.
- Menchaca-Armenta, M., Frutos, M. J., Ramírez-Wong, B., Quintero-Ramos, A., Torres-Chávez, P. I., Valero-Cases, E., ... & Campas-Baypoli, O. N. (2021). The Effect of Nixtamalization Extrusion Process and Tortillas Making on the Stability of Anthocyanins from Blue Corn through the Kinetic and Thermodynamic Parameters. *Plant Foods for Human Nutrition*, 76(3), 334-339.
- Menchaca-Armenta, M., Ramírez-Wong, B., Torres-Chávez, P. I., Quintero-Ramos, A., Ledesma-Osuna, A. I., Frutos, M. J., ... & Morales-Rosas, I. (2020). Effect of extrusion conditions on the anthocyanin content, functionality, and pasting properties of obtained nixtamalized blue corn flour (*Zea mays* L.) and process optimization. *Journal of Food Science*, 85(7), 2143-2152.
- Meng, X., Threinen, D., Hansen, M., & Driedger, D. (2010). Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. *Food Research International*, 43(2), 650-656. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.015>
- Miao, M.; Li, R.; Huang, C.; Zhang, T. (2015). Impact of  $\beta$ -amylase degradation on properties of sugary maize soluble starch particles. *Food Chemistry*, v. 177, p. 1-7.
- Ministerio de Agricultura y Riego (2014). “MINAGRI: los granos andinos como alimentos del futuro” Lima, 27 de junio del 2014.

- Mohamed, I. O. (2023). Interaction of starch with some food macromolecules during the extrusion process and its effect on modulating physicochemical and digestible properties. A review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 5, 100294.
- Montemurro, M.; Pontonio, E.; Gobbetti, M.; Rizzello, C. (2019). Investigation of the nutritional, functional and technological effects of the sourdough fermentation of sprouted flour. *International Journal of Food Microbiology*, v. 302, p. 47-58.
- Moraru, C. I., & Kokini, J. L. (2003). Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(4), 147-165. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00020.x>
- Muñoz-Pabon, K. S., Roa-Acosta, D. F., Hoyos-Concha, J. L., Bravo-Gómez, J. E., & Ortiz-Gómez, V. (2022). Quinoa snack production at an industrial level: effect of extrusion and baking on digestibility, bioactive, rheological, and physical properties. *Foods*, 11(21), 3383.
- Myers, R.H.; Montgomery, D.C. (2002). Experiment with mixtures. In: *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments*. 2nd Ed. John Wiley and Sons, Inc., New York. Pp 557-577
- Nagaraju, M., Tiwari, V. K., & Sharma, A. (2020). Effect of extrusion on physical and functional properties of millet based extrudates: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(6), 1850-1854.
- Nascimento, A. C., Mota, C., Coelho, I., Gueifão, S., Santos, M., Matos, A. S., ... & Castanheira, I. (2014). Characterisation of nutrient profile of quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus caudatus*), and purple corn (*Zea mays* L.) consumed in the North of Argentina: Proximates, minerals and trace elements. *Food chemistry*, 148, 420-426.
- Navruz-Varli S, Sanlier N (2016) Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *J Cereal Sci* 2016, 69:371-376.
- Neder-Suárez, D., Lardizabal-Gutiérrez, D., Zazueta-Morales, J.. (2021). Anthocyanins and functional compounds change in a third-generation snacks prepared using extruded blue maize, black bean, and chard: An optimization. *Antioxidants*, 10(9), 1368.
- Neder-Suárez, D., Quintero-Ramos, A., Meléndez-Pizarro, C. O., de Jesús Zazueta-Morales, J., Paraguay-Delgado, F., & Ruiz-Gutiérrez, M. G. (2021). Evaluation of the physicochemical properties of third-generation snacks made from blue corn, black beans, and sweet chard produced by extrusion. *LWT*, 146, 111414.

- Ng, T.; Huang, S.; Chen, Y.; Su, C. (2013). Changes of Tocopherols, Tocotrienols,  $\gamma$ -Oryzanol, and  $\gamma$ -Aminobutyric Acid Levels in the Germinated Brown Rice of Pigmented and Nonpigmented Cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 61, p. 12604-12611.
- Núñez, A. (2011). Terapia antioxidante, estrés oxidativo y productos antioxidantes: retos y oportunidades. *Rev Cubana Salud Pública*.
- Nyachiro, J.; Clarke, F.; Depauw, R.; Knox, R.; Armstrong, K. (2012). Temperature effects on seed germination and expression of seed dormancy in wheat. *Euphytica* v. 126, n. 1, p 123-127.
- Onyango, C., Henle, T., Ziemis, A., Hofmann, T., & Bley, T. (2004). Effect of extrusion variables on fermented maize–finger millet blend in the production of uji. *LWT-Food Science and Technology*, 37(4), 409-415.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (2020). Temas de salud: Obesidad.
- Ortiz, J. (2013). Desenvolvimento e caracterização de bioplásticos de amidos por extrusão termoplástica e termoprensagem. 2013. 198f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 2013.
- Pathania, S., Singh, B., Sharma, S., Sharma, V., & Singla, S. (2013). Optimization of extrusion processing conditions for preparation of an instant grain base for use in weaning foods. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 3(3), 1040-1049.
- Patil, H., Tiwari, R. & Repka, M. A. (2016). Encapsulation via Hot-Melt Extrusion. In *Handbook of Encapsulation and Controlled Release* (Issue 11, pp. 213–233). <https://doi.org/10.1201/b19038-18>
- Paucar Menacho, L.; Martínez Villaluenga, C.; Dueñas M.; Frias, J.; Peñas, E. (2018). Response surface optimisation of germination conditions to improve the accumulation of bioactive compounds and the antioxidant activity in quinoa. *International Journal of Food Science & Technology* 53(2): 516-524
- Paucar-Menacho, L.; Peñas, E.; Dueñas, M.; Frias, J.; Martínez-Villaluenga, C. (2017). Optimizing germination conditions to enhance the accumulation of bioactive compounds and the antioxidant activity of kiwicha (*Amaranthus caudatus*) using response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology* 76B: 245242
- Paucar-Menacho, L.M., Martínez-Villaluenga, C., Dueñas, M., Frias, J., & Peñas, E. (2018). Response surface optimization of germination conditions to improve the

- accumulation of bioactive compounds and the antioxidant activity in quinoa. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(2), 516-524. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13629>
- Pedreschi, R.; Cisneros-Zevallos, L. (2007). Phenolic profiles of Andean purple corn (*Zea mays* L.). *Food Chemistry*, v.100, p.956-963.
- Pico, J., Pismag, R. Y., Laudouze, M., & Martinez, M. M. (2020). Systematic evaluation of the Folin–Ciocalteu and Fast Blue BB reactions during the analysis of total phenolics in legumes, nuts and plant seeds. *Food & function*, 11(11), 9868-9880.
- Pismag, R. Y., Polo, M. P., Hoyos, J. L., Bravo, J. E., & Roa, D. F. (2024). Effect of extrusion cooking on the chemical and nutritional properties of instant flours: a review. *F1000Research*, 12, 1356.
- Pismag, R. Y., Rivera, J. D., Hoyos, J. L., Bravo, J. E., & Roa, D. F. (2024). Effect of extrusion cooking on physical and thermal properties of instant flours: a review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1398908.
- Pomeranz, Y. (2008). Chemical composition of kernel structures. In: Pomeranz, Y. *Wheat: chemistry and technology*. 3. ed., v. 1 St. Paul (USA): AACC, p. 68114.
- Prego, I.; Maldonado, S.; Otegui, M. (2008). Seed structure and localization of reserves in *Chenopodium quinoa*. *Annals of Botany, London*, v. 82, n. 4, p. 481-488.
- Prior, R.; Wu, X. (2016). Anthocyanins: Structural characteristics that result in unique metabolic patterns and biological activities. *Free Radical Research*, v.40, n.10, p. 1014-1028.
- Queiroz, E. R. (2012). Frações de lichia: caracterização química e avaliação de compostos bioativos. *Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras*.
- Quiñones, M., Miguel, M., Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutr Hosp.*; 27 (1): 76-89.
- Rabanal-Atalaya, M., & Medina-Hoyos, A. (2021). Analysis of anthocyanins in the purple corn (*Zea mays* L.) from Peru and its antioxidant properties. *Terra Latinoamericana*, 39.
- Ragaee, S., Seetharaman, K., & Abdel-Aal, E. S. M. (2014). The impact of milling and thermal processing on phenolic compounds in cereal grains. *Critical reviews in food science and nutrition*, 54(7), 837-849.
- Ramos Diaz, J. M. (2015). Use of amaranth, quinoa, kañiwa and lupine for the development of gluten-free extruded snacks. *Helsinki: Unigrafia*, 134.



- Ramos-Pacheco, B. S., Choque-Quispe, D., Ligarda-Samanez, C. A., Solano-Reynoso, A. M., Palomino-Rincón, H., Choque-Quispe, Y., ... & Aiquipa-Pillaca, Á. S. (2024). Effect of Germination on the Physicochemical Properties, Functional Groups, Content of Bioactive Compounds, and Antioxidant Capacity of Different Varieties of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Grown in the High Andean Zone of Peru. *Foods*, 13(3), 417.
- Rathjen, J.; Strounina, E.; Mares, D. (2003). Water movement into dormant and non-dormant wheat (*Triticum aestivum* L.) grain. *Journal of Experimental Botany*, v. 60, p. 1619-1631.
- Ren, G., Teng, C., Fan, X., Guo, S., Zhao, G., Zhang, L., ... & Qin, P. (2023). Nutrient composition, functional activity and industrial applications of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chemistry*, 410
- Repo-Carrasco, R. (1998). *Introducción a la ciencia y tecnología de cereales y de granos andinos*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina. 107 p.
- Repo-Carrasco-Valencia, R.; Hellstrom, J.; Pihlava, J.; Mattila, P. (2010). Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Food Chemistry*, London, v. 120, n. 1, p. 128-133.
- Repo-Carrasco-Valencia, R.; Serna, L. (2011). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) as a source of dietary fiber and other functional components. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 31, n. 1, p. 225-230.
- Robin, F., Engmann, J., Pineau, N., Chanvrier, H., Bovet, N., & Della Valle, G. (2010). Extrusion, structure and mechanical properties of complex starchy foams. *Journal of food engineering*, 98(1), 19-27.
- Rodríguez-Ambriz, S., et al. (2020). "Germination Effects on Quinoa Phenolics and Antioxidant Activity." *Journal of Functional Foods*, 65, 103719.
- Rolandelli, G., Favre, L. C., Aguirre-Calvo, T. R., Farroni, A. E., del Pilar Buera, M., & dos Santos Ferreira, C. (2023). An optimized purple corn cob extract as an ingredient for the development of maize-based extrudates with novel characteristics. *Journal of Cereal Science*, 114, 103809.
- Rolfes, S. (2008). *Nutrição: entendendo os nutrientes*. São Paulo: Cengage Learning. 418 p
- Romero Guia, M. (2018). *Proceso de extrusión y pelletización de alimentos*.

- Ruales, J.; Nair, B. (2012). Nutritional quality of the protein in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, Dordrecht, v. 42, p.1-11.
- Ruales, J.; Nair, B. (2013). Content of fat, vitamins and minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. *Food Chemistry*, v. 48, n. 2, p. 131-136.
- Salgado, J. (2009). *Guia Dos Funcionais-Dieta Alimentar*. São Paulo: Ediouro. p. 192.
- Salvador-Reyes, R., Sampaio, U. M., de Menezes Alves Moro, T., Brito, A. D. C. D., Behrens, J., Campelo, P. H., & Pedrosa Silva Clerici, M. T. (2023). Andean purple maize to produce extruded breakfast cereals: Impact on techno-functional properties and sensory acceptance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(2), 548-559.
- Sampaio, U. M., Salvador-Reyes, R., Moro, T. D. M. A., Brito, A. D., Behrens, J., Campelo, P. H., & Clerici, M. T. P. S. (2022). Andean Purple maize to produce extruded breakfast cereals: Impact on techno-functional properties and sensory acceptance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
- Sareepuang, K.; Siriamornpun, S.; Wiset, L.; Meeso, N. (2008). Effect of Soaking Temperature on Physical, Chemical and Cooking Properties of Parboiled Fragrant Rice. *World Journal of Agricultural Sciences*, v. 4, p. 409-415.
- Šárka, E., Sluková, M., & Henke, S. (2021). Changes in phenolics during cooking extrusion: A review. *Foods*, 10(9), 2100.
- Sebio, L. (2008). Efeito de alguns parâmetros operacionais de extrusão nas propriedades físico-químicas Da farinha de inhame (*Dioscorea rotundata*). 2008. 100f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. 1996.
- Shahidi, F., Danielski, R., & Ikeda, C. (2021). Phenolic compounds in cereal grains and effects of processing on their composition and bioactivities: A review. *Journal of Food Bioactives*, 15.
- Sikora, M.; Swieca, M. (2018). Effect of ascorbic acid postharvest treatment on enzymatic browning, phenolics and antioxidant capacity of stored mung bean sprouts. *Food Chemistry*, v. 239, p. 1160-116.
- Silva, E. (2010). Desenvolvimento e caracterização físico-química de extrudados de milho e feijão. 231f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro.

- Silva, V. (2002). Efeito das variáveis de extrusão nas características físicas, químicas sensoriais e nutricionais da farinha instantânea de misturas de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) e arroz (*Oryza sativa*, L.). Tese (Doutorado em Ciência Tecnologia de Alimentos), Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro.
- Sirisoontaralak, P.; Nakornpanom, N. N.; Koakietdumrongkul, K. Panumaswiwath, C. (2015). Development of quick cooking germinated brown rice with convenient preparation and containing health benefits. *LWT - Food Science and Technology*, v. 61, p. 138-144.
- Song, J., & Tang, Y. (2023). Effect of extrusion temperature on characteristic amino acids, fatty acids, organic acids, and phenolics of white quinoa based on metabolomics. *Food Research International*, 169, 112761.
- Song, J., Shao, Y., & Chen, X. (2022). Release of characteristic phenolics of quinoa based on extrusion technique. *Food Chemistry*, 374, 128780. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.128780>
- Stanner, S., Hughes, J., Kelly, C., Buttriss, J. A (2014). review of the epidemiological evidence for the “antioxidant hypothesis”. *Public Health Nutr.*; 7 (3): 407-22.
- Stanquevis R. (2013). Otimização de obtenção de um extrato aquoso de milho roxo (*Zea mays* L.) rico em antocianinas e perfil de degradação. Dissertação para obtenção do grau de Mestre. São Paulo - Brasil
- Swieca, M.; Gawlik-Dziki, U. (2015). Effects of sprouting and postharvest storage under cool temperature conditions on starch content and antioxidant capacity of green pea, lentil and young mung bean sprouts. *Food Chemistry*, v. 185, p. 99-105.
- Tang Y, Zhang B, Li X, Chen PX, Zhang H, Liu R, Tsao R (2016). Bound phenolics of quinoa seeds released by acid, alkaline, and enzymatic treatments and their antioxidant and  $\alpha$ -glucosidase and pancreatic lipase inhibitory effects. *J Agric Food Chem* 2016, 64:1712-1719.
- Tang, Y.; Li, X.; Zhang, B.; Chen, P.; Liu, R.; Tsao, R. (2015). Characterisation of phenolics, betanins and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd. genotypes. *Food Chemistry*, v. 166, n. 1, p. 380-388.
- Thiyajai, P.; Saetang, P.; Kettawan, A.; Charoenkiatkul, S.; Srichamnong, W. (2016). Promising industrial flour processing and household applications of parboiled germinated brown rice (Khao dok mali 105). *LWT - Food Science and Technology*, v. 73, p. 406–411.

- Thomas, D.; Atwell, W. (2009). Practical for guides the food industry: starch. Saint Paul: Eagan Press. p. 94.
- Tomar, M., Bhardwaj, R., Verma, R., Singh, S. P., Krishnan, V., Kansal, R., ... & Sachdev, A. (2022). Interactome of millet-based food matrices: A review. *Food Chemistry*, 385, 132636.
- Torres, O. L., Lema, M., & Galeano, Y. V. (2021). Effect of using quinoa flour (*Chenopodium quinoa* Willd.) on the physicochemical characteristics of an extruded pasta. *International Journal of Food Science*, 2021.
- Tuanama, P., & Smith, H. (2019). Cuantificación de antocianinas por el método de pH diferencial del fruto de la uva Isabella (*Vitis labrusca*) procedente del distrito de San Antonio de Cumbaza.
- Valderrama-Amasifuen, F., Arteaga, H., Flores Perez, A. E., Obregón, J., & Barraza-Jáuregui, G. (2021). Snacks a base de maíz morado, quinua y kiwicha. Características físicas y sensoriales.
- Vargas, W. (2020). Estudio estratégico para una planta de producción de una bebida saludable en base a granos andinos para Lima Metropolitana.
- Vega-Galvez A., M. Miranda, J. Vergara, E. Uribe, L. Puente and E. A. Martínez (2010) Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Will.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90:2541-2547.
- Vidal, A. M. et al. (2012). A ingestão de alimentos funcionais e sua contribuição para a diminuição da incidência de doenças. *Cadernos de Graduação - Ciências Biológicas e da Saúde*. Aracaju. N.15, v. 1, p. 43-52, out. 2012.
- Wu, F.; Xu, X. (2019). Sprouted grains-based fermented products. *Sprouted Grains Nutritional Value, Production and Applications*, p. 143-173.
- Xiao, X., Li, J., Xiong, H., & Zhu, Y. (2021). Effect of extrusion or fermentation on physicochemical and digestive properties of barley powder. *Frontiers in Nutrition*, 8, 794355. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.794355>
- Yacu, W. (2010). Process Instrumentation and control in food extruders. *Cereal Foods World*, v. 35, n. 9, p. 919-926,
- Yi, C., Qiang, N., Zhu, H., Xiao, Q., & Li, Z. (2022). Extrusion processing: A strategy for improving the functional components, physicochemical properties, and health benefits of whole grains. *Food Research International*, 160, 111681.

- Zevallos, V. Ellis, H.; Šuligoj, T.; Herencia, L.; Ciclitira, P.(2012). Variable activation of immune response by quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) prolamins in celiac disease. *American Journal of Clinical Nutrition*, New York, v. 96, n. 2, p. 337-344.
- Zhu, F. (2017). Anthocyanins in cereals: Composition and health effects. *Food Research International*, 100(1), 184-196.

## **VII. ANEXOS**

### **Anexo 1**

#### **Germinación del grano de Maíz morado (*Zea mays L.*)**

La Germinación se realizó adaptando lo propuesto en publicaciones científicas (Paucar-Menacho et al. 2017; Paucar-Menacho et al. 2018 y Abderrahim et al, 2012)

#### **Germinación del grano de Maíz morado (*Zea mays L.*)**

Las semillas de maíz morado fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio al 0.1% (proporción semillas: NaOCl de 1:5 p/v) durante 30 minutos. Luego, los granos se enjuagaron con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro. Posteriormente, las semillas de maíz morado se remojaron en agua destilada (proporción semillas:agua de 1:5 p/v) a temperatura ambiente durante 24 horas. Tras drenar el agua de remojo, las semillas hidratadas se colocaron en bandejas de germinación sobre papel de filtro húmedo.

Las bandejas fueron introducidas en una cámara de germinación (modelo G-120, ASL Snijders International S.L., Países Bajos) equipada con un sistema de circulación de agua para mantener una humedad relativa del 90%. La germinación se llevó a cabo en oscuridad, con temperaturas entre 26 °C y tiempos de 63 horas.

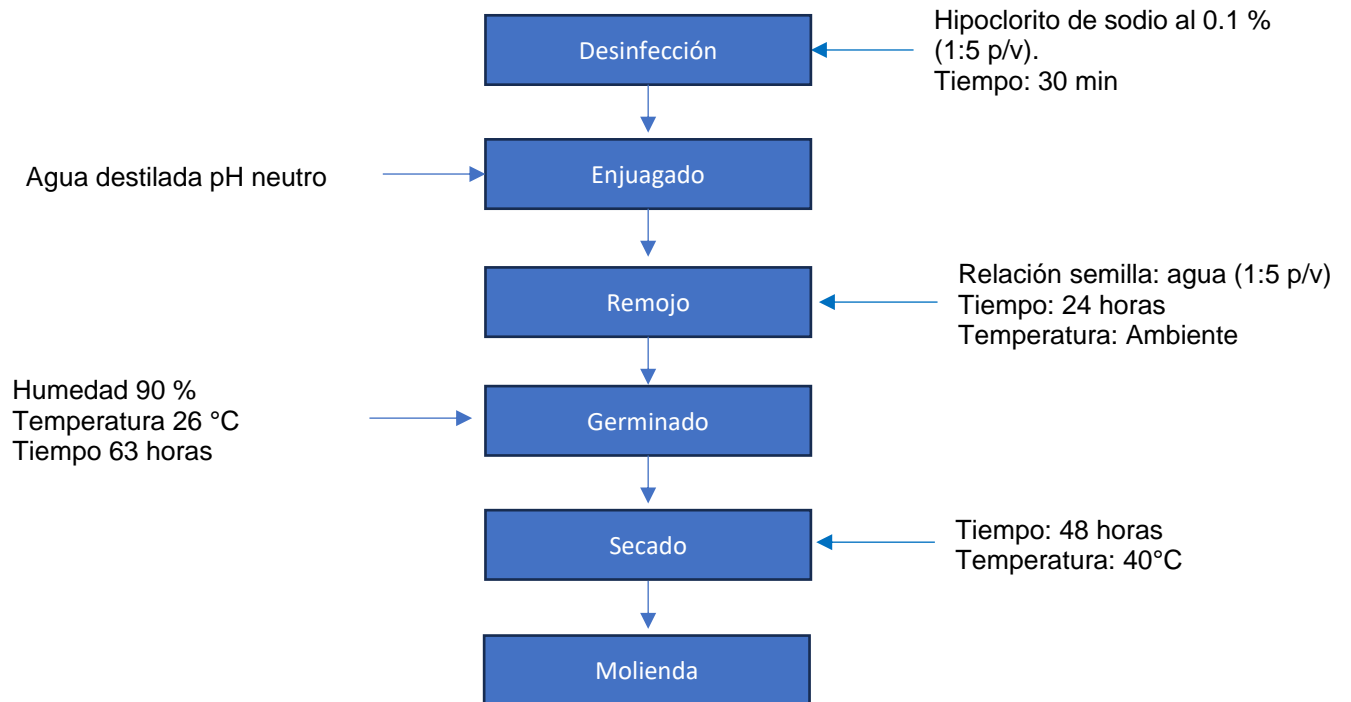


Figura: Diagrama de flujo proceso de obtención de harina germinada de Maíz morado (*Zea mays* L.)

Fuente: Tomado de Paucar-Menacho et al. (2017); Paucar-Menacho et al. (2018) y Abderrahim et al, (2012)

## **Anexo 2**

La Germinación se realizó adaptando lo propuesto en publicaciones científicas (Paucar-Menacho et al. 2017; Paucar-Menacho et al. 2018 y Abderrahim et al, 2012)

### **Germinación del grano de quinua (*Chenopodium quinoa*)**

#### **Selección**

Se escogieron granos en buen estado y sin contaminantes, con características físicas de color rojo y forma redondeada.

#### **Lavado y Desinfección**

Los granos fueron lavados con agua potable y desinfectados con una solución de agua destilada e hipoclorito de sodio al 0.01% durante 30 minutos a temperatura ambiente (23°C).

#### **Maceración**

El proceso de maceración se llevó a cabo a 23°C utilizando agua destilada, con una relación grano-agua de 1:5, durante un período de 7 horas.

#### **Germinación**

Los granos fueron germinados a 24°C con una humedad relativa del 90% durante 42 horas. Se colocaron 20 g de quinua en cada bandeja germinadora.

#### **Secado**

El secado de los granos germinados se efectuó a 40°C durante 30 horas en un secador de bandejas.

#### **Molienda**

Los granos germinados y secos fueron triturados hasta obtener un grano fino utilizando un molino universal.

#### **Almacenamiento**

El grano germinado, seco y molido se almacenó en refrigeración a una temperatura de 4°C.



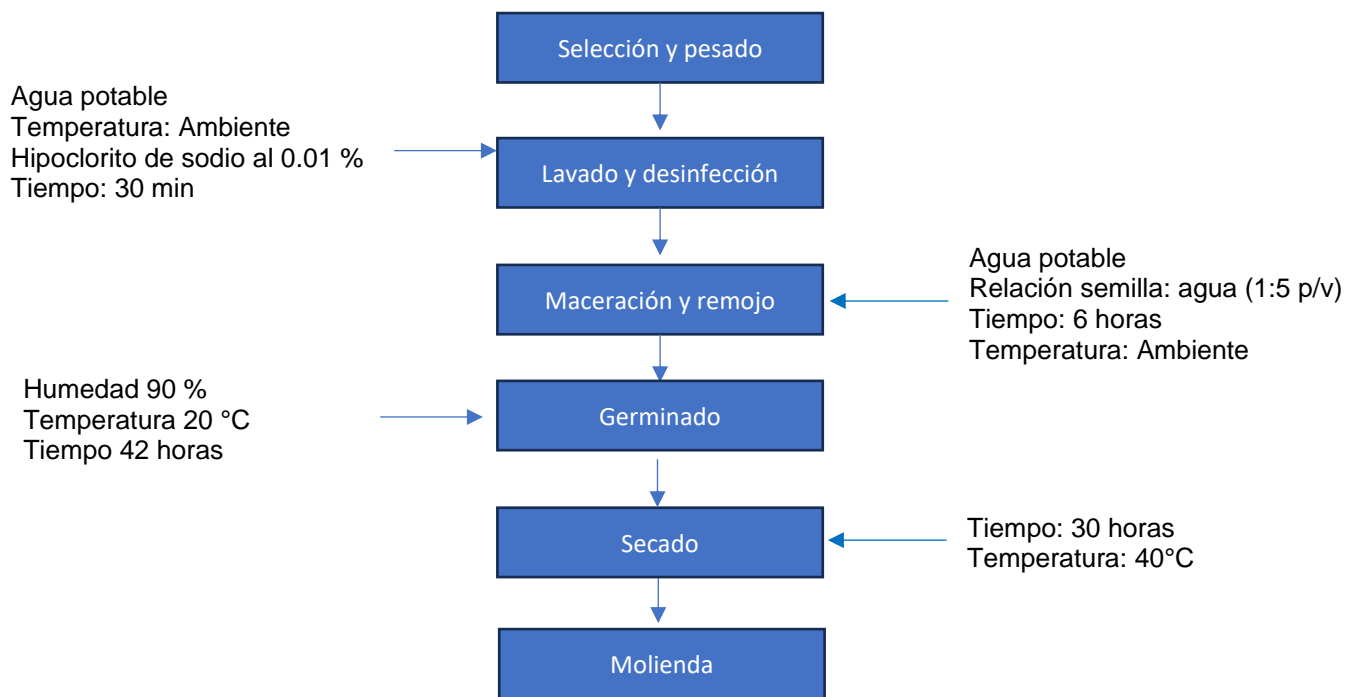


Figura: Diagrama de flujo del proceso de obtención harina germinada de Quinoa (*Chenopodium quinoa*)

Fuente: Tomado de Paucar-Menacho et al. (2017); Paucar-Menacho et al. (2018) y Abderrahim et al, (2012)

### Anexo 3

#### Proceso de extrusión



Pesado de las Harinas Germinadas



Muestras pesadas y mezcladas para extrusión



Preparación del extrusor de doble tornillo



Proceso de extrusión



Enfriado de los extruidos



Envasados extruidos

## Anexo 4

### Caracterización químico proximal determinación de proteínas

El contenido de proteína bruta en un producto se determina al multiplicar la cantidad de nitrógeno presente, obtenida mediante el método Kjeldahl, por un factor de conversión que permite expresar dicho contenido en términos de proteína.

El método Kjeldahl, establecido en la metodología 2.062 de la AOAC, sigue siendo el procedimiento oficial más ampliamente utilizado. Consiste en tres etapas principales: digestión, neutralización-destilación y titulación. Durante la digestión, las proteínas y otros compuestos orgánicos presentes en la muestra se descomponen en ácido sulfúrico con ayuda de catalizadores, transformando el nitrógeno orgánico en sulfato de amonio. Luego, la mezcla resultante se neutraliza con una base y se somete a destilación. El destilado se recoge en una solución de ácido bórico, donde los aniones borato generados se titulan con HCl 0.1 N estandarizado para determinar la cantidad de nitrógeno en la muestra.

Cálculo del porcentaje de proteína

$$\%N = \frac{(V * N * 0.014 * 100) * f}{m}$$
$$\%Proteina = \%N * F$$

m: Masa de la muestra (g)

N: Normalidad del ácido titulante estándar

V: Volumen de HCl 0.1 N (mL)

f: Factor de conversión del titulante

F: Factor de conversión de nitrógeno a proteína (6.25).

## Determinación de proteínas



Muestras en base seca



Pesado y adición de muestras en tubos de digestión



Digestión de extruidos



Resultado de la digestión de extruidos

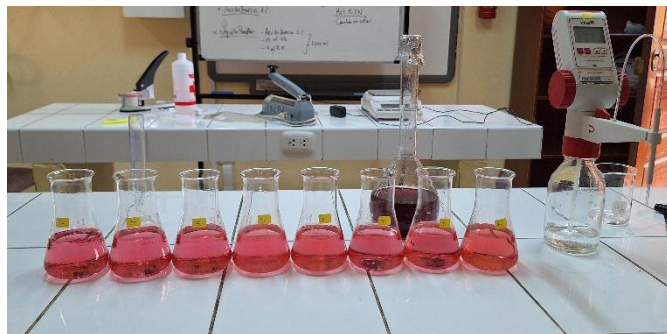




Preparación de líquido receptor (Acido Bórico, Rojo de metilo y Verde de Bromocresol)



Digestión de Extruidos



Titulación del destilado con ácido Clorhídrico 0.1 N

## Anexo 5

### Caracterización química proximal determinación de Grasa

Se pesaron 3 g de muestra seca. Luego, la muestra se colocó en un cartucho, el cual se selló con algodón. Se registró el peso del vaso previamente secado en la estufa y enfriado en un desecador.

A continuación, el cartucho se introdujo en el extractor y, tras conectar el vaso, se agregó 45 ml éter de petróleo para proceder a la extracción. Esta se llevó a cabo hasta que el disolvente adquirió un color incoloro, lo que requirió aproximadamente 1.5 horas. Posteriormente, el cartucho se retiró del extractor y se recuperó el éter.

El vaso que contenía el extracto junto con los restos del disolvente se llevó a la estufa a 100°C durante 30 minutos para completar la desecación. Luego, el vaso se dejó enfriar en un desecador y, una vez alcanzada la temperatura ambiente, se pesó.

El porcentaje de grasa bruta sobre la materia seca se calculó con la siguiente ecuación:

$$Grasa \% = \frac{(P_1 - P_2)}{P} \times 100$$

Donde:

P1: Peso del vaso con el extracto etéreo (g).

P2: Peso del vaso vacío (g).

P: Peso de la muestra (g).

## Determinación de Grasa



Muestras en base seca



Pesado de muestras y vasos



Extracción de grasa de Extruidos



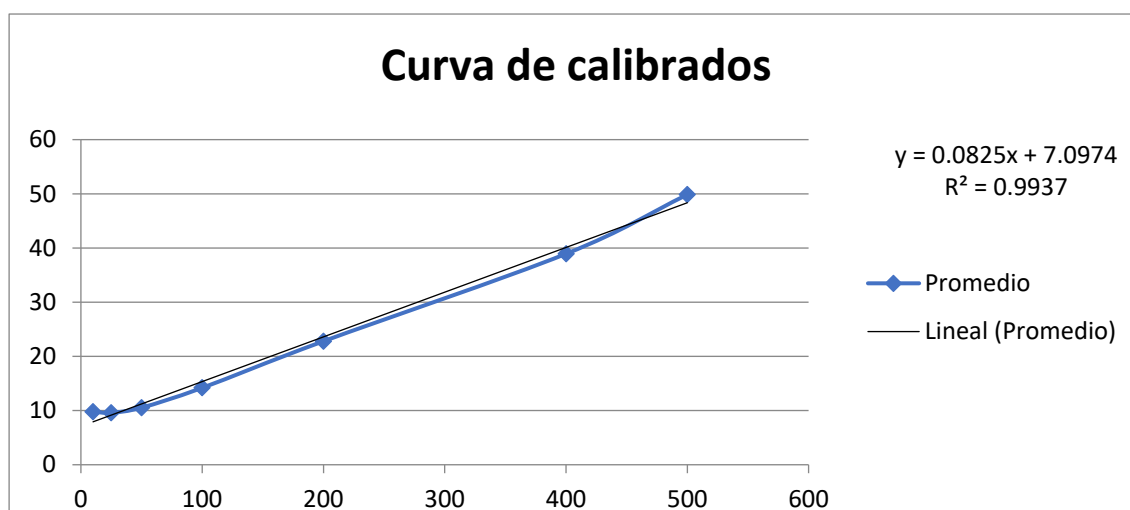
Contenido de grasa extraída



## Anexo 6

### Determinación de Capacidad Antioxidante

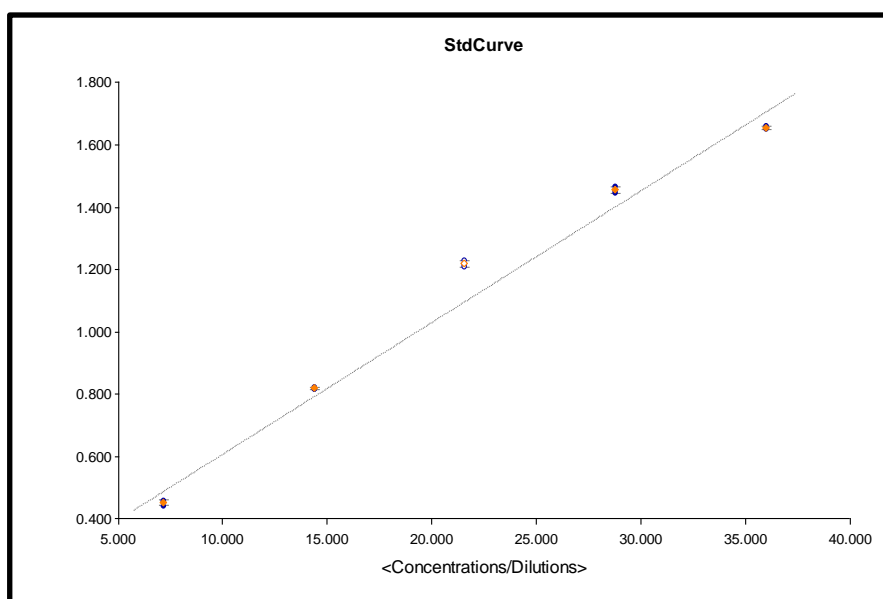
El análisis mediante el método ORAC se realizó siguiendo el protocolo establecido por Bautista-Expósito et al. (2021). Para ello, se preparó una mezcla que contenía 180  $\mu\text{L}$  de fluoresceína a 70 nM, 90  $\mu\text{L}$  de AAPH a 12 mM y 30  $\mu\text{L}$  de muestra diluida con una concentración final de 5 y 10  $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ . Estas mezclas se colocaron en una placa negra de 96 pocillos (Fisher Scientific, Waltham, MA, EE. UU.), y la fluorescencia se registró a longitudes de onda de 485 y 520 nm cada 2 minutos durante 2.5 horas, empleando un lector de microplacas. Los resultados se calcularon a partir de una curva estándar de Trolox (con concentraciones de 0 a 160  $\mu\text{M}$ ) y se expresaron en equivalentes de Trolox (TE) en  $\mu\text{M}$  por gramo de peso seco.



## Anexo 7

### Contenido total de polifenoles TPC

Se determinó el contenido de compuestos fenólicos solubles en extractos metanólicos obtenidos de muestras de tarwi germinado, utilizando el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu adaptado para placas multipocillo, según el procedimiento descrito por Pico et al. (2020). El análisis se llevó a cabo en tubos Eppendorf, donde se mezclaron 100  $\mu\text{L}$  de distintas diluciones del extracto metanólico de cada muestra, estándar o blanco (agua destilada), con 625  $\mu\text{L}$  de agua bidestilada, 250  $\mu\text{L}$  de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 7.5% y 25  $\mu\text{L}$  del reactivo de Folin-Ciocalteu 2N. Para garantizar la precisión, cada medición se realizó por triplicado. La cuantificación se efectuó interpolando los valores de absorbancia de las muestras, registrados a 739 nm, en la curva estándar de ácido gálico representada en la Figura 4. Los resultados se expresaron en miligramos de equivalentes de ácido gálico por 100 gramos de peso seco (mg GAE/100 g dm).



## Anexo 8

### Características Físicas del producto terminado Densidad aparente

Se determinó calculando la relación entre la masa de la muestra extruida y su volumen, siguiendo la metodología propuesta por Chávez-Jáuregui et al. (2000). La densidad aparente se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{\left(\pi \times c \times \left(\frac{d}{2}\right)^2\right)}$$

Donde:

- $\rho$  = Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)
- m = Masa de la muestra (g)
- c = Longitud de la muestra (cm)
- d = Diámetro de la muestra (cm)



Toma de medidas de diámetro y longitud

## Anexo 9

### Características Físicas del producto terminado Índice de Absorción de Agua (IAA)

El IAA se determinó mediante la centrifugación de la muestra a 3000 rpm durante 10 minutos. Luego, el sobrenadante se vertió en una placa Petri y se pesó el gel retenido en el tubo, siguiendo la metodología descrita por Meza et al. (2019). La fórmula utilizada para calcular el IAA fue:

$$IAA = \frac{(M_{rc})}{(M_a)} \times 100$$

Donde:

- IAA = Índice de absorción de agua (%)
- $M_{rc}$  = Masa del residuo de centrifugación (g)
- $M_a$  = Masa de la muestra en base seca (g)

## Anexo 10

### Características Físicas del producto terminado Índice de Solubilidad en Agua (ISA)

El ISA se determinó mediante la centrifugación de la muestra a 3000 rpm durante 10 minutos y el secado del sobrenadante a 90°C durante 4 horas, según la metodología de Meza et al. (2019). La ecuación empleada para calcular el ISA fue:

$$ISA = \frac{M_{rc}}{(M_a - M_{re})} \times 100$$

Donde:

- ISA = Índice de solubilidad en agua (%)
- $M_{rc}$  = Masa del residuo de centrifugación (g)
- $M_a$  = Masa de la muestra en base seca (g)
- $M_{re}$  = Masa del residuo seco (g)

## **Anexo 11**

### **Características Físicas del producto terminado Índice de expansión**

El índice de expansión fue determinado a partir de la relación entre el diámetro del producto final y el diámetro de la matriz, siguiendo la metodología propuesta por Meza et al. (2019).

Este valor se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$IE = \frac{DE}{DM}$$

Donde:

- IE: Índice de expansión
- DE: Diámetro del extrusado (mm)
- DM: Diámetro de la matriz (mm).

## Determinación de IAA, ISA, IE



Pesado de muestras



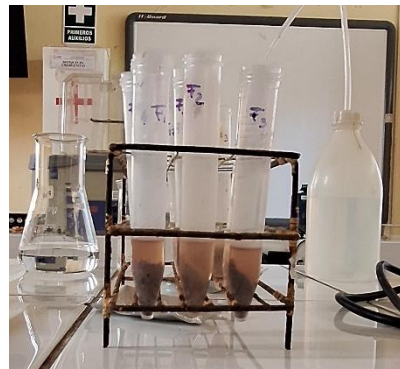
Adición de Agua



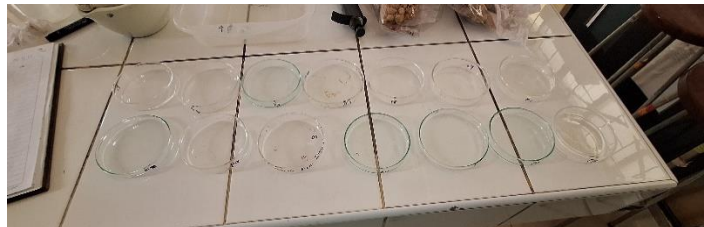
Homogenización de las muestras



Calentamiento en baño maría a 60 °C



centrifugado



Sobrenadante



Sedimento del centrifugado y pesado



## Anexo 12

### Determinación del color Instrumental

El color se determinó utilizando un colorímetro (CR-400 Konica Minolta, USA), aplicando el sistema CIELAB para obtener los parámetros de color como L\* (luminosidad, que varía de 0, negro, a 100, blanco), la cromaticidad (rango de 0 a 100%) y el ángulo de tonalidad (de 0° a 360°). El ángulo de tonalidad (°H) representa el matiz del color en forma angular y suele describirse con nombres como "rojo" o "azul", los valores de referencia para el ángulo de tonalidad son 0°/360° para rojo magenta, 90° para amarillo, 180° para verde azulado y 270° para azul. Adaptado de Valderrama et. al, (2021).

Cálculo del ángulo de tonalidad (h°) El ángulo de tonalidad se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$h^{\circ} = \tan^{-1} \left( \frac{b^{*}}{a^{*}} \right)$$

Registro e interpretación de resultados Los valores de h° obtenidos permiten describir el tono del color de la muestra. El resultado se puede comparar con valores de referencia o utilizar para estudios de estabilidad de color, evaluación de procesos productivos, o desarrollo de productos.

## **Anexo 13**

### **Determinación de Textura**

Para realizar el análisis de textura, se utilizó un texturómetro marca Brookfield, modelo CT3 4500, siguiendo las indicaciones del manual instructivo de procedimiento del equipo. La muestra se preparó y dimensionó en forma cilíndrica, tomando las medidas de longitud y diámetro, conforme a los parámetros solicitados por el software del texturómetro para asegurar la precisión en la prueba. El accesorio empleado fue la probeta con el código TA10, el cual se instaló correctamente en el equipo para llevar a cabo un análisis de compresión.

Una vez configurado el equipo y definido el método de prueba, la muestra se colocó de manera centrada sobre la plataforma del texturómetro para evitar desplazamientos que pudieran afectar la medición. Durante el ensayo, la probeta aplicó una fuerza sobre la muestra, registrándose los datos principales: la dureza total, expresada en Newton (N), y el trabajo total, expresado en milijulios (mJ).

Los datos obtenidos se registraron automáticamente en el sistema del equipo y fueron exportados para su posterior análisis.

Anexo 14

Tabla 14A:

Análisis de varianza (ANOVA) del contenido de grasas

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Model</b>	0.1530	7	0.0219	5.26	0.0124	significant
<sup>(1)</sup> Linear Mixture	0.0033	1	0.0033	0.7907	0.3970	
AC	0.0325	1	0.0325	7.83	0.0208	
BC	0.0143	1	0.0143	3.43	0.0969	
AC <sup>2</sup>	0.0748	1	0.0748	18.00	0.0022	
BC <sup>2</sup>	0.0406	1	0.0406	9.77	0.0122	
AC <sup>3</sup>	0.0261	1	0.0261	6.28	0.0335	
BC <sup>3</sup>	0.0181	1	0.0181	4.37	0.0662	

Tabla 14A1:

Tabla estadística de ajuste

<b>Std. Dev.</b>	<b>0.0645</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.8036</b>
<b>Mean</b>	0.8521	<b>Adjusted R<sup>2</sup></b>	0.6508
<b>C.V. %</b>	7.56	<b>Predicted R<sup>2</sup></b>	0.3483
		<b>Adeq Precision</b>	7.1578

Tabla 14 B:

Análisis de varianza (ANOVA) del contenido de Proteínas

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	11.12	8	1.39	26.98	< 0.0001	significant
<sup>(1)</sup> Linear Mixture	5.79	1	5.79	112.43	< 0.0001	
AB	2.18	1	2.18	42.37	0.0002	
AC	0.0187	1	0.0187	0.3621	0.5640	
BC	0.0004	1	0.0004	0.0074	0.9338	
ABC	0.0047	1	0.0047	0.0915	0.7699	
AC <sup>2</sup>	0.1124	1	0.1124	2.18	0.1780	
BC <sup>2</sup>	4.64	1	4.64	89.98	< 0.0001	
ABC <sup>2</sup>	1.28	1	1.28	24.79	0.0011	

Tabla 14B1:

Tabla estadística de ajuste

<b>Std. Dev.</b>	<b>0.2270</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.9643</b>
Mean	17.50	Adjusted R <sup>2</sup>	0.9285
C.V. %	1.30	Predicted R <sup>2</sup>	0.7138
		Adeq Precision	20.6994

Tabla 14 C:

Análisis de varianza (ANOVA) del contenido de Densidad Aparente

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Model</b>	0.0042	5	0.0008	4.31	0.0205	significant
<sup>(1)</sup> Linear Mixture	0.0031	1	0.0031	15.94	0.0021	
AB	0.0003	1	0.0003	1.31	0.2763	
AC	4.390E-06	1	4.390E-06	0.0223	0.8840	
BC	0.0002	1	0.0002	0.8595	0.3738	
C <sup>2</sup>	0.0003	1	0.0003	1.59	0.2338	

Tabla 14C1:

Tabla estadística de ajuste

<b>Std. Dev.</b>	0.0140	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.6618</b>
	0.2451	<b>Adjusted R<sup>2</sup></b>	0.5081
	5.72	<b>Predicted R<sup>2</sup></b>	0.1410
	0.0140	<b>Adeq Precision</b>	6.3076

Tabla 14D:

Análisis de varianza (ANOVA) del Índice de Absorción de Agua (IAA)

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Model</b>	<b>1.92</b>	<b>3</b>	<b>0.6385</b>	<b>9.98</b>	<b>0.0011</b>	<b>significant</b>
<sup>(1)</sup> Linear Mixture	0.9298	1	0.9298	14.54	0.0022	
AC	0.5610	1	0.5610	8.77	0.0110	
BC	0.6146	1	0.6146	9.61	0.0085	

Tabla 14D1:

Tabla estadística de ajuste

<b>Std. Dev.</b>	<b>0.2529</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.6973</b>
Mean	6.94	Adjusted R <sup>2</sup>	0.6274
C.V. %	3.64	Predicted R <sup>2</sup>	0.5404
		Adeq Precision	10.4027

Tabla 14E:

Análisis de varianza (ANOVA) del Índice de Solubilidad del Agua (ISA)

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Model</b>	<b>0.8868</b>	<b>3</b>	<b>0.2956</b>	<b>2.74</b>	<b>0.0856</b>	<b>not significant</b>
<sup>(1)</sup> Linear Mixture	0.1242	1	0.1242	1.15	0.3025	
AB	0.0173	1	0.0173	0.1603	0.6954	
AB(A-B)	0.7298	1	0.7298	6.77	0.0219	

Tabla 14E1:

Tabla estadística de ajuste

<b>Std. Dev.</b>	<b>0.3282</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.3877</b>
Mean	2.11	Adjusted R <sup>2</sup>	0.2464
C.V. %	15.54	Predicted R <sup>2</sup>	-0.0855
		Adeq Precision	5.2001

Tabla 14F:

Análisis de varianza (ANOVA) del Índice de Expansión (IE)

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Model</b>	<b>0.0222</b>	<b>5</b>	<b>0.0044</b>	<b>0.4011</b>	<b>0.8382</b>	<b>not significant</b>
<sup>(1)</sup> Linear Mixture	0.0041	1	0.0041	0.3700	0.5553	
AC	0.0142	1	0.0142	1.28	0.2813	
BC	0.0003	1	0.0003	0.0261	0.8746	
AC <sup>2</sup>	0.0012	1	0.0012	0.1112	0.7451	
BC <sup>2</sup>	0.0006	1	0.0006	0.0525	0.8230	

Tabla 14F1:

Tabla estadística de ajuste

<b>Std. Dev.</b>	<b>0.1052</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.1542</b>
Mean	2.35	Adjusted R <sup>2</sup>	-0.2302
C.V. %	4.47	Predicted R <sup>2</sup>	-1.0453
		Adeq Precision	1.7628

Tabla 14F:

Análisis de varianza (ANOVA) del Color Instrumental

<b>Source</b>	<b>Sum of Squares</b>	<b>df</b>	<b>Mean Square</b>	<b>F-value</b>	<b>p-value</b>	
<b>Model</b>	<b>832.38</b>	<b>5</b>	<b>166.48</b>	<b>19.91</b>	<b>&lt; 0.0001</b>	<b>significant</b>
<sup>(1)</sup> Linear Mixture	796.10	1	796.10	95.22	< 0.0001	
AB	20.78	1	20.78	2.49	0.1432	
AC	4.39	1	4.39	0.5248	0.4839	
BC	0.7753	1	0.7753	0.0927	0.7664	
C <sup>2</sup>	4.00	1	4.00	0.4782	0.5036	

Tabla 14F1:

Tabla estadística de ajuste

<b>Std. Dev.</b>	<b>2.89</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.9005</b>
Mean	69.34	Adjusted R <sup>2</sup>	0.8553
C.V. %	4.17	Predicted R <sup>2</sup>	0.7575
		Adeq Precision	11.2678

Tabla 14G:

Análisis de varianza (ANOVA) de Textura – trabajo total

<b>Source</b>	<b>Sum of Squares</b>	<b>df</b>	<b>Mean Square</b>	<b>F-value</b>	<b>p-value</b>	
<b>Model</b>	<b>4703.51</b>	<b>5</b>	<b>940.70</b>	<b>3.57</b>	<b>0.0366</b>	<b>significant</b>
<sup>(1)</sup> Linear Mixture	1214.31	1	1214.31	4.61	0.0550	
AC	0.2628	1	0.2628	0.0010	0.9754	
BC	734.99	1	734.99	2.79	0.1231	
AC <sup>2</sup>	1.72	1	1.72	0.0065	0.9371	
BC <sup>2</sup>	2633.84	1	2633.84	10.00	0.0091	

Tabla 14G1:

Tabla estadística de ajuste

<b>Std. Dev.</b>	<b>16.23</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.6187</b>
Mean	106.20	Adjusted R <sup>2</sup>	0.4454
C.V. %	15.29	Predicted R <sup>2</sup>	0.1702
		Adeq Precision	6.4001

Tabla 14H:

Análisis de varianza (ANOVA) de Textura – Dureza

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Model</b>	<b>338.42</b>	<b>7</b>	<b>48.35</b>	<b>2.49</b>	<b>0.1014</b>	<b>not significant</b>
<sup>(1)</sup> Linear Mixture	0.2530	1	0.2530	0.0130	0.9116	
AB	47.06	1	47.06	2.42	0.1539	
AC	56.25	1	56.25	2.90	0.1229	
BC	80.96	1	80.96	4.17	0.0715	
ABC	104.07	1	104.07	5.36	0.0458	
AB(A-B)	6.82	1	6.82	0.3513	0.5680	
ABC(A-B)	109.89	1	109.89	5.66	0.0413	

Tabla 14H1:

Tabla estadística de ajuste

<b>Std. Dev.</b>	<b>4.41</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.6595</b>
Mean	38.69	Adjusted R <sup>2</sup>	0.3947
C.V. %	11.39	Predicted R <sup>2</sup>	-0.2692
		Adeq Precision	5.1816

Tabla 14I:

Análisis de varianza (ANOVA) del contenido de la Capacidad Antioxidante ORAC

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Model</b>	<b>1.309E+06</b>	<b>1</b>	<b>1.309E+06</b>	<b>91.40</b>	<b>&lt; 0.0001</b>	<b>significant</b>
<sup>(1)</sup> Linear Mixture	1.309E+06	1	1.309E+06	91.40	< 0.0001	

Tabla 14I1:

Tabla estadística de ajuste

<b>Std. Dev.</b>	<b>119.70</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.8590</b>
Mean	1080.58	Adjusted R <sup>2</sup>	0.8496
C.V. %	11.08	Predicted R <sup>2</sup>	0.8205
		Adeq Precision	17.4245

Tabla 14J:

Análisis de varianza (ANOVA) del contenido Contenido total de polifenoles TPC

<b>Source</b>	<b>Sum of Squares</b>	<b>df</b>	<b>Mean Square</b>	<b>F-value</b>	<b>p-value</b>	
<b>Model</b>	<b>2835.05</b>	<b>11</b>	<b>257.73</b>	<b>45.50</b>	<b>0.0003</b>	<b>significant</b>
<sup>(1)</sup> Linear Mixture	2500.66	1	2500.66	441.44	< 0.0001	
AB	68.66	1	68.66	12.12	0.0176	
AC	26.24	1	26.24	4.63	0.0840	
BC	44.31	1	44.31	7.82	0.0381	
ABC	0.1943	1	0.1943	0.0343	0.8603	
AC <sup>2</sup>	5.18	1	5.18	0.9142	0.3829	
BC <sup>2</sup>	146.74	1	146.74	25.90	0.0038	
AB(A-B)	156.25	1	156.25	27.58	0.0033	
ABC <sup>2</sup>	51.74	1	51.74	9.13	0.0293	
ABC(A-B)	0.2134	1	0.2134	0.0377	0.8538	
ABC <sup>2</sup> (A-B)	94.38	1	94.38	16.66	0.0095	

Tabla 14J1:

Tabla estadística de ajuste

<b>Std. Dev.</b>	<b>2.38</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.9901</b>
Mean	51.54	Adjusted R <sup>2</sup>	0.9683
C.V. %	4.62	Predicted R <sup>2</sup>	NA <sup>(1)</sup>
		Adeq Precision	22.6807



## Anexo 15

### Datos tabulados Análisis Sensorial

Panelista	Formulación	Aceptación	Apariencia	Sabor	Textura	Color
1	F1	2,85101623	2,7883746	2,90025473	2,92077891	2,96335159
1	F2	3,24478297	3,08161737	3,14438373	3,35634278	2,95165386
1	F3	3,13193288	2,97953045	3,06394718	3,31388859	3,09641803
1	F4	2,97020359	2,68894506	3,110167	3,09001312	3,39356723
1	F5	3,03385156	3,13923728	3,14528395	3,41089787	3,0763481
1	F6	3,16291025	3,22868524	3,14442777	3,01781922	3,14592394
2	F1	2,90164614	2,48161673	2,71351372	2,54689563	2,92592911
2	F2	2,81040361	3,00325662	3,19048337	3,4281458	3,10189094
2	F3	2,94715831	3,43442963	2,76859544	2,61843702	3,14620111
2	F4	2,86050544	2,75666972	3,10258757	3,00967643	2,84810056
2	F5	2,83934633	3,26989868	3,22544745	3,07557204	3,46473461
2	F6	2,89308899	2,80200091	2,96872433	3,09798874	3,15577383
3	F1	2,63867258	2,75733087	2,4366119	2,97567271	2,67048955
3	F2	3,33850016	3,18358606	3,20639163	3,22899445	3,2045827
3	F3	3,18674277	3,32402872	3,09750245	3,19999897	3,04025108
3	F4	3,24893973	2,82563782	3,32110437	2,95288469	2,67476126
3	F5	3,12102809	2,95919688	3,26353592	2,96488241	3,00617052
3	F6	2,72919779	3,01664468	2,62233008	2,79032538	3,25918887
4	F1	2,84407982	2,77201113	2,49352456	2,67737752	2,68619928
4	F2	2,88336805	3,41572065	3,29051345	3,07084816	3,12041816
4	F3	3,09987478	2,64985124	3,00876274	2,92180137	2,85787421
4	F4	2,90469623	3,32045359	3,08908486	2,84668049	3,07543284
4	F5	3,3752783	3,28033395	3,10733328	2,96601985	3,23505187
4	F6	3,18580302	3,28614458	3,2341403	3,31701648	3,0000589
5	F1	2,9503986	2,72643971	3,10197196	2,54908223	3,03411255
5	F2	3,15462315	2,98475739	3,01826382	3,05097153	3,19987418
5	F3	3,16276531	2,94345821	3,0533273	3,48665229	3,40370685
5	F4	3,04818102	2,96851698	2,98492255	3,08361988	2,75635777
5	F5	3,0439319	2,7616904	3,17525183	3,2248464	2,99876992
5	F6	3,42190329	2,86195281	2,81423096	3,1519963	3,3165256
6	F1	3,02370533	2,59514294	2,90265596	2,6792181	2,65239433
6	F2	3,29177298	3,24550557	2,79976256	3,41034906	3,39105926
6	F3	2,93308567	3,13735892	3,15700425	3,11033297	2,94813718
6	F4	2,82659161	2,95580547	3,19546209	3,06963632	2,88679342
6	F5	3,24974695	2,52569869	3,32516035	2,74746445	3,02291902
6	F6	2,88317196	2,84816965	3,3392713	3,0135657	3,17640672
7	F1	2,67753567	2,78232795	2,70228417	2,43032134	2,88617315
7	F2	3,01628967	2,80372461	3,02941796	3,41519295	3,28508534
7	F3	2,98846779	2,98834667	2,9938712	3,47354781	3,13458531
7	F4	3,04692461	3,16697298	3,00867412	2,90910786	2,92164631
7	F5	3,08108696	3,08796276	3,24093312	3,10579639	3,24193523

7	F6	3,09096262	3,12283298	2,7074658	3,29037148	3,17640364
8	F1	2,88652181	2,10766871	3,10459473	2,65900186	2,90855635
8	F2	2,90705981	3,23759577	2,90435788	2,9902872	3,49784726
8	F3	3,02006173	3,10168479	3,23221176	3,15733459	3,088282
8	F4	3,03390848	3,4415994	2,94939252	3,00113609	3,17104716
8	F5	3,3165124	3,33281327	3,22315325	2,86680623	3,42209352
8	F6	2,87783686	3,16763303	2,95625077	3,09427827	3,17285842
9	F1	2,75119123	2,77130394	3,00966204	2,77762665	2,63808846
9	F2	3,30785842	3,35293509	2,86951943	3,234521	3,25527554
9	F3	2,99868551	3,33333958	3,0281871	3,08331351	3,02358385
9	F4	2,96403209	2,74166127	2,67290611	3,2798173	2,79152401
9	F5	2,89712874	2,66472919	2,96761486	2,83078925	3,42381024
9	F6	3,30906936	2,96947587	3,5575931	3,30345904	3,04213966
10	F1	2,18703865	3,1451083	2,4090053	2,35784004	2,89143388
10	F2	3,60299147	3,39189555	3,22782281	3,23399186	3,2857241
10	F3	3,20998393	3,1144365	3,07903844	3,04567959	2,9074053
10	F4	2,90478127	2,62232492	2,94124836	2,76319806	2,74019842
10	F5	3,13138604	3,37380767	3,27907053	2,78130709	2,89748158
10	F6	3,29526018	2,91060846	3,06217931	3,21711636	2,91343705
11	F1	2,70799489	2,42011469	2,56664626	2,75087618	2,36832104
11	F2	3,20313594	3,11111343	3,22553898	3,15982382	3,38786908
11	F3	3,08324312	2,97231711	3,08265772	3,16685782	3,06797023
11	F4	2,96903462	2,82051795	2,8283361	2,68039523	3,31083163
11	F5	2,84663456	2,95682617	2,95172576	3,27439209	3,03641727
11	F6	3,35665436	2,97240782	3,16290477	2,94003653	3,53613577
12	F1	2,44940011	2,74888393	2,81367517	2,76967961	2,64986226
12	F2	3,08907685	3,12380328	3,08564059	3,30781681	3,55714559
12	F3	2,94669986	2,78423762	3,04054181	3,57414008	2,8974633
12	F4	3,28873965	3,29645645	2,85019864	3,0747129	3,28659561
12	F5	3,01958166	3,05469114	2,97907103	2,89245586	2,9655517
12	F6	2,86231789	3,11392263	2,95311129	3,15386312	2,79592681
13	F1	2,75309584	2,85362558	2,28817266	2,7617311	2,93245359
13	F2	2,87311279	3,44955547	3,19884479	2,97403862	3,10388717
13	F3	3,1698636	3,07339929	3,16594941	2,8740635	3,09207038
13	F4	2,67817338	2,93867107	2,78013476	2,8138103	3,20813492
13	F5	3,31366923	3,21723483	2,87694466	3,03212552	3,33802675
13	F6	3,13544932	3,57097185	3,18576951	3,14551576	3,04528265
14	F1	2,71362797	2,65642582	2,82854152	2,87826025	2,5297219
14	F2	2,8487944	2,74779992	3,21663926	2,89436767	2,68446287
14	F3	3,13591394	3,55679812	3,05698403	3,22589637	3,07456409
14	F4	2,94113835	3,14473158	2,90286138	3,01439475	3,02525585
14	F5	2,96178912	3,29381568	3,06041526	2,94425818	3,20270918
14	F6	2,92741234	3,11274217	3,10528214	3,32428505	3,20204559
15	F1	2,6819144	2,85047305	2,9649613	2,79848185	2,68899031
15	F2	2,85267374	2,90201826	3,05399605	2,99313855	3,07764673

15	F3	3,0695282	3,16413677	3,04409846	3,15549854	3,0710931
15	F4	2,56582297	2,77304921	2,93209877	2,71897734	3,08090203
15	F5	3,40155738	3,33915958	3,05271864	3,39355244	3,1251407
15	F6	3,03968875	2,98442541	3,046612	3,02947058	3,14118919
16	F1	2,71903459	2,68752899	2,77430742	2,92504904	2,87683062
16	F2	2,8180614	2,60425676	3,30190497	2,84166525	3,07008791
16	F3	2,82417561	2,69780213	3,16649076	3,21002925	2,94289613
16	F4	2,44270783	2,85166739	3,03927709	2,66513397	2,99758827
16	F5	3,09234524	3,21126551	3,11932328	2,90079342	3,33472151
16	F6	3,07540003	3,10164503	2,92045235	3,01844949	2,9301454
17	F1	2,65233058	3,02926149	2,41253956	2,36420751	2,98115385
17	F2	3,07317626	2,98122644	3,32302193	2,99391788	3,48024293
17	F3	3,19378339	2,96061593	3,48965986	2,93705523	3,20661729
17	F4	3,0207748	3,22126454	3,27321852	2,96731711	2,81023271
17	F5	3,18740164	2,95986414	3,49808466	3,12271428	3,0223429
17	F6	3,144042	2,83768068	2,91278313	3,34718872	2,97572708
18	F1	2,47753759	2,79425034	2,92406062	2,83071045	2,88612933
18	F2	2,96368197	2,83067886	3,41530772	3,05050502	3,06487439
18	F3	3,32383704	3,16944422	3,14937577	3,49119868	2,92949457
18	F4	3,14648431	2,97231891	3,01463474	3,26660997	3,06248344
18	F5	3,20306643	3,30990868	3,02241666	2,92756528	2,88644537
18	F6	2,71383462	3,51834737	2,88646427	3,06285522	3,05174328
19	F1	2,74840113	2,85006723	2,85901449	2,5703043	2,65349545
19	F2	3,17155698	3,06530277	3,43651011	3,21323598	3,26201655
19	F3	3,19077447	3,29289299	3,09440253	2,79883183	3,13813581
19	F4	2,83064491	2,85519295	3,07818909	3,2085729	2,9651706
19	F5	3,15717381	3,4358502	3,14355785	3,61574383	3,20850914
19	F6	2,75495339	3,25777426	3,18333762	3,36505649	3,24174221
20	F1	2,65922859	2,44206014	2,64511514	2,5168157	2,5708151
20	F2	3,23275667	3,44902189	3,1939753	2,87586438	3,20396152
20	F3	3,29752451	2,93624163	3,03139478	3,06113585	2,90121855
20	F4	3,09057237	2,93672665	3,04482277	2,78341785	2,87342462
20	F5	3,23988348	3,02084058	3,44079998	3,01547997	3,14034416
20	F6	3,29362411	2,82343279	2,75494418	2,80197468	3,35962276
21	F1	2,57654816	3,19855965	2,57407027	2,72383005	2,99534178
21	F2	3,51625957	3,52734171	3,35671424	3,3198535	3,23354638
21	F3	3,21387043	2,94796107	2,89455844	3,05752332	3,02416129
21	F4	2,87027067	3,10019377	3,15197733	2,97859766	3,2564223
21	F5	2,86706939	3,05667532	2,95204275	2,72209989	3,07887107
21	F6	3,08275644	3,40979589	3,23326828	2,90226858	3,47792445
22	F1	2,93112653	2,80333933	2,64162297	2,49503194	2,61247843
22	F2	3,33279071	3,49195825	3,4236897	3,01727111	2,8911175
22	F3	3,08637546	2,70451034	3,12283176	3,0286777	2,96499091
22	F4	2,64197567	3,06363631	2,85437612	2,72693292	2,38646384
22	F5	3,08990423	3,44985753	3,42765905	3,00398796	2,9749648

22	F6	3,20086079	2,90742885	3,16746432	3,260322	3,35249259
23	F1	2,66688897	2,64618504	2,51132327	2,52154372	2,64162401
23	F2	3,18851409	3,29775792	2,9544052	3,4135787	3,06081627
23	F3	3,05392476	2,90875588	2,57335016	3,23500729	3,20556699
23	F4	2,90465077	2,97431443	3,06410413	2,64840711	2,85510575
23	F5	3,25426015	2,84454933	3,1541188	2,82409085	3,18869321
23	F6	3,09997764	2,78407958	3,34005381	2,96018763	2,94505545
24	F1	2,72703363	2,91664726	2,48375543	2,69925576	2,77268309
24	F2	3,25366211	3,1503293	3,04163542	2,94952295	3,13226977
24	F3	2,84377041	2,47392812	3,14551018	3,23898518	2,58561173
24	F4	2,75897014	3,08474714	3,37241538	2,96507503	2,8153157
24	F5	3,05882792	3,37038249	2,96621437	2,93556881	2,99885851
24	F6	2,91644022	3,13164	3,43204163	3,1717218	3,05663524
25	F1	2,62855754	2,37428163	2,86354174	2,67135235	2,65082381
25	F2	3,7536625	3,17479157	2,96468278	3,02976947	3,34473013
25	F3	3,0808523	2,77054262	3,242044	2,9245694	3,43285777
25	F4	3,1769259	2,87145191	3,21711956	2,97448739	3,13147102
25	F5	3,19235377	2,92613588	2,96669724	3,30139937	3,02845214
25	F6	3,02637625	2,91608142	3,19182575	3,51961092	2,89359936