

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

**Facultad de Ingeniería**

**Departamento de Ingeniería en Ciencias de los Alimentos**



Desarrollo de una harina de cáscara de papa (*Solanum tuberosum L.*) de descarte para su uso en la industria

Trabajo de graduación en modalidad de Tesis presentado por  
Victoria Sofía Imery Pedroza  
para optar por el grado de Licenciada en Ingeniería en Ciencias de los Alimentos

**Guatemala  
2024**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

**Facultad de Ingeniería**

**Departamento de Ingeniería en Ciencias de los Alimentos**



Desarrollo de una harina de cáscara de papa (*Solanum tuberosum L.*) de descarte para su uso en la industria

Trabajo de graduación en modalidad de Tesis presentado por  
Victoria Sofía Imery Pedroza  
para optar por el grado de Licenciada en Ingeniería en Ciencias de los Alimentos

**Guatemala  
2024**

Vo. Bo.:



(f) \_\_\_\_\_  
Licda. Maria Patricia Palacios Recinos

Tribunal Examinador:



(f) \_\_\_\_\_  
Licda. Maria Patricia Palacios Recinos

(f) \_\_\_\_\_  
MSc. Ana Silvia Colmenares Samayoa

(f) \_\_\_\_\_  
MSc. Ana Alicia Paz Pierri

Fecha de aprobación: 3 de diciembre de 2024

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi mamá Sara, mi hermana Isabella y mi hermano Oscar

Por ser mi mayor inspiración, creer en mí y apoyarme en todas mis decisiones. No estaría hoy aquí sin su amor. Todo lo que hago es por ustedes.

A mi familia

Por ser mi red de apoyo incondicional y celebrar mis éxitos conmigo.

A Jose

Por ser mi fan #1. La manera en la que me acompañas, apoyas y motivas es increíble. Tu amor me inspira a ser una mejor persona y profesional.

A mis amigas Grecia y Natalia

Por todas las experiencias, risas y lágrimas que hemos compartido en los últimos cinco años. Han sido luz en mi vida académica y personal.

A mis “compañeritos”

Por su apoyo completo en la tesis, la carrera y la vida. Gracias por darme ánimos cuando más lo necesitaba. Tengo suerte de tenerlos como amigos.

A la Licda. Patricia Palacios

Por asesorarme y compartirme su sabiduría y consejos en todo este proceso.

A la Fundación Juan Bautista Gutiérrez

Por darme la mayor oportunidad de mi vida y creer en mi desde hace cinco años. Me han dado las herramientas para ser la profesional que siempre soñé.

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	v
LISTADO DE CUADROS.....	viii
LISTADO DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	2
2.1. Tendencias de valorización de subproductos y ODS.....	2
2.2. La papa y el desperdicio de cáscara de papa.....	2
2.3. Aprovechamiento de cáscara de papa.....	3
2.3.1. Propiedades nutricionales.....	3
2.3.2. Aplicaciones de la cáscara de papa.....	4
2.4. Elaboración de chips fritas utilizando cáscara de papa.....	4
2.5. Elaboración de snacks extruidos.....	4
2.5.1. Snacks extruidos con tubérculos.....	5
2.5.2. Snacks extruidos con subproductos.....	5
3. JUSTIFICACIÓN.....	6
4. OBJETIVOS.....	9
4.1. General.....	9
4.2. Específicos.....	9
5. MARCO TEÓRICO.....	10
5.1. Papa.....	10
5.1.1. Composición de la papa.....	10
5.1.2. Producción y consumo de papa.....	11
5.1.3. Producción y consumo de papa a nivel nacional.....	12
5.1.4. Uso de la papa.....	12
5.2. Desechos de alimentos.....	12
5.2.1. Consecuencias del desecho de alimentos.....	13
5.2.2. Aprovechamiento de desechos.....	14
5.3. Cáscara de papa.....	15
5.3.1. Desecho de la cáscara de papa.....	15
5.3.2. Composición de la cáscara de papa.....	16
5.3.3. Morfología de la cáscara de papa.....	18
5.3.4. Aprovechamiento de la cáscara.....	19

5.4.	Extrusión.....	23
5.4.1.	Proceso de extrusión.....	23
5.4.2.	Principio de extrusión.....	23
5.4.3.	Snacks extruidos.....	24
5.4.4.	Snacks extruidos con desechos industriales .....	25
5.5.	Consumo de snacks .....	25
5.5.1.	Consumo a nivel mundial.....	25
5.5.2.	Consumo en Guatemala.....	25
5.5.3.	Tendencias de consumo.....	25
6.	METODOLOGÍA.....	26
6.1.	Recolección de muestras .....	26
6.2.	Desarrollo experimental .....	27
6.2.1.	Elaboración de la harina de cáscara de papa .....	27
6.2.2.	Elaboración del snack por medio de extrusión.....	27
6.3.	Caracterización química de harina y producto .....	28
6.3.1.	Muestreo .....	28
6.3.2.	Características químicas .....	28
6.4.	Características físicas de la harina y producto .....	29
6.4.1.	Características físicas de la harina de cáscara de papa.....	29
6.4.2.	Características físicas del snack extruido .....	30
6.5.	Características tecnológicas de la harina y mezcla de snack final .....	31
6.6.	Análisis sensorial del producto.....	33
6.7.	Análisis estadístico .....	33
7.	Resultados y discusión .....	35
7.1.	Manejo de cáscara de papa .....	35
7.2.	Desarrollo de harina.....	37
7.3.	Caracterización de harina .....	39
7.4.	Desarrollo de snack .....	45
7.5.	Caracterización del snack final.....	47
8.	Conclusiones.....	60
9.	Recomendaciones .....	61
10.	Referencias .....	62
11.	Anexos.....	75

## LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Composición nutricional por cada 100g de papa.....	11
Cuadro 2. Composición de la cáscara de papa .....	17
Cuadro 3. Formulación de pruebas para elaboración de snacks.....	27
Cuadro 4. Características de la cáscara de papa .....	35
Cuadro 5. Tipos de contaminantes y defectos .....	36
Cuadro 6. Composición química de harina .....	39
Cuadro 7. Características físicas de la harina .....	42
Cuadro 8. Distribución de tamaño de partícula de harina .....	43
Cuadro 9. Características tecnológicas de la harina .....	44
Cuadro 10. Pruebas de formulación de snack .....	46
Cuadro 11. Análisis sensorial del snack .....	47
Cuadro 12. Características tecnológicas de la formulación de snack.....	49
Cuadro 13. Composición química del snack .....	51
Cuadro 14. Apariencia de snack final.....	53
Cuadro 15. Características físicas del snack.....	54
Cuadro 16. Datos originales de la curva de secado de la cáscara de papa .....	75
Cuadro 17. Datos originales de análisis de humedad de harina .....	75
Cuadro 18. Datos originales de análisis de grasa de harina.....	75
Cuadro 19. Datos originales de análisis de proteína de harina.....	76
Cuadro 20. Datos originales de análisis de cenizas .....	76
Cuadro 21. Datos originales de análisis de capacidad antioxidante de harina .....	76
Cuadro 22. Datos originales de proteína para análisis de fibra de harina .....	76
Cuadro 23. Datos originales de cenizas para análisis de fibra de harina.....	76
Cuadro 24. Datos originales de residuos para análisis de fibra .....	77
Cuadro 25. Datos originales para el cálculo de contenido de fibra .....	77
Cuadro 26. Datos originales de análisis de almidón.....	77
Cuadro 27. Imágenes de análisis proximal de la harina .....	77
Cuadro 28. Datos originales de colorimetría de harina .....	79
Cuadro 29. Datos originales de actividad de agua de harina.....	79
Cuadro 30. Datos originales de granulometría de harina .....	80
Cuadro 31. Imágenes de análisis físicos de harina .....	80
Cuadro 32. Datos originales de absorción de agua de harina.....	81
Cuadro 33. Datos originales de absorción de aceite de harina .....	81
Cuadro 34. Datos originales de densidad de bulto de harina.....	81
Cuadro 35. Datos originales de capacidad de hinchamiento de harina .....	81
Cuadro 36. Datos originales de prueba de solubilidad de harina .....	82
Cuadro 37. Imágenes de análisis tecnológicos de harina .....	82
Cuadro 38. Formulaciones de snack elaboradas.....	83
Cuadro 39. Pruebas de condiciones de elaboración de snack.....	83
Cuadro 40. Hoja maestra de panel sensorial.....	84
Cuadro 41. Imágenes de panel sensorial .....	92
Cuadro 42. Datos originales de análisis de humedad de snack .....	92
Cuadro 43. Datos originales de análisis de grasa de snack .....	92
Cuadro 44. Datos originales de análisis de proteína de snack.....	92

Cuadro 45. Datos originales de análisis de ceniza de snack.....	92
Cuadro 46. Datos originales de análisis de capacidad antioxidante de snack .....	93
Cuadro 47. Datos originales de proteína para análisis de fibra de snack .....	93
Cuadro 48. Datos originales de cenizas para análisis de fibra de snack.....	93
Cuadro 49. Datos originales de residuos para análisis de snack .....	93
Cuadro 50. Datos originales para el cálculo de contenido de fibra de snack .....	94
Cuadro 51. Imágenes de análisis proximal de snack .....	94
Cuadro 52. Datos originales de dimensiones de snack.....	95
Cuadro 53. Datos originales de expansión de snack .....	95
Cuadro 54. Datos originales de densidad de bulto de snack .....	97
Cuadro 55. Datos originales de densidad aparente de snack .....	97
Cuadro 56. Datos originales de porosidad de snack.....	97
Cuadro 57. Datos originales de dureza de snack .....	97
Cuadro 58. Datos originales de colorimetría de snack .....	98
Cuadro 59. Datos originales de actividad de agua de snack.....	98
Cuadro 60. Pruebas físicas de snack.....	99
Cuadro 61. Datos originales de absorción de agua de formulación en polvo de snack.....	100
Cuadro 62. Datos originales de absorción de aceite de formulación en polvo de snack....	100
Cuadro 63. Datos originales de densidad de bulto de formulación en polvo de snack .....	101
Cuadro 64. Datos originales de capacidad de hinchamiento de formulación en polvo de snack .....	101
Cuadro 65. Datos originales de prueba de solubilidad de formulación en polvo de snack	101
Cuadro 66. Imágenes de análisis tecnológicos de formulación en polvo de snack .....	101

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Producción de papa anual a nivel mundial.....	3
Figura 2. Categorización de desperdicio de alimentos. ....	13
Figura 3. Estructura de la papa y su cáscara.....	18
Figura 4. Partes de un equipo extrusor .....	24
Figura 5. Personas que han consumido al menos una vez un snack a base de plantas.....	26
Figura 6. Diagrama de proceso de elaboración de harina.....	37
Figura 7. Curva de secado .....	38
Figura 8. Diagrama de proceso de elaboración de snack .....	45
Figura 9. Preferencia de snack final .....	49
Figura 10. Aceptabilidad de expansión de snacks .....	57
Figura 11. Partes del extrusor utilizado .....	84
Figura 12. Boleta en Google Forms para panel sensorial.....	86
Figura 13. Código de R para análisis de varianza de panel sensorial.....	90
Figura 14. Resultados de código de R para análisis de varianza de panel sensorial .....	91
Figura 15. Medición de área de boquilla con Software ImageJ .....	96
Figura 16. Medición de área transversal de snack en cuatriplicado con Software ImageJ ..	96
Figura 17. Gráficas de fuerza de texturómetro .....	97
Figura 18. Snack final.....	103
Figura 19. Snack final empacado .....	103

## RESUMEN

Este trabajo de graduación se enfoca en aprovechar el desecho de cáscara de papa (*Solanum tuberosum L.*), que representa entre 15% y 40% de la masa total de la papa, para desarrollar harina aprovechando el desecho de la industria de frituras de Guatemala. Tras la recolección de cáscara de desecho, se definió un proceso productivo para su transformación en harina, la cual fue caracterizada por sus características químicas, físicas y tecnológicas. La harina resultante contiene 12.9% de proteína, 43.5% de fibra dietética y 1.68% de grasa, superando los valores reportados en estudios previos. Además, se evaluó entre sus propiedades tecnológicas, una capacidad antioxidante del 94.5%, retención de agua de 9.21 g/g, de aceite de 3.63 g/g, capacidad de hinchamiento de 13 g/g y solubilidad del 16.3%. Posteriormente, se desarrolló un snack extruido utilizando sémola de maíz y diferentes porcentajes de sustitución con harina de cáscara de papa (20%, 30% y 40%). Se realizó un análisis sensorial con 71 panelistas, determinando que la formulación preferida fue la que contenía 20% de harina de cáscara, aunque no hubo diferencias significativas en la aceptabilidad general entre las muestras. El snack final mostró una composición de 4.08% de proteína, 12.1% de fibra dietética y 54.52% de grasa. También presentó características tecnológicas destacadas, como porosidad del 32%, tasa de expansión de 5.05 y capacidad de retención de agua de 5.81 g/g, aceite de 3.47 g/g, hinchamiento de 21.5 g/g, solubilidad de 7.5% y densidad de 0.62 g/mL, concluyendo la viabilidad de utilizar la harina de cáscara de papa en productos extruidos.

## ABSTRACT

This thesis focuses on utilizing potato peel waste (*Solanum tuberosum L.*), which represents 15% to 40% of the total potato mass, to develop flour from the waste produced by the Guatemalan frying industry. After collecting the discarded peels, a production process was defined to transform them into flour, which was then characterized for its chemical, physical, and technological properties. The resulting flour contains 12.9% protein, 43.5% dietary fiber, and 1.68% fat, surpassing values reported in previous studies. Additionally, its technological properties were evaluated, showing an antioxidant capacity of 94.5%, water retention capacity of 9.21 g/g, oil retention capacity of 3.63 g/g, swelling capacity of 13 g/g, and solubility of 16.3%. An extruded snack was then developed using corn grits with partial substitutions of potato peel flour (20%, 30%, and 40%). A sensory analysis with 71 panelists determined that the preferred formulation was the one containing 20% potato peel flour, although no significant differences were found in overall acceptability among the three samples. The final snack had a composition of 4.08% protein, 12.1% dietary fiber, and 54.52% fat. It also exhibited notable technological characteristics, such as a 32% porosity, an expansion rate of 5.05, and a water retention capacity of 5.81 g/g, oil retention of 3.47 g/g, swelling of 21.5 g/g, solubility of 7.5%, and a density of 0.62 g/mL. The study concludes that potato peel flour is a viable ingredient for use in extruded snack products.

# 1. INTRODUCCIÓN

La papa es uno de los cultivos más producidos en todo el mundo, en cuarto lugar, después del trigo, maíz y arroz. Se ha observado una tendencia de crecimiento de la producción de papa en los últimos años. Este cultivo es consumido en todo el mundo y es parte fundamental de la dieta de las personas en muchos países, incluyendo países en desarrollo. La papa es muy utilizada en la industria de alimentos, incluyendo la industria de frituras. Sin embargo, su uso representa una gran cantidad de desechos industriales, los cuales afectan negativamente al medio ambiente, la economía y la sociedad. En los últimos años se ha visto un aumento en la necesidad de aprovechamiento de subproductos y desechos de la industria de alimentos. La valorización de residuos industriales de alimentos ha sido una manera común de reducir los desechos y aprovechar su alto potencial nutricional y funcional. En cuanto a la cáscara de papa, se ha visto su valorización y su uso como un agente preservante de alimentos, se han usado extractos de cáscara de papa para aprovechar su actividad antioxidante y su alto contenido de fibra y se ha usado la cáscara en productos de panadería, entre otras aplicaciones.

El objetivo principal de este trabajo de investigación es desarrollar una harina de cáscara de papa de los desechos industriales de la industria de frituras en Guatemala para aprovecharla en la elaboración de un snack extruido. La finalidad del trabajo es elaborar la harina de cáscara de papa y caracterizarla para determinar sus propiedades y establecer esta harina como una materia prima apta para su uso en la elaboración de productos nuevos en la industria de alimentos. Esto permite su aprovechamiento para la reducción de desechos y desarrolla un aporte a la economía circular, lo cual brindará beneficios al medio ambiente y a la economía circular de la industria de frituras del país.

En el presente estudio se aborda el desarrollo de un proceso productivo para la elaboración de la harina de cáscara de papa, incluyendo el empleo de una curva de secado para la determinación de las características de secado óptimas. Además, se muestran los distintos análisis a los cuales fue sometida para caracterizar sus propiedades químicas, físicas y tecnológicas. Esta harina luego se empleó en la elaboración de un snack extruido de sémola de maíz. Se muestran los prototipos de snack extruido con sustituciones parciales de harina de cáscara en mezclas de harina de cáscara y sémola de maíz. Se realizó un análisis sensorial con panelistas consumidores de snacks en la Universidad del Valle de Guatemala para determinar la aceptabilidad de las características sensoriales y la preferencia entre tres de los snacks elaborados: con 20%, 30% y 40% de harina de cáscara de papa. Finalmente, se presenta los múltiples análisis a los cuales se sometió el producto final para determinar las características químicas, físicas y tecnológicas del snack para establecerlo como una aplicación factible de la harina de cáscara de papa en la industria de alimentos.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1. Tendencias de valorización de subproductos y ODS**

La industria de alimentos es una de las industrias más grandes y prósperas del mundo, pero también es una de las que genera más desechos a nivel mundial. Esto ha sido una causa de preocupación, debido a su impacto negativo para el medio ambiente, la economía y la sociedad. La mayoría de los desechos y subproductos de alimentos, como los derivados de las frutas y vegetales, son ricos en muchos nutrientes. Es por esta razón que se ha buscado utilizar esta materia para su aprovechamiento, valorización y creación de nuevos productos con valor agregado (Leonard et al., 2019).

Existen varias tendencias actuales para mitigar las consecuencias del desperdicio de los desechos alimenticios y aprovechar su potencial nutricional. En primera instancia, se están haciendo esfuerzos para disminuir el desperdicio de los alimentos a lo largo de la cadena de suministro. Entre estas iniciativas se encuentra la mejora de los sistemas de almacenamiento, la optimización de las eficiencias de los procesos industriales, la mejora de los sistemas de empaque y distribución de productos, la creación de empaques inteligentes que ayuden a aumentar la vida útil de los productos y el desarrollo de productos alimenticios, especialmente de frutas y verduras, que sean tolerantes a cualquier tipo de estrés para alargar su vida útil (Roy et al., 2023).

Otro tipo de mecanismo que está en tendencia es la valorización, en la cual se convierten los desechos de alimentos o subproductos industriales en nuevos productos con un valor agregado. El proceso de valorización de los desechos depende de varios factores como su composición nutricional, su procesamiento, el costo de valorización, etc. Entre las opciones de valorización de desechos y subproductos más utilizadas actualmente en la industria se encuentran: la producción de comida para animales, digestión anaerobia, fermentación, incineración para la generación de energía térmica, carbonización hidrotérmica y métodos integrados con 1 o más de estos procesos. Sin embargo, siempre se busca alternativas que generen un mejor beneficio económico y una menor contaminación al medio ambiente (Roy et al., 2023).

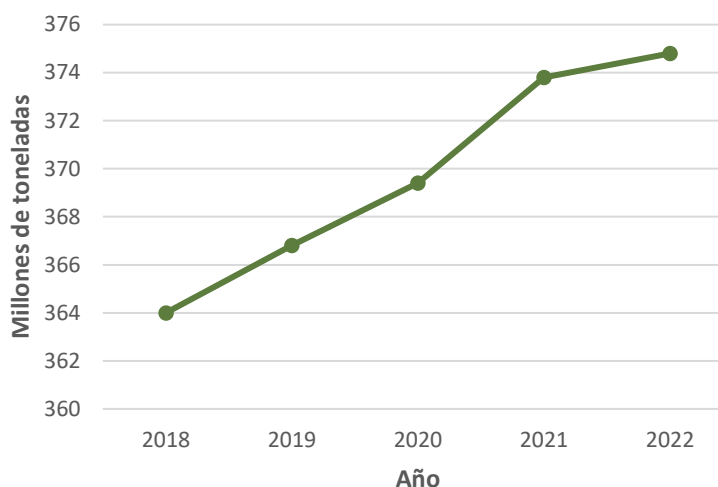
Estas tendencias de valorización y reutilización de los subproductos aplican más de uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas. Estos objetivos fueron establecidos por la ONU en el 2015 con el fin de proteger al planeta y alcanzar la sostenibilidad con la agenda de desarrollo sostenible. El primer objetivo que aplica en el desarrollo de productos que aplican la valorización y economía circular en la industria es el ODS 12: producción y consumo responsable, ya que se generan nuevos productos con un valor agregado a partir de desperdicios, generando sostenibilidad. Otro objetivo que se aplica es el ODS 13: acción por el clima, ya que al minimizar los desechos orgánicos se minimiza su impacto negativo en el medio ambiente (ONU, 2024).

### **2.2. La papa y el desperdicio de cáscara de papa**

La papa es uno de los cultivos que más se produce en todo el mundo. Su producción está en cuarto lugar, en términos de volumen, a nivel global después de cultivos como maíz, trigo y arroz. Según la estadística más actualizada de la FAO, se produjeron alrededor de 375

millones de toneladas de papa en todo el mundo en el año 2022 y su producción ha mostrado un aumento en los últimos años (FAOSTAT, 2024). Este producto no sólo tiene una gran importancia de producción en todo el mundo, también es una parte integral de la dieta de los humanos. En la industria de alimentos se utiliza mucho la papa en distintos productos. Usualmente, durante el procesamiento, la papa es pelada por distintos métodos, es cortada o se eliminan partes que no cumplen con los requerimientos de materia prima en la industria, lo cual genera un gran desperdicio industrial (Thakur et al., 2021).

**Figura 1. Producción de papa anual a nivel mundial**



Fuente: propia, con base en (FAOSTAT, 2024).

Se estima que, de este cultivo, la cáscara que se elimina durante el pelado es equivalente a 15 – 40% de la biomasa de la papa. Actualmente en la industria, esta cáscara de papa es considerada un desperdicio y es común que no se aproveche para la creación de otros productos de alto valor (Thakur et al., 2021). Esta es comúnmente utilizada para elaborar productos como alimento de bajo valor para animales, fertilizantes, o como materia prima lignocelulósica para la producción de biogases como bioetanol y biobutanol. Sin embargo, este tipo de prácticas generan un desperdicio de valor nutricional, ya que se ha comprobado con varios estudios que la cáscara de papa es un subproducto con una gran variedad de nutrientes y propiedades beneficiosas (Javed et al., 2019).

## **2.3. Aprovechamiento de cáscara de papa**

### **2.3.1. Propiedades nutricionales**

Como ya se mencionó anteriormente, la cáscara de papa tiene múltiples propiedades que la hacen un subproducto con un alto potencial de aprovechamiento. Esto es debido a que tiene propiedades antioxidantes, antibacterianas, antiinflamatorias y quimiopreventivas. Además, su biomasa contiene una concentración alta de fibra, almidones, compuestos fenólicos, polisacáridos, ligninas y proteínas que pueden ser aprovechadas de otras maneras para prevenir el desperdicio de esta fuente de nutrientes. Otro factor importante a considerar es que la cáscara de papa es un subproducto que se considera barato, asequible y de alto valor para ser utilizado como una materia prima para la elaboración de otros productos (Javed et al.,

2019). Es por esto que se han buscado alternativas en la industria para poder aprovechar este subproducto y sus compuestos bioactivos.

### 2.3.2. Aplicaciones de la cáscara de papa

En la actualidad existen varios métodos en los cuales se utiliza la cáscara de papa en diversos procesos y productos para aprovechar sus compuestos biológicos. A continuación, se mencionarán algunas aplicaciones que se han desarrollado en la industria.

- **Preservación de alimentos:** La cáscara de papa tiene una alta capacidad antioxidante y antimicrobiana, lo cual puede ser principalmente atribuido a su contenido de compuestos fenólicos y ácidos. En la industria se ha empezado a extraer este tipo de compuestos para ser empleados en combinación con los antioxidantes y antimicrobianos sintéticos o como un sustituto completo, debido a que se busca reducir el uso de compuestos sintéticos poco beneficiosos para la salud.
- **Actividad antioxidante:** Estos compuestos antioxidantes han sido extraídos para sustituir a los antioxidantes sintéticos y retardar la oxidación en productos como carnes y aceites vegetales.
- **Agente en panadería:** Se ha utilizado la fibra extraída de la cáscara de papa en mezclas con harina de trigo para ser una ayuda en la panadería, en vez de sémola de trigo.

Esas son algunas de las aplicaciones que existen en la actualidad para aprovechar este desecho. Otras incluyen: uso de su extracto de fibra para productos farmacéuticos, producción de biogás, como fertilizante, como alimento de animales, para la producción de enzimas, entre otras. (Abebaw, 2020); (Javed et al., 2019). Como se puede observar, no existe una amplia gama de aplicaciones de la cáscara de papa como materia prima para la creación de productos alimenticios.

### 2.4. Elaboración de chips fritas utilizando cáscara de papa

Existen pocas investigaciones que utilizan la cáscara de papa como materia prima para la elaboración de productos nuevos con valor agregado. Durmaz & Yuksel (2021) han investigado el uso de cáscara de papa para sustituir porcentajes de harina de trigo en la elaboración de un snack tipo chip de trigo fritas. Analizaron diferentes concentraciones de cáscara de papa y las características del producto final. Este estudio encontró que las características como la cantidad de fibra y compuestos fenólicos aumentaban mientras la fracción de cáscara de papa en la formulación también aumentaba. Además, encontraron que el producto que obtuvo una mayor aceptabilidad sensorial fue el que tenía una sustitución del 10%. Concluyeron con este estudio que este producto saludable tiene potencial para la comercialización (Durmaz & Yuksel, 2021).

### 2.5. Elaboración de snacks extruidos

La extrusión es un proceso muy utilizado en la industria de alimentos, principalmente en la elaboración de productos como snacks o cereales de desayuno. En este proceso ocurre una serie de operaciones como transferencia de calor, transferencia de masa, cambios de presiones, mezclado, cocinado, formado, etc. Para transformar una alimentación en forma de masa en un producto inflado de baja humedad (Dalbhagat et al., 2019).

### 2.5.1. Snacks extruidos con tubérculos

Usualmente se utilizan cereales como materias primas para productos extruidos, debido a que brindan características sensoriales deseadas en el producto. Sin embargo, los cereales usualmente tienen una menor cantidad de proteína y un bajo valor biológico debido a su poco contenido de aminoácidos esenciales. Por esta razón se ha estudiado a los tubérculos como una alternativa para la sustitución parcial de las mezclas para elaborar productos extruidos. Se han hecho múltiples estudios utilizando tubérculos como papa, patata, camote, zanahoria, raíz de remolacha, mandioca y taro en combinaciones con otros ingredientes como maíz, trigo y arroz para producir una diversidad de snacks extruidos. (Téllez-Morales et al., 2022).

### 2.5.2. Snacks extruidos con subproductos

Debido a la tendencia de valorización de los desechos, se ha buscado crear productos alimenticios nuevos y atractivos al consumidor. Entre estos productos están los snacks, especialmente de tipo extruido. Se ha estudiado el uso de pulpas de frutas y verduras como manzana, zanahoria, cereza, piña, distintas bayas y tomates para la elaboración de snacks saludables extruidas. Otro desecho que ha surgido para su uso en este tipo de snacks es el bagazo de tapioca y frutas cítricas. Adicionalmente, el salvado de varios cereales como arroz, centeno, trigo y maíz también ha sido de interés para su uso en la producción de snacks extruidos. Existen más subproductos y desechos que se ha buscado aprovechar para la creación de este tipo de snacks como: arroz quebrado, salvado de avena, subproductos de semilla oleaginosas, suero de leche, haustorio de coco, cáscara de semillas de cacao, entre otros (Grasso, 2020).

### 3. JUSTIFICACIÓN

La industria de alimentos es una de las industrias más grandes y con mayor rentabilidad en todo el mundo. Esta industria también es una de las que genera más desperdicios y subproductos a nivel mundial. Se ha determinado que cada año se desperdician alrededor de 1.3 billones de toneladas de alimento a nivel mundial, de los cuales el 45% está conformado por desperdicios de frutas y verduras. Esta es una situación alarmante debido a que a nivel mundial existen alrededor de 690 – 829 millones de personas que padecen de hambre y en total aproximadamente 3 billones de personas que no pueden costear una dieta sana (Roy et al., 2023). Según la FAO, en Guatemala se desperdicia alrededor de 14% de alimentos que forman parte de la canasta básica (FAO, 2022). A pesar de la gran cantidad de desperdicios de alimentos, Guatemala se posiciona en sexto lugar en la lista de países con más desnutrición crónica, debido a que el 46.5% de los niños menores a 5 años sufre de desnutrición crónica (UNICEF, 2021). Como se puede observar, existe una gran incoherencia entre la desnutrición mundial y nacional y la cantidad de alimentos que se desperdician cada año.

La papa es uno de los cultivos que más se producen y consumen en todo el mundo, estando en cuarto lugar en cuanto a volumen de producción, después de maíz, trigo y arroz. Además, la papa es consumida alrededor de un billón de veces al año, por lo que es un cultivo muy importante en la dieta de las personas (Çalışkan et al., 2023). Es importante resaltar que la producción de papa a nivel global crece cada año, como lo indica la Figura 1. Según la FAO, en el año 2022 se produjo alrededor de 375 millones de toneladas de papa a nivel mundial (FAOSTAT, 2024). Además, es un cultivo muy importante debido a que crece en más de 100 países y aporta al crecimiento en países subdesarrollados (Gebrechistos & Chen, 2018). Durante la utilización de la papa en procesos industriales como la elaboración de snacks, se produce una gran cantidad de desperdicio. Dependiendo del tipo de mecanismo de pelado que se utilice, se estima que la cantidad de cáscara de papa que se produce equivale al 15 – 40% de la biomasa de la papa (Ijaz et al., 2024). Esto genera una gran cantidad de desperdicio que se encuentra entre 70 – 140 mil toneladas de cáscara de papa producidas anualmente (Abebaw, 2020). Se estima que crecerá a 8,000 kilotoneladas de cáscara de papa para el año 2030 (Khanal et al., 2023).

El desperdicio de cáscara de papa que se genera a través de la cadena de suministro tiene un efecto negativo en el medio ambiente, la economía, la sociedad y la salud (Roy et al., 2023). Este desperdicio es principalmente desechado en vertederos, lo cual es perjudicial para el medio ambiente debido a que aumenta la huella de carbono y genera lixiviados dañinos. Para el año 2030, se aproxima que el desperdicio de papa generará 5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. La cáscara de papa, además, genera contaminación por medio de la descomposición orgánica del desecho, ya que este es rico en nutrientes y microorganismos biológicos los utilizan como alimentación (Khanal et al., 2023). Otras alternativas que se usan en la actualidad empleando este desecho son la elaboración de productos de bajo valor para la alimentación de animales, fertilizantes y biogás. Sin embargo, esto representa un desaprovechamiento del alto potencial y valor nutricional de la cáscara de papa (Javed et al., 2019).

La cáscara de papa es una materia rica en una gran cantidad de nutrientes. Esta posee características antibacterianas, antioxidantes, antiinflamatorias, entre muchas más. Además, presenta un alto contenido de fibra dietética, compuestos bioactivos beneficiosos para la salud, vitaminas y minerales (Jimenez-Champi et al., 2023). Esta cáscara también contiene una cantidad significativa de proteína, con 18 aminoácidos de los cuales la mitad son aminoácidos esenciales (Ijaz et al., 2024). La cáscara de papa muestra un alto potencial para ser utilizada como materia prima barata, asequible y muy valiosa no sólo para su valorización como comida de animales, generación de biogases y fertilizantes, sino para la creación de nuevos productos con valor agregado (Abebew, 2020).

Es por esto que se elaboró un snack a base de harina de cáscara de papa. Los snacks son el producto que más se produce a partir de la papa y estos son muy consumidos globalmente (Gebrechristos & Chen, 2018). El consumo de snacks de papa ha presentado un aumento constante a nivel mundial en los últimos años y se espera que crezca al menos un 8% para el año 2028 (Conway, 2024). En Guatemala, el consumo de snacks saladas per cápita se pronostica que crezca a 3.5kg en el 2024 y se espera un crecimiento de 1.8% en el año 2025 (Statista, 2024a). Como se puede observar, hay un amplio campo de consumo para este tipo de productos. Además, se propone específicamente un snack extruido debido a que la extrusión es una tecnología versátil y de bajo costo que ha demostrado ser óptima para el manejo de subproductos y su conversión a snacks (Grasso, 2020). Se ha demostrado también que la extrusión es uno de los procesos industriales que daña menos las propiedades nutritivas de los productos a causa de calor. El proceso de extrusión permite obtener un snack final que no necesita ser freído, se puede optar por horneado o simplemente secado, lo cual reduce la cantidad de grasa y el contenido energético del snack (Leonard et al., 2019). Adicionalmente, el mercado de los snacks extruidos es vasto y se espera que tendrá un crecimiento anual del mercado de 5.57% para el año 2029 (Fortune Business Insights, 2022).

Este tipo de producto atiende la demanda del consumidor de la producción de alimentos más amigables con el ambiente. Se ha identificado también una demanda creciente de alimentos con proteínas vegetales por parte del consumidor (Ijaz et al., 2024). Estas se encuentran con mayor porcentaje en la cáscara de papa que en la mayoría de cereales con los que se hacen las snacks (Téllez-Morales et al., 2022). Otra de las tendencias que satisface la producción de este tipo de alimentos es la de alimentación consciente. Un estudio realizado por Mondelez estableció que el 63% de los consumidores buscan snacks que minimicen su impacto ambiental con acciones como optimización de la cadena de suministro por medio de sostenibilidad. Además, el 54% de los consumidores indicó que están agregando más snacks a base de plantas a sus dietas (Mondelēz, 2023). Otra tendencia que muestra crecimiento en los últimos años es la de economía circular. Con el aumento de la población mundial, se espera que la producción, y, por ende, desperdicio de alimentos crezca. Es por esto que es de gran importancia aplicar mecanismos de economía circular, como la creación de nuevos productos a partir de desechos, con el fin de disminuir desperdicios y aprovechar materia (Rajković et al., 2020). Además, el aprovechamiento de la cáscara para la creación de un snack significaría un beneficio para la industria de frituras de Guatemala, ya que esto generaría una innovación que provee una ventaja competitiva en el mercado, un crecimiento de economía y una cadena de suministro sostenible por medio de la aplicación de economía circular (Khanal et al., 2023).

Finalmente, al implementar este tipo de proceso en el cual se aprovecha el desecho de la cáscara de papa para generar un nuevo producto de valor agregado se disminuyen los desechos que impactan negativamente al medio ambiente. Con eso se está contribuyendo a alcanzar el Objetivo de Desarrollo Sostenible 12 “Producción y consumo responsable” y 13 “Acción por el clima” de las Naciones Unidas (ONU, 2024).

Como se pudo observar con los puntos expuestos anteriormente, la elaboración de un snack a base de cáscara de papa es una iniciativa que cumplió con promover la valorización de desechos para disminuir el desperdicio de la industria de alimentos y reducir el impacto que tiene en el medio ambiente, la economía, la sociedad y la salud. Además, se está aprovechando una materia prima con gran potencial nutricional, que es muy consumida a nivel mundial. Por otra parte, la creación de este tipo de producto es consistente con el creciente consumo de snacks saladas y se ajusta a las demandas y tendencias del consumidor actual. Finalmente, esta investigación se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Sin embargo, no existían procedimientos del uso de la cáscara de papa para la elaboración de un snack extruido, por lo que esta investigación fue de suma importancia, ya que se desarrolló un procedimiento de elaboración de harina de cáscara de papa, incluyendo una curva de secado para determinar las condiciones óptimas de la elaboración de harina y consecuentemente de un snack extruido. Adicionalmente, la investigación fue crucial para presentar la caracterización de la materia prima utilizada y el producto final, por medio de análisis químicos, físicos, tecnológicos y sensoriales. Con la presente investigación se estableció la harina de cáscara de papa como una materia prima y una posible aplicación de ella en la elaboración de snacks extruidos. Estos factores permitieron que la presente investigación fuera relevante, innovadora y actual, ya que causó un impacto positivo para la economía circular y la industria de alimentos de Guatemala.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. General

Desarrollar harina de cáscara de papa (*Solanum tuberosum L.*) para aprovechar el desecho de la industria de frituras de Guatemala.

### 4.2. Específicos

- Elaborar y caracterizar la harina de cáscara de papa (*Solanum tuberosum L.*) de desecho.
- Establecer la formulación y el proceso de elaboración de un producto extruido a base de harina de cáscara de papa (*Solanum tuberosum L.*) de desecho industrial.
- Evaluar las características químicas, físicas, tecnológicas y sensoriales del producto extruido final.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1. Papa

La papa (*Solanum tuberosum L.*) es uno de los cultivos más importantes en todo el mundo. Esta fue domesticada por primera vez y se empezó a cosechar para consumo humano en Sur América alrededor de 5,000 B.C. La papa ha estado presente para consumo a través de la historia y ha sido la razón de supervivencia de varias civilizaciones frente la hambruna y la guerra, debido a su alto potencial de rendimiento y su tolerancia a ciertos ambientes. Actualmente, es uno de los cultivos más producidos, procesados y consumidos a nivel mundial (Dongyu, 2023). La papa es un tubérculo de la familia Solanácea, cuyo interior (usualmente sin la cáscara) es consumido como un vegetal a nivel mundial debido a que tiene un muy buen valor nutricional (Akter et al., 2023).

La papa es uno de los alimentos básicos de la dieta humana, que se consumen en todo el mundo. Una de las razones para esto es que se considera una de las fuentes de energía más baratas. Este cultivo posee un alto valor nutricional y calorífico. Sin embargo, en comparación con otros cultivos muy producidos, la papa es más rentable en términos de la relación nutriente – precio (Lal et al., 2024). A parte del beneficio económico de la producción de papa, existen otras razones por las cuales esta es un pilar de la dieta. Con más de 5,000 variedades, este es considerado el cultivo más diverso genéticamente entre el resto de los cultivos más consumidos. Otro factor muy importante de su popularidad es que la papa es un cultivo con alta adaptabilidad ecológica. Esta es resistente a factores ambientales como sequía, frío e infertilidad de la tierra. Esto la ha colocado en una posición en la cual no compite con otros cultivos como trigo, maíz y arroz por tierra, agua o fertilizante, dándole una ventaja en el crecimiento de su producción. Además, este cultivo tiene un potencial de expandir su área de cosecha por más de 14.5 millones de hectáreas desde el 2020 al 2030 y aumentar su rendimiento en 2.5 toneladas por hectárea de cultivo en el mismo periodo de tiempo (Dongyu, 2023). Su rentabilidad de producción, la facilidad y versatilidad de cultivo, su potencial de crecimiento y su alto valor nutricional son algunos de los factores que hacen que la papa permanezca como uno de los cultivos más importantes a nivel global.

#### 5.1.1. Composición de la papa

La papa es considerada un vegetal con un alto valor nutricional. Múltiples estudios y fuentes han demostrado que la papa es una fuente importante de carbohidratos, almidón resistente, proteínas de alto valor biológico, vitaminas y algunos minerales. Es muy baja en grasa y alta en fibra dietética (Dongyu, 2023). La composición química puede ser afectada por múltiples factores, como la variedad de papa, el clima, tipo de tierra, tipo de fertilizante durante el cultivo, condiciones de almacenamiento post cosecha, etc. En general, se ha encontrado que la composición de la papa puede representarse de la siguiente forma:

**Cuadro 1. Composición nutricional por cada 100g de papa**

<b>NUTRIENTE</b>	<b>CANTIDAD</b>
ENERGÍA	96 – 123 kcal
PROTEÍNA	1.76 – 2.95 g
LÍPIDOS	0.1 – 0.5 g
ALMIDÓN	16 – 20 g
FIBRA DIETÉTICA	1.8 – 2.1 g
POTASIO	150 – 1386 mg
FÓSFORO	42 – 120 mg
MAGNESIO	16 – 40 g
HIERRO	0.19 – 0.48 mg
ZINC	0.29 – 0.69 mg
VITAMINA C	7.8 – 20.6 mg
VITAMINA B6	0.299 mg
ÁCIDO CLOROGÉNICO	19 – 399 mg
GLICOALCALOIDES	0.7 – 18.7 mg

Fuente: propia, con base en (Burgos et al., 2020).

#### 5.1.2. Producción y consumo de papa

La papa es uno de los cultivos más producidos y consumidos en todo el mundo. En términos de volumen de producción, se posiciona en cuarto lugar a nivel mundial, después de cultivos como maíz, trigo y arroz (Çalışkan et al., 2023). La producción anual de papa es muy alta y según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, en el año 2022 dicha producción alcanzó más de 375 millones de toneladas métricas de papa en todo el mundo. Además, como se puede observar en la Figura 1, este valor ha mostrado una tendencia de aumento de alrededor de 1% de volumen de la producción mundial en los últimos años. De estas cifras, China e India son los mayores productores de papa, con un volumen de producción conjunto que representa 1/3 de la producción mundial (FAOSTAT, 2024). Se estima que la producción de papa global alcanzará 750 millones de toneladas de producción para el año 2030, con un aumento de 112% en comparación con la producción actual (Dongyu, 2023). El rendimiento de la producción de papa también ha crecido tanto que en 20 años (2000 – 2020) el área de siembra ha disminuido por 17%, mientras que su producción aumentó en 11.25%. Este rendimiento ha observado un aumento de 34.18%.

La papa no solo es producida en grandes cantidades, sino que también es de los cultivos más consumidos en todo el mundo. Este tubérculo es consumido como un alimento básico por alrededor de 2/3 de la población. El consumo de papa per cápita es más de 31 kg anualmente, por lo que este tubérculo forma una parte crucial de la dieta de las personas,

incluso en países en desarrollo (Pllana et al., 2018). Aproximadamente el 50% de la papa es consumida en hogares como parte de la dieta diaria y el resto es procesada en la industria.

### 5.1.3. Producción y consumo de papa a nivel nacional

En Guatemala, el cultivo de papa es uno de los sistemas de producción más importantes. La cosecha de papa se da en los departamentos más fríos y se produce comercialmente en 10 de los 22 departamentos del país. Sin embargo, el 77% de la producción se da en 3 departamentos: Huehuetenango, Quetzaltenango y San Marcos (MINECO, 2015). La producción promedio de papa a nivel nacional es de 11,576,900 quintales al año. La papa también es muy consumida en el país, ya que se ha encontrado que aproximadamente el 78% de la población nacional consume este tubérculo en sus dietas de manera frecuente. En la región de altiplano occidental es donde hay un mayor consumo de la papa, siendo de aproximadamente 29 gramos al día (Rivera et al., 2018).

### 5.1.4. Uso de la papa

Como se mencionó anteriormente, la papa es un cultivo cuya producción y consumo es muy alta a nivel mundial. La papa es consumida usualmente de manera fresca o como un ingrediente en la elaboración de comida en los hogares. Sin embargo, alrededor del 50% de la producción mundial de papa es consumida de manera procesada por la industria de alimentos. El crecimiento anual en el consumo de la papa y el aumento de la demanda de productos de papa ha guiado a la industria de alimentos a procesar este tubérculo para la creación de nuevos productos (Akter et al., 2023). El procesamiento de la papa puede dividirse en los siguientes productos finales: papa congelada, papa seca, papa preservada, papas fritas, snacks de papa, puré de papa o almidón/harina de papa (Sampaio et al., 2020). El aumento de la producción de papa en sus distintas formas, genera de manera consecuente un desperdicio grande de papa en la industria, principalmente de cáscara ya que la mayoría de estos procesos requieren que la papa sea pelada previamente al procesamiento sin importar el método de pelado que sea utilizado (Jimenez-Champi et al., 2023).

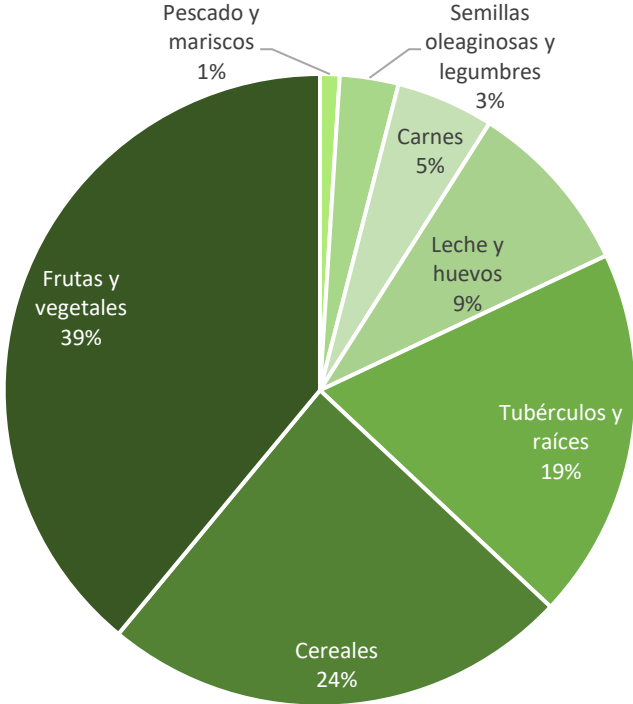
## 5.2. Desechos de alimentos

El desecho de papa es sólo uno de los múltiples desperdicios que se dan en la industria de alimentos. Esta es una de las industrias más grandes y rentables del mundo, en la cual se procesa una vasta cantidad de materia prima orgánica. Además, es una de las industrias en las cuales existe una mayor cantidad de desecho de la misma naturaleza a través de toda la cadena de suministro. Este desperdicio ocurre en las fases de cosecha, procesamiento, transporte, mercado y consumo. La cantidad de desechos de alimentos que produce la industria crece cada año (Gonçalves & Maximo, 2023).

Se identifica como desecho de alimentos a la comida que es apta para consumo o potencialmente puede ser utilizada para consumo humano pero que por varias razones termina siendo desechada y desperdiciada en la cadena de suministro (Ijaz et al., 2024). El desperdicio de alimentos puede darse por varios factores en la industria de alimentos, como líneas de producción ineficientes, falta de tecnología adecuada, infraestructura pobre, logística, capacidad de manejo limitada y falta de habilidades de manejo (Roy et al., 2023). Se estima que se desperdicia alrededor de un tercio de la comida que es procesada en todo el mundo, lo cual es aproximadamente 1.3 billones de toneladas de desperdicio de alimentos. El procesamiento industrial no es la parte de la cadena de suministro en la cual se desperdicia

más comida, sin embargo, sí se desperdicia una enorme cantidad que equivale a casi el 20% de todo el desperdicio mundial. Es importante resaltar que, de todo el desperdicio de alimentos en el mundo a nivel anual, el 39% de este corresponde al desperdicio de frutas y vegetales y el 19% corresponde al desperdicio de tubérculos y raíces, como se puede observar en la Figura 2. Este tipo de desperdicio es muy común y casi inevitable en la industria de alimentos, debido a que incluye cáscaras, pieles y tallos. Sin embargo, se ha encontrado que este tipo de desperdicio biológico es rico en nutrientes, proteínas, carbohidratos y lípidos, los cuales hacen que esta materia tenga un potencial para su consumo en vez de ser desechada (Roy et al., 2023).

**Figura 2. Categorización de desperdicio de alimentos.**



Fuente: propia, con base en (Roy et al., 2023).

5.2.1. Consecuencias del desecho de alimentos

El desperdicio de alimentos es un problema que ha generado preocupación a nivel global, debido a que su manejo no apropiado tiene consecuencias graves a nivel económico, ambiental y social (Roy et al., 2023). El desperdicio de alimentos se considera una falla económica de la industria en la cual se pierde más del equivalente a 1 trillón de dólares americanos en comida. Este desperdicio entonces presenta una gran pérdida económica en la industria, la cual es imposible recuperar en la cadena. Otra de las consecuencias graves del desperdicio es en el criterio social debido a que existe una gran cantidad de población a nivel mundial que padece de hambruna o desnutrición y aun así, este desperdicio de alimento aumenta cada año (United Nations, 2024). Se ha estimado que alrededor de 690 – 829 millones de personas en el mundo sufren de hambre y más de 150 millones de niños menores

a 5 años sufren las consecuencias de la falta de alimento de nutrientes en su dieta a través del retraso en su crecimiento y desarrollo (Roy et al., 2023).

El desperdicio de alimentos tiene un grave impacto negativo, no sólo en la economía y la desnutrición en el mundo, sino también en el medio ambiente. La pérdida y desperdicio de alimentos es responsable de alrededor del 8 – 10% de las emisiones totales de gas de efecto invernadero en el mundo. Además, este desperdicio ocupa alrededor del 30% del área que se utiliza para agricultura. Este desperdicio de producto final, que ocupa un área superficial de cosecha presenta un efecto negativo al medio ambiente debido a que la conversión de ecosistemas naturales a tierra para cosecha es una causa principal de pérdida de hábitat para los organismos (United Nations, 2024). El desperdicio de alimentos generalmente se maneja por medio de vertederos como basura común. Debido a que esta es materia orgánica, produce lixiviados tóxicos que son dañinos para el suelo y también provocan contaminación por medio de la descomposición por digestión de su materia aprovechable por microorganismos (Khanal et al., 2023). Por estas principales razones, el desperdicio de alimentos es un problema crítico, el cual debe ser resuelto.

#### 5.2.2. Aprovechamiento de desechos

El aprovechamiento de desechos y subproductos de la producción en la industria de alimentos es un sujeto de estudio actual debido a su alto contenido nutricional, su potencial para producción y las consecuencias de su desperdicio. Se ha encontrado que los desechos de alimentos contienen compuestos bioactivos, así como propiedades antimicrobianas y antioxidantes que pueden ser aprovechadas (Jimenez-Champi et al., 2023). Como se mencionó anteriormente, existen graves consecuencias del desperdicio de alimentos. Este es un problema global, el cual se está buscando minimizar por medio de su uso en la creación de productos de alto valor (Sampaio et al., 2020).

#### **Economía circular**

Desde el principio de la industrialización en la historia hasta principios del siglo XXI se ha observado un comportamiento de economía lineal, en la cual se han aprovechado recursos y materiales abundantes y baratos. Los consumidores están acostumbrados a un mecanismo de compra, uso y desecho de los productos. Sin embargo, en los últimos años se ha observado un aumento en la producción y, por ende, en los desperdicios de alimentos, con consecuencias directas para la industria. Estas consecuencias, junto con el aumento de la demanda de energía y la limitación de recursos naturales disponibles, se ha buscado cambiar el mecanismo de economía lineal (Rajković et al., 2020).

El concepto de *Economía Circular* se refiere al sistema industrial renovable o regenerativo con el fin de eliminar desechos por medio del diseño de sistemas, productos y modelos de negocio de mayor valor. También se describe como una estrategia económica en la que se buscan maneras innovativas de transformar la economía lineal para alcanzar sostenibilidad con el ahorro y reciclaje de materiales. Este tipo de sistemas engloba actividades que reducen, reutilizan y reciclan materiales en procesos de producción, distribución y consumo (Rajković et al., 2020).

#### **Valorización**

La valorización se define como la transformación de los desperdicios de alimentos, subproductos o material biológico desaprovechado en productos de alto valor y su aplicación efectiva en la industria por medio de distintas técnicas y procesos (Roy et al., 2023). Esta práctica se puede llevar a cabo con desperdicios de comida, ya que estos usualmente son muy altos en humedad y carbohidratos y contienen proteínas y lípidos, lo que les permite ser una buena matriz para utilizarlos en otras aplicaciones, como digestión anaeróbica, fermentación, hidrólisis, carbonización, bioenergía, etc. También se están utilizando estos residuos para la creación de nuevos productos con valor agregado para aprovechar el desecho en la industria de alimentos (Khanal et al., 2023).

## **ODS**

Se han llevado a cabo iniciativas globales para atender situaciones que tienen impacto negativo en el mundo, específicamente en el medio ambiente. Una de ellas es específica para este tipo de problemas de desperdicios de alimentos. En el 2015, las Naciones Unidas crearon un plan para mitigar el cambio climático global por medio de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible. Uno de los enfoques de estos objetivos fue el poder trabajar para conseguir una producción sostenible en la industria, con cero emisiones de carbono y generación de desechos, a través de la disminución de recursos no renovables. Este es el Objetivo de Desarrollo Sostenible 12, llamado “Consumo y Producción Responsable”. A través de este se busca encontrar alternativas de modelos económicos para reducir el uso de materiales y energías no renovables en la fabricación de productos, así como reducir los desechos que se derivan de la industria de alimentos. El otro objetivo que se puede ver reflejado en este estudio es el Objetivo de Desarrollo Sostenible 13, llamado “Acción por el Clima”. A través de este se busca tomar acción ante el problema del cambio climático, para mitigar sus consecuencias (Gonçalves & Maximo, 2023).

### **5.3. Cáscara de papa**

La cáscara o piel de papa es la parte externa del tubérculo de papa (peridermis de la papa). Esta actúa como una capa o barrera protectora de la papa ante pestes, patógenos y pérdida de agua al ambiente. La cáscara también actúa como tejido para sanar heridas de la epidermis de la papa, las cuales ocurren comúnmente durante el desarrollo de la papa o durante el manejo del cultivo después de la cosecha (Sampaio et al., 2020).

#### **5.3.1. Desecho de la cáscara de papa**

Es una práctica común en la industria de alimentos que, durante el procesamiento de la papa para cualquier producto, esta sea pelada o cortada. Estas actividades generan una gran cantidad de desecho industrial sin valor (Thakur et al., 2021). La cáscara de papa es uno de los principales desechos que se derivan de la producción de alimentos que utilizan papa como materia prima. Una de las industrias que más utiliza papa en la producción y que genera una gran cantidad de desechos de cáscara es la industria de snacks. Se ha demostrado que, dependiendo del método de pelado que se utilice en la producción, se puede generar un desecho de cáscara de papa que equivalen a 15 – 40% de la biomasa de la papa original (Lal et al., 2024). Toda esta cáscara genera un desecho industrial de aproximadamente 70 – 140 mil toneladas de cáscara de papa (Sampaio et al., 2020).

Esta gran cantidad de cáscara de papa que se elimina en la producción puede generar diversas consecuencias, de las cuales una de las más importantes y alarmantes es el riesgo

que el desecho presenta al medio ambiente. En la actualidad, el método para desecho de este desperdicio que más se emplea en la industria es por medio de vertederos (Khanal et al., 2023). En la industria de alimentos, una de las fuentes más comunes de contaminación al medio ambiente es la descomposición de desechos biológicos, como lo es la papa, en vertederos. Esta descomposición ocurre cuando los microorganismos se alimentan de la materia biológica que compone el desecho (Gebrechistos & Chen, 2018). Otra causa común de contaminación, consecuencia del uso de vertederos, son las emisiones de gases dañinos de efecto invernadero y lixiviados tóxicos. Se ha encontrado que para el año 2030 este tipo de prácticas pueden generar hasta 8,000 kilo toneladas de desecho de cáscara de papa. Esta substancial cantidad de desechos impactaría de manera significativa al medio ambiente generando 5 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Khanal et al., 2023).

En la actualidad, este desecho puede ser manejado por medio de vertederos, como ya se mencionó anteriormente, o de otras formas que igual generan un desperdicio del potencial de la cáscara de papa. Otras aplicaciones que se emplean tradicionalmente para no desechar la cáscara de papa es la producción de alimento para animales de bajo valor, la generación de biogases y fertilizantes. Estos procesos evitan que la cáscara de papa sea directamente eliminada. Sin embargo, estas aplicaciones presentan un desperdicio nutricional y del potencial de aprovechamiento de la cáscara de papa (Jimenez-Champi et al., 2023). La cáscara de papa tiene propiedades antioxidantes, antibacterianas, apoptóticas, quimio preventivas y antiinflamatorias, lo cual presenta una gran capacidad de aprovechamiento de esta como materia prima para el consumo humano (Abebaw, 2020). Además de las consecuencias ambientales del desecho industrial del procesamiento de papa, esta puede generar una pérdida económica no deseada (Gebrechistos & Chen, 2018).

Perpetuar estas prácticas de desecho industrial genera consecuencias no deseadas para la industria de alimentos. La materia como cáscara de papa tiene nutrientes que tienen potencial de ser utilizados para agregar valor a productos ya existentes o nuevos. Se ha demostrado que la cáscara de papa de desecho de la industria de alimentos, específicamente de frituras/snacks, tiene el potencial de ser una materia prima asequible, barata y valiosa para la producción de productos nuevos con valor agregado, sustancias, extracciones, etc.(Abebaw, 2020). El mal manejo del desecho de cáscara de papa es considerado un problema alarmante, ya que contribuye de manera significativa a la huella de carbono. Es por esto que la valoración de la cáscara de papa y aprovechamiento de sus propiedades nutricionales debería ser de interés para la industria de alimentos (Akter et al., 2023).

### 5.3.2. Composición de la cáscara de papa

La cáscara de papa está compuesta por múltiples sustancias que generan un beneficio nutritivo para la salud del consumidor. Las propiedades más importantes que se han reconocido en los nutrientes de la cáscara de papa son: antioxidante, quimiopreventiva, antibacteriana, apoptótica y antiinflamatoria. Entre los compuestos más importantes se mencionan los fenólicos y glico alcaloides, debido a que las cáscaras contienen 43% y 10% de estas sustancias, respectivamente (Lal et al., 2024). La capacidad antioxidante de la cáscara de papa es ampliamente reconocida. Esta es causada en gran parte por los compuestos fenólicos existentes en la cáscara, los cuales protegen las células del cuerpo del estrés oxidativo y pueden ser aplicados a matrices alimentarias para retrasar la oxidación y extender la vida útil de algunos productos alimenticios (Sampaio et al., 2020). Por otra parte, la

fracción lípida de la cáscara incluyendo los ácidos grasos, exhiben capacidades antibacterianas. Los compuestos bioactivos que se encuentran presentes en la cáscara son fibra dietética, flavonoides, antocianinas, aminoácidos, vitaminas C, B1, B2 y B3 y minerales como calcio, fósforo y hierro (Jimenez-Champi et al., 2023).

Es necesario conocer la composición nutricional de la cáscara de papa para poder entender su importancia y su potencial para el aprovechamiento de este desecho. Esta composición, al igual que la de la papa entera, puede variar dependiendo del área geográfica del cultivo de la papa. La cáscara tiene una composición que consiste en una gran variedad de sustancias nutricionales que son esenciales, como fibra, lípidos, ácidos grasos, polifenoles y ácidos fenólicos (Ijaz et al., 2024). Además, contienen una alta cantidad de minerales como y vitaminas. La cáscara tiene un alto porcentaje de humedad y el principal macronutriente que la compone son los carbohidratos y tiene bajas cantidades de grasa (Sampaio et al., 2020). Es importante considerar que el aporte energético de la cáscara es de 415 kcal por 100 gramos de cáscara completa (Ijaz et al., 2024). La composición proximal de la cáscara de papa que se encuentra en la teoría es la siguiente:

**Cuadro 2. Composición de la cáscara de papa**

NUTRIENTE	CANTIDAD POR 100 GRAMOS DE CÁSCARA	PORCENTAJE EN PESO SECO
AGUA	83.3 – 85.1 g	-
PROTEÍNA	1.2 – 2.3 g	8%
LÍPIDOS TOTALES	0.1 – 0.5 g	2.65%
CARBOHIDRATOS TOTALES	8.7 – 12.4 g	69 - 88%
ALMIDÓN	7.8 g	30 – 52%
FIBRA DIETÉTICA	2.5 g	9 – 22%
CONTENIDO FENÓLICO	1.02 – 2.92 g	-
FLAVONOIDES TOTALES	0.51 – 0.96 g	-
CENIZAS	0.9 – 1.6 g	6.35%

Fuente: propia, con base en (Javed et al., 2019) y (Sampaio et al., 2020).

Los carbohidratos son el macronutriente más abundante en la cáscara de papa. El almidón es una de las mayores partes que comprende la fracción de carbohidratos de la cáscara, ya que esta tiene un muy bajo contenido de azúcares fermentables (0.6% en base seca). Es por esto que la cáscara de papa como matriz para fermentación no es posible o factible (Javed et al., 2019). La fibra también es un compuesto que se encuentra en grandes cantidades en la cáscara, la cual puede presentar múltiples beneficios si es ingerida de manera regular en la dieta. La fibra está dividida en dos grandes grupos: fibra soluble (dietética) e insoluble. La fibra dietética contiene sustancias que se solubilizan en agua, como pectinas, betaglucanos, inulina, etc. La fibra insoluble está compuesta por celulosa, hemicelulosa y

lignina. Como su nombre lo dice, esta fibra no es soluble en agua, por lo que pasa intacta a través del tracto intestinal, por lo que no es una fuente de calorías por su consumo (Jimenez-Champi et al., 2023).

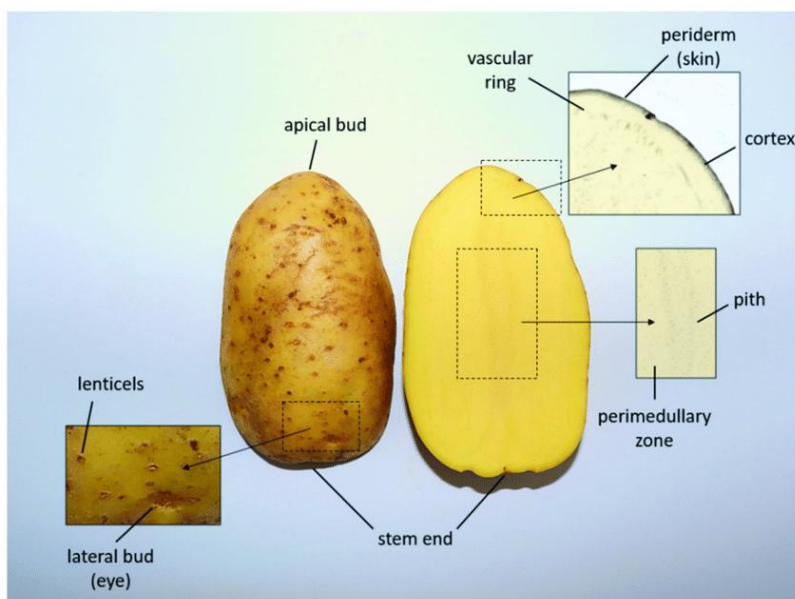
Ambos tipos de fibra que se encuentran en cantidades significativas en la cáscara de papa presentan propiedades favorables para la salud humana. Los beneficios del consumo de fibra dietética incluyen la reducción de colesterol por medio de formación de geles, reducción de niveles de glucosa en la sangre, reducción de inflamación, potencial de regulación de diabetes y aumento de la salud digestiva, por medio de su actividad prebiótica, entre otros (Lal et al., 2024). La cáscara también contiene una parte de fibra insoluble, la cual está compuesta por 30% peso seco de polisacáridos no almidonados y un 20% de peso seco de lignina soluble en ácido a insoluble, entre otros compuestos. Este tipo de fibra, a pesar de no ser digerida, presenta varios beneficios como su potencial de prevención de padecimientos como diabetes y problemas del corazón y la regulación del metabolismo de lípidos y lipoproteínas. Además tiene beneficios funcionales en alimentos, como la mejora de capacidad de retención de agua, retención de aceite y absorción de glucosa en las matrices alimentarias (Jimenez-Champi et al., 2023).

La proteína es otro de los macronutrientes principales en la cáscara de papa, ya que es el segunda más abundante luego de los carbohidratos. La proteína puede cambiar muy drásticamente dependiendo de los factores que alteran la composición de la papa. Se ha encontrado en varios estudios que este contenido incluso puede cambiar entre 2 – 17% en peso seco. También se ha encontrado que el contenido de aminoácidos en la cáscara es de 429 – 666mg de aminoácidos por cada 100 gramos de cáscara en peso seco y el nivel de aminoácidos libres totales está entre 1,383 y 2,077 mg por cada 100 gramos de cáscara en peso seco (Sampaio et al., 2020). Se ha comprobado en varios estudios que la cáscara de papa tiene un mayor contenido de nitrógeno y aminoácidos que la “carne” de la papa. Por otra parte, el contenido de grasa de la cáscara es muy bajo, sin importar la variedad en su área geológica de cultivo. La fracción lípida de la cáscara está compuesta en su mayoría por triglicéridos, además de ácidos grasos de cadena larga, alcoholes, esteroides, ésteres y compuestos fenólicos (Ijaz et al., 2024).

Así como el método de pelado que se utilice para la papa tiene un efecto en la cantidad de cáscara de papa que se genera, se ha demostrado que estos métodos también influyen en la composición química de la cáscara. El pelado con vapor es un método que se utiliza mucho para la producción de papa deshidratada. Este método resulta en una mayor composición de humedad y fibra dietética y menor contenido de almidón en la cáscara que el pelado por abrasión, el cual se utiliza de manera común en la industria de frituras y snacks de papa. Adicionalmente, el contenido de ligninas mostró ser menor en el pelado con abrasión que con el pelado de vapor. Por último, el pelado manual mostró tener la mayor cantidad de fibra total, con un porcentaje de 63% de peso en base seca (Javed et al., 2019).

### 5.3.3. Morfología de la cáscara de papa

#### *Figura 3. Estructura de la papa y su cáscara*



Fuente: Miller et al., 2022.

A parte de la composición química, existen otras propiedades morfológicas importantes de las cáscaras de la papa. Como ya se mencionó antes, el peridermis es la parte exterior de la papa, es comúnmente llamada la “cáscara” de la papa. Este peridermis está compuesto por células de felógeno. El felógeno consiste en múltiples capas de “piel” que contienen una compleja macromolécula llamada suberina, la cual es la responsable de la estructura, fuerza, estabilidad y propiedades de protección de la cáscara. Existen varios factores que tienen influencia en las características de la cáscara o peridermis de la papa. El genotipo de la papa es el factor que más afecta la cáscara, ya que este determina la dureza, el grosor de la papa y su capacidad de adherirse a la “carne” de la papa – y por ende la facilidad con la que la papa se puede pelar-. La cáscara también se ve afectada por el ambiente, ya que climas de cultivo más fríos y húmedos resultan en una cáscara más delgada y débil (Sampaio et al., 2020).

El color de la papa también es un factor que se ve afectado por el genotipo y el ambiente. Las papas pueden tener distintos colores en la cáscara, los cuales se atribuyen a la concentración de los distintos pigmentos en el peridermis de la papa. Colores inusuales como rojo, morado y blanco pueden ser observados en la cáscara de papa, los cuales se expresan principalmente por el alto contenido de antocianinas en la cáscara. Una variedad de factores que afectan estos colores que se pueden ver en la cáscara, a parte del genotipo, son co-pigmentación, interacción entre iones metálicos, el pH del suelo de cultivo y contenido de peróxidos (Sampaio et al., 2020).

#### 5.3.4. Aprovechamiento de la cáscara

Como ya se mencionó previamente, la papa es una materia que puede ser utilizada en la industria de alimentos, y otras industrias, debido a su alto contenido de nutrientes. En la actualidad existen varias formas de valorización de la cáscara de papa, con el fin de aprovechar sus propiedades favorables y reducir el desperdicio y sus consecuencias en el

medio ambiente y la sociedad. Algunas de las aplicaciones más frecuentes en la teoría son las siguientes:

### **Alimento de animales**

Este es uno de los métodos de valorización de la cáscara más utilizados actualmente en la industria. La cáscara de papa contiene muchos nutrientes que pueden ser favorables para los animales. La generación de muchos desperdicios de cáscara de papa, el aumento de la demanda de ganado y el aumento del costo de la comida de animal ha posicionado a la cáscara como una alternativa ecológica, nutritiva y de alta calidad a la comida de animal convencional, especialmente en países en desarrollo (Abebaw, 2020); (Gebrechristos & Chen, 2018). Se ha demostrado que, al alimentar vacas con cáscara de papa, se ha aumentado a cierto punto la calidad de la leche y de la carne de vaca. El mismo aumento de calidad en carne y leche puede ser observado para la vaca cuando se reemplaza su alimento hasta en 50% con cáscara de papa. Finalmente, el pescados se ha observado que se aumenta la cantidad de grasa y de tejido muscular de los peces al implementar cáscara de papa en su alimentación (Ijaz et al., 2024).

### **Fuente de fibra dietética**

La fibra es una de las partes más abundantes en la composición de la cáscara de papa. La recuperación de fibra dietética de la cáscara de papa está teniendo un auge en la industria de alimentos debido a que ha demostrado que puede ser un factor de reducción significativo de costos. Se ha utilizado la cáscara de papa como ingrediente en varios tipos de producto para aprovechar la fibra dietética. Se han enriquecido snacks de harina de papa, con un resultado óptimo de sustitución con cáscara de 1.83% y 8.3% de fibra final. Otro producto que se ha elaborado es pasta de harina de trigo con una sustitución exitosa de cáscara de harina, la cual aumentó el contenido final de fibra de 7 – 21 veces. Se ha utilizado la cáscara de papa como un sustituto de grasa en la producción de albóndigas, logrando una sustitución de hasta 100%, con un contenido final de casi 5% de fibra dietética y una mayor capacidad de absorción de agua. Además, se ha logrado realizar snacks de trigo fritas con una sustitución pequeña de cáscara de papa para reducir la grasa de 40 a 10% y aumentar el contenido de proteínas (Jimenez-Champi et al., 2023). También se ha utilizado cáscara para enriquecer varios productos de panadería como pan, muffins y pasteles para aumentar la cantidad de fibra, por medio de sustituciones de la harina normal (Ijaz et al., 2024). Con el uso de cáscara de papa para sustituir carbohidratos, e incluso lípidos, en productos convencionales es posible aumentar su contenido de fibra.

### **Fuente de antioxidantes naturales**

En la industria es de suma importancia prolongar la vida útil de los alimentos por medio de la prevención de oxidación. Esto se consigue usualmente por medio de la adición de antioxidantes sintéticos. Sin embargo, se ha identificado el riesgo que presentan antioxidantes sintéticos como BHT o BHA a la salud del consumidor. Los antioxidantes y compuestos fenólicos del desperdicio de cáscara de papa han demostrado un alto potencial antioxidante, que puede ser utilizado para empezar a sustituir a los antioxidantes químicos (Ijaz et al., 2024). La cáscara de papa contiene una mayor cantidad de compuestos fenólicos que la “carne” de la papa, entre los cuales se encuentran en abundancia los ácidos clorogénico y gálico. Se ha encontrado que para aplicaciones en aceites vegetales, la cáscara de papa tiene actividad antioxidante comparable con BHT o BHA, aunque se requiera de más cáscara para

conseguir el poder antioxidante (Abebaw, 2020); (Gebrechristos & Chen, 2018). Se ha demostrado la actividad antioxidante de la cáscara de papa en otras aplicaciones de la industria de alimentos como en la prevención de oxidación de distintos tipos de carnes, aceites y otras matrices alimentarias (Javed et al., 2019);(Jimenez-Champi et al., 2023).

### **Capacidad antimicrobiana**

Una de las propiedades que tiene la cáscara de papa es su capacidad antimicrobiana ante bacterias y hongos, la cual se puede atribuir en su mayoría a compuestos orgánicos como flavonoides y terpenos (Gebrechristos & Chen, 2018). En la industria de alimentos es necesario hacer uso de compuestos que prolonguen la vida útil de los alimentos y los protejan ante contaminación. La industria de alimentos está haciendo esfuerzos por encontrar alternativas a compuestos antimicrobianos sintéticos. La cáscara de papa presenta un gran potencial para su uso como un antimicrobiano natural en múltiples productos alimenticios (Ijaz et al., 2024).

### **Películas/Recubrimientos**

Debido a su contenido de almidones y compuestos fenólicos, se ha buscado elaborar recubrimientos de cáscara de papa para preservar alimentos. Se han elaborado películas con buenos resultados sensoriales. Los recubrimientos de cáscara presentan características físicas similares a los recubrimientos elaborados con 100% almidón. Sin embargo, se encontró que tienen mejores propiedades de barrera como resistencia de humedad y transmisión de oxígeno a través de la barrera. Este tipo de barreras actúan también como antioxidantes en otro tipo de alimentos, lo cual mejora su vida útil y características sensoriales y fisicoquímicas (Ijaz et al., 2024);(Javed et al., 2019).

### **Aplicaciones medicinales y farmacéuticas**

Debido a su contenido de nutrientes y variedad de propiedades, la cáscara de papa puede ser utilizada en la industria medicinal y farmacéutica. Se ha propuesto el uso de cáscaras de papa como vendajes para heridas leves en medicina debido a su alto contenido de almidones. Las ventajas del uso de cáscaras de papa como vendaje son: recuperación rápida de textura y color de piel, minimización del dolor de remoción del vendaje en los pacientes, mayor comodidad y aceleración de recuperación epitelial. Adicionalmente, las características antioxidantes de la cáscara han mostrado potencial para minimizar daños en el hígado. Otra de las propiedades que se ha demostrado en la cáscara es su capacidad anticancerígena (Ijaz et al., 2024).

La cáscara puede utilizarse también como un agente activo en productos farmacéuticos. Uno de los compuestos de mayor interés son los glicoalcaloides, que pueden ser utilizados en medicamentos como un precursor de los esteroides como tratamiento hormonal. La cáscara de papa tiene mayor cantidad de este compuesto que la “carne”, por lo que este desecho tiene potencial para este uso (Abebaw, 2020). La alta capacidad antioxidante de la cáscara también provee beneficios en este tipo de productos. Se ha demostrado que el extracto de cáscara de papa con estos antioxidantes tiene el potencial de reprimir la acción de peroxidación de lípidos en el hígado. Además, este mismo concentrado presentó una alta prevención de la oxidación de ADN. Los resultados de varios estudios in vitro sugieren que es posible aprovechar la actividad antioxidante, actividad eliminadora de superóxido, acción quelante y potencial de reducción para uso de fármacos y alimentos

funcionales para personas que lo necesitan. La fibra dietética también tiene un amplio uso en la industria de fármacos. Se ha encontrado que esta fibra tiene un potencial rol de protección contra carcinogénesis y mutagénesis por medio de mecanismos como su enlace con materia carcinogénica y mutagénica, reducir el tiempo de tránsito de materia fecal en el intestino, aumentar la masa fecal y su capacidad de absorción de agua y reducir su pH. Otro uso muy importante que se está estudiando es su uso para la reducción de los distintos tipos de colesterol (Javed et al., 2019). Esta materia todavía está siendo estudiada debido a su alto potencial como ingrediente en fármacos.

### **Aplicaciones biotecnológicas**

La cáscara de papa también puede ser aplicada al ámbito de la biotecnología para aprovechar sus nutrientes y capacidad. Por medio de esta se puede obtener distintas enzimas como la polifenol oxidasa. Esta enzima es muy importante en varios procesos de biotecnología y puede extraerse de manera química de la cáscara. Los carbohidratos de la cáscara también tienen cierto potencial de fermentación, la cual ocurriría en estado sólido en la cáscara de papa. Durante la fermentación de microorganismos, existe la producción de múltiples enzimas como la alfa amilasa y proteasa alcalina que pueden ser utilizadas para otros procesos en la industria (Ijaz et al., 2024). Otra aplicación que se está estudiando en la actualidad es la producción de ácido láctico. Esta también ocurre por medio de fermentación anaerobia de estado sólido en un ambiente controlado. Este beneficio se está explorando debido a que el ácido puede ser utilizado en varias industrias como la de alimentos, farmacia y cosméticos (Javed et al., 2019).

### **Biofertilizante**

Se han hecho pruebas exitosas de la elaboración de biofertilizante con residuos de cáscara de papa. El biofertilizante puede ser sintetizado por medio de la acción de microorganismos del suelo, debido a que la cáscara tiene cantidades significativas de proteínas y almidones. El biofertilizante es una manera efectiva y barata de retornar los nutrientes al suelo y enriquecerlo para aplicaciones de agricultura. (Abebaw, 2020).

### **Generación de energía**

Otra aplicación importante que se ha explorado es la creación de energía por medio de biogases. Actualmente se usan los combustibles a base de petróleo, pero estos tienen precios muy fluctuantes y se están agotando con el tiempo los recursos de petróleo. Por esta razón, se están buscando alternativas a combustibles que sean más renovables, sostenibles y amigables con el ambiente. La producción de biogases con material orgánico de desecho se ha estudiado de manera extensiva, y la cáscara de papa muestra ser una materia inicial con mucho potencial (Gebrechristos & Chen, 2018). El proceso de elaboración de ocurre de igual forma con una fermentación anaerobia de manera simple y barata. Se ha encontrado que cada tonelada de desechos con alto contenido de almidón, como la cáscara de papa, producen 250 metros cúbicos de gas metano. La papa que ha sido utilizada para la producción de ácido láctico por medio de fermentación también se ha utilizado para esta aplicación, obteniendo un rendimiento de metano de 60 – 70% (Javed et al., 2019). La cáscara de papa también tiene potencial para la producción de etanol, pero debe ser tratada con otros procesos antes. Debido a que los carbohidratos de la cáscara están compuestos de almidón, estos deben ser convertidos por procesos químicos a azúcares fermentables para poder llevar a cabo la fermentación etanólica y producir bioetanol. El bio aceite es otro producto que puede ser

utilizado para obtener energía y calor. Esta puede ser sintetizado por medio de la pirolisis del desecho de cáscara de papa (Ijaz et al., 2024). La cáscara de papa muestra un alto potencial para la creación de energías renovables para una alternativa ecológica al petróleo.

## **5.4. Extrusión**

### **5.4.1. Proceso de extrusión**

La extrusión puede ser definida como un proceso termo mecánico en el que ocurre transferencia de calor y transferencia de masa (Téllez-Morales et al., 2022). Este mecanismo tiene la cualidad de combinar múltiples operaciones como mezcla, amasado, corte, calentamiento, bombeo, formado, cocción, esterilización y secado en un solo equipo, del cual se obtienen productos extruidos. La extrusión es un proceso continuo en el cual un material que posee almidón y proteínas es modificado bajo estas condiciones para obtener un producto nuevo y diferente (Dalbhagat et al., 2019). Durante el paso de la materia prima a través del extrusor ocurren varios procesos como gelatinización de almidón, desnaturalización de proteínas, inactivación de enzimas vegetales, minimización de oxidación de lípidos, eliminación de anti nutrientes en la materia prima y la disminución de la carga microbiana, que provoca una esterilización del producto final (Amer & Rizk, 2022).

La extrusión se ha convertido en una tecnología muy importante en la industria de alimentos y es considerada como un mecanismo versátil, con bajos costos de operación, alta eficiencia energética, alta productividad y calidad superior del producto final (Téllez-Morales et al., 2022). Además, este es un proceso muy beneficioso debido a que tiene una alta retención de nutrientes en comparación con otros procesos que utilizan calor. Esto es debido a que tiene un mecanismo de HTST (alta temperatura, poco tiempo), el cual permite que no haya muchas pérdidas de nutrientes en el proceso, por el corto tiempo de residencia del producto en altas temperaturas (Choton et al., 2020). Debido al funcionamiento de la extrusión, esta permite combinar varios ingredientes y es un proceso que tiene mucho potencial para el manejo de subproductos como materia prima en la elaboración de nuevos productos (Amer & Rizk, 2022).

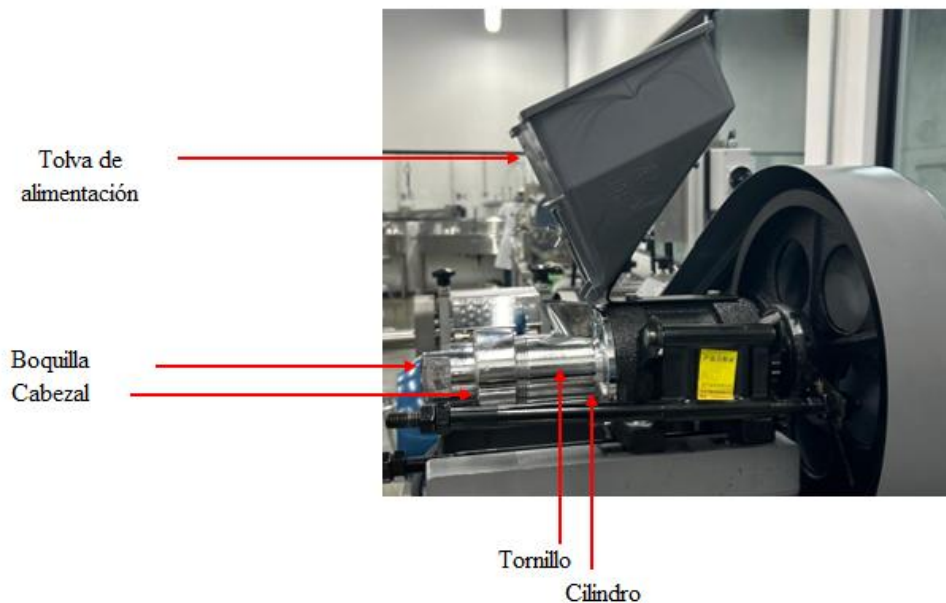
### **5.4.2. Principio de extrusión**

El principio de funcionamiento de la extrusión es que un material crudo o materia prima es alimentado al extrusor y cae en un “barril” con uno o dos tornillos que transportan el material hasta la salida (Leonard et al., 2019). Durante este transporte se reduce el volumen del barril y se aumenta la resistencia del paso de la materia, lo que provoca que haya una compresión. En este proceso, el producto es amasado por el tornillo y la combinación de alta presión y temperatura provocan que el material se “plastifique”. Finalmente, se termina el recorrido por el barril y la materia sale por la boquilla del extrusor a una muy alta presión. Al salir de la boquilla el material se expande rápidamente y se solidifica mientras se enfría debido a la expulsión de agua convertida en vapor. La forma final del producto puede variar dependiendo de la forma de la boquilla. Después de este proceso, el producto extruido puede ser secado a temperatura ambiente, horneado o freído (Choton et al., 2020).

Un extrusor es un equipo que consiste en uno o dos tornillos sin fin que se encuentran dentro de un barril que da paso a un material. Este equipo trabaja con temperatura y presiones altas para convertir la materia prima en un material inflado. El extrusor viene equipado con un alimentador de la materia prima en la entrada y una boquilla en la salida del producto.

Dependiendo de la cantidad de tornillos sin fin, estos equipos pueden clasificarse en: extrusores simples de un tornillo y extrusores de doble tornillo (Leonard et al., 2019). Un diagrama básico de la distribución de partes de un extrusor se presenta a continuación:

**Figura 4. Partes de un equipo extrusor**



Fuente: propia.

#### 5.4.3. Snacks extruidos

Los snacks extruidos son productos inflados que se obtienen del procesamiento de materiales crudos en un extrusor. El proceso de extrusión, como ya se mencionó anteriormente, es muy particular e incorpora varias operaciones en un equipo. La extrusión provoca que se generen los productos extruidos, como snacks, que tienen características físicas y químicas muy distintas a los materiales crudos que se utilizaron y usualmente son crujientes y secos (Mitrus et al., 2018). Este tipo de producto usualmente es elaborado a base de cereales como maíz. Sin embargo, se está empezando a incorporar otro tipo de materiales a los extruidos, que tengan la capacidad de aumentar el valor nutricional del snack. Además, el mecanismo de un extrusor permite fácilmente la combinación de otras materias primas, como desechos de alimentos, para elaborar productos innovadores. Se puede observar que la composición común de este tipo de snacks es sémola de maíz o harina de maíz, sal y condimentos. Esto puede variar grandemente dependiendo de la formulación que se emplee y ya persona que lo hace (Karun et al., 2022).

Los snacks extruidos pueden ser clasificados según su uso. El tipo más común es el directamente expandido, en el cual la expansión del producto final ocurre en el momento en el que sale de la boquilla del extrusor. Luego a este producto se le pueden hacer procesos como horneado, secado o freído y se le agregan condimentos. El otro tipo, menos común, de snacks son los expandidos indirectamente. Estos se procesan y mezclan durante la extrusión, luego se secan en forma de pellets y se almacenan para ser expandidos después por aplicación de calor y fritura. Los productos extruidos finales suelen tener un alto contenido

de almidón y alta energía calórica, pero son muy apetecibles para las personas y muy consumidos (Grasso, 2020).

#### 5.4.4. Snacks extruidos con desechos industriales

Debido a la versatilidad del proceso de extrusión y la preocupación por las consecuencias del desperdicio de alimentos, se está buscando en la actualidad utilizar desechos y subproductos de la industria de alimentos para elaborar snacks extruidos de alto valor. Uno de los principales productos que se está estudiando es la pulpa de frutas y verduras como manzana, zanahoria, piñas, frutos rojos y tomate para poder sustituir los carbohidratos en las formulaciones. Además, se ha estudiado el uso de cereales, para aprovechar el salvado de los cereales como avena, arroz, centeno para sustituir cereales como trigo y maíz que se usan comúnmente en este tipo de productos. Otro material que se está incorporado a este tipo de productos es el suero de la leche, para aumentar el valor de proteína de los productos extruidos y minimizar su desperdicio (Grasso, 2020). Estos son sólo algunos de los avances que se han visto en el uso de subproductos en extrusión para minimizar el impacto ambiental y atender la demanda de consumidor por productos más ecológicos.

### 5.5. Consumo de snacks

#### 5.5.1. Consumo a nivel mundial

El consumo de snacks a nivel mundial ha crecido mucho en los últimos años. Se ha encontrado que este tuvo un pico durante la pandemia y la tendencia de consumo sigue en aumento debido a la tendencia mundial de consumir productos de manera rápida y para llevar. Una de las categorías más importantes de snacks que son altamente consumidos en el mundo son los snacks salados (Statista, 2024b). Se ha demostrado una tendencia de aumento en el consumo de snacks salados de papa a nivel mundial y se pronostica que crecerá al menos en un 8% para el año 2028 (Conway, 2024). El consumo de snacks extruidos ha crecido debido a la variedad de sabores que existen, su particular textura y llamativas formas. El mercado de snacks extruidas es muy vasto y se valuó en 52 billones de dólares americanos en el año 2022 y se espera que crezca a casi 78 billones USD para el 2028, exhibiendo un crecimiento del 5.6% anualmente (Fortune Business Insights, 2022).

#### 5.5.2. Consumo en Guatemala

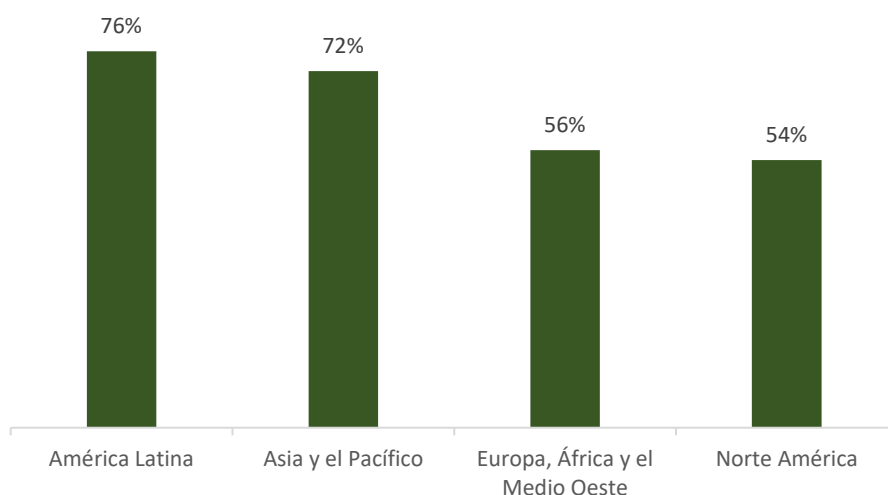
El consumo de snacks es alto en Guatemala. El valor al que ascenderá la ganancia total de este mercado en Guatemala es de 651 millones USD en el año 2024. Además, se espera que estos ingresos crezcan aproximadamente 6% anualmente del año 2024 al 2028. En cuanto a volumen de producción, se espera que el mercado de snacks alcance un volumen de 74.31 millones de kilogramos para el año 2028, con un aumento de casi 2% para el año 2025. Además, el consumo de estos productos sigue en aumento. Se espera que para el año 2024, la cantidad de snacks que se consume en Guatemala per cápita aumente a 3.5 kg (Statista, 2024a).

#### 5.5.3. Tendencias de consumo

En la actualidad, existen muchas tendencias en cuanto al consumo de snacks, las cuales se clasifican generalmente en un consumo más saludable y consciente. Según un estudio del *State of Snacking* de Mondélez, el cual se realiza cada año para obtener estadísticas de consumo de snacks a nivel mundial, el 88% de las personas encuestadas

consumen al menos un snack durante todo el día. Este es un consumo alto, por lo que es importante tomar en cuenta las demandas y tendencias que sigue el consumidor. En Latinoamérica se reportó que el 80% de los consumidores consideran que es de importancia la novedad del sabor y la textura del snack que están consumiendo, por lo que es importante hacer productos que tengan sabores y texturas nuevas agradables para el consumidor. Además, es evidente que el consumo consciente es una tendencia. El 77% de las personas reciclan los empaques de sus snacks y 67% prioriza el consumo de snacks que contienen menos plástico. Una tendencia muy importante que se está dando es el consumo de snacks a base de plantas y vegetales. En general, muchas personas están optando por intentar consumir este tipo de snacks. El 76% de los consumidores latinoamericanos ha probado al menos una vez snacks a base de plantas y vegetales. El 54% de las personas entrevistadas a nivel mundial establecieron que consumen este tipo de snacks en su dieta (Mondelēz, 2023).

**Figura 5. Personas que han consumido al menos una vez un snack a base de plantas**



Fuente: propia, con base en (Mondelēz, 2023).

Esta tendencia de consumo de snacks a base de plantas apoya la viabilidad de la elaboración de snacks a base del desecho presentado. La cáscara de papa, siendo un desperdicio tan significativo y nutritivo, como ya se mencionó anteriormente, puede ser fácilmente sometida a la tecnología de extrusión para la creación de un snack valorizado, presentando un beneficio al medio ambiente a través de economía circular y acatando a las tendencias de consumo de la industria de alimentos mundial y local.

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1. Recolección de muestras

Se recopilieron las muestras de cáscara de papa de la producción industrial de una empresa de frituras en Guatemala. Las muestras se recuperaron frescas, ya que se recolectó el desperdicio de papa los mismos días que se trabajó papa en la planta. Estas muestras se almacenaron en una hielera a 10°C y se transportaron a la planta piloto de alimentos en la

Universidad del Valle de Guatemala. Se almacenaron en el cuarto frío (3°C) de la planta hasta su posterior uso ese mismo día.

## 6.2. Desarrollo experimental

### 6.2.1. Elaboración de la harina de cáscara de papa

Las muestras de cáscara de papa se limpiaron y lavaron con agua desionizada para deshacerse de impurezas. Luego estas cáscaras fueron pasadas por una malla fina con agua a presión para separar pedazos grandes de papa de la cáscara. Estos pedazos fueron revisados para eliminar a mano contaminantes físicos e impurezas. Las cáscaras de papa fueron escaldadas a 90 – 95°C por 2 – 3 minutos y luego se centrifugaron dentro de bolsas de tela por 3 minutos para eliminar el exceso de agua. Se realizó una curva de secado en la cual se deshidrató la cáscara escurrida en un deshidratador de convección a 65°C por 15 horas. La cáscara seca luego se enfrió a temperatura ambiente y se empacó al vacío. Al final de 5 días todas las tandas de harina seca fueron trituradas en un triturador de cuchillas *Fitz & Mill* y luego se volvió a pasar por un pequeño molino para reducir el tamaño de la partícula de harina.

### 6.2.2. Elaboración del snack por medio de extrusión

Se utilizó la harina de cáscara de papa para elaborar las siguientes formulaciones con base en sustituciones parciales de sémola de maíz:

**Cuadro 3. Formulación de pruebas para elaboración de snacks**

<i>Ingrediente</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>	<i>M4</i>	<i>M5</i>	<i>M6</i>	<i>M7</i>	<i>M8</i>	<i>M9</i>
<i>Harina de cáscara de papa</i>	100%	80%	60%	50%	40%	45%	30%	20%	0%
<i>Sémola de maíz</i>	0%	20%	40%	50%	60%	65%	70%	80%	100%

Fuente: propia.

Estas formulaciones se definieron con base en pruebas experimentales, las cuales permitieron hacer un ajuste con el fin de encontrar las formulaciones que permitieran una mayor sustitución de harina de cáscara de papa sin comprometer las características del snack final.

Se alimentaron las mezclas de cada formulación en seco en un extrusor de un tornillo, con una velocidad y temperatura fijas de alrededor de 686 rpm y 125°C respectivamente. Se utilizó una boquilla de 1.30 centímetros de diámetro y se cortó a mano los snacks para determinar la longitud deseada de alrededor de 4 cm.

### 6.2.3. Horneado y fritura del snack

Luego de la extrusión, los snacks fueron horneados en un horno de convección a 120 – 148°C (250 – 300°F) por 15 minutos, con el fin de eliminar la humedad del snack antes de la fritura. Luego los snacks fueron fritos en una freidora *ProFry* a 180 – 190°C por 1 segundo con el fin de proveer una fritura rápida y minimizar la absorción de grasa en el snack. Luego los snacks fritos se dejaron escurrir en papel y enfriar un poco arriba de temperatura ambiente.

### 6.2.4. Condimento

Luego de la fritura, se esparció de manera delicada un condimento de barbacoa sobre los snacks, haciendo uso de un colador para homogeneizar el condimentado. Los snacks fueron bañados en el condimento y agitados hasta que estuvieran recubiertos.

### **6.3. Caracterización química de harina y producto**

#### **6.3.1. Muestreo**

Se realizó un muestreo aleatorio de tres muestras de la cantidad total de harina elaborada y se realizaron los análisis en triplicado a la harina para lograr significancia estadística en las pruebas de caracterización de la harina. En cuanto a los snacks, se obtuvieron tres muestras aleatorias del snack de una cantidad producida de la formulación que obtuvo mayor aceptabilidad sensorial.

#### **6.3.2. Características químicas**

El análisis proximal con los métodos a continuación se llevó a cabo tanto para la harina de cáscara de papa como para la muestra de snack extruido en triplicado. El análisis de contenido de almidón se llevó a cabo únicamente para la harina en triplicado.

##### **Humedad:**

Determinación de contenido de humedad por método AOAC 934.01

##### **Proteínas:**

Determinación de contenido de proteína cruda por método de Kjeldahl AOAC 2001.11.

##### **Grasas:**

Determinación de contenido de grasa cruda por método Soxhlet AOAC 920.58.

##### **Fibra:**

Determinación de fibra dietética por método AOAC 985.29

##### **Cenizas:**

Determinación de contenido de cenizas totales por método AOAC 938.08

##### **Carbohidratos:**

Determinación por diferencia: Porcentaje de carbohidratos = 100% - porcentaje de humedad - porcentaje de cenizas – porcentaje de proteínas – porcentaje de grasas.

##### **Antioxidantes:**

Determinación de capacidad antioxidante por el método DPPH empleado por Akter et al., (2023), con modificaciones.

- Extracto de cáscara de papa y snack: Se obtuvieron extractos de las muestras para este análisis mezclando 2 gramos de las muestras molidas con 20 mL de metanol como solvente orgánico y se dejó por 12 horas en un agitador a temperatura constante. Luego se filtró la mezcla utilizando papel filtro Whatman No. 1.
- Análisis de capacidad antioxidante: Se mezclaron en un tubo de ensayo 1mL de las muestras del extracto con 1.9 mL de la solución de DPPH con metanol 0.3mM

(disolviendo 6mg de reactivo DPPH en 50 mL de metanol) y se agitó exhaustivamente con un vórtex. Las mezclas se dejaron incubar en un lugar oscuro y a temperatura ambiente por 30 min. Luego se utilizó un espectrofotómetro UV – VIS marca Thermo Spectronic Genesys 20 ± 1.000 nm y se midió la absorbancia de las muestras en triplicado a 517nm. Se utilizó una solución de metanol y DPPH como blanco. Luego se empleó la siguiente fórmula para determinar el porcentaje actividad antioxidante:

### ***Ecuación 1. Actividad antioxidante***

$$\text{Inhibición de radicales libres} = \left(1 - \frac{A_s}{A_o}\right) \times 100$$

Donde:  $A_s$  es la absorbancia de la muestra y  $A_o$  la absorbancia del blanco. (Akter et al., 2023).

### **Contenido de almidón**

Se determinación de contenido de almidón de la harina de cáscara de papa en triplicado con el método establecido por Mollinedo (2019) con modificaciones. Se elaboró una solución de metabisulfito de sodio 0.05M (Se mezcló 9.51g de metabisulfito en 1 litro de agua desionizada). Luego se mezcló la muestra de harina con la solución de metabisulfito en una relación 1:50. Se dejó la mezcla incubando por 24 horas y luego se pasó por una manta de tela. El líquido obtenido de la filtración permaneció en incubación por otras 24 horas. Luego la mezcla se filtró al vacío utilizando papel Whatman No. 1 y el sólido remanente se secó en un horno de convección por 6 horas. Se realizó una prueba con una solución de Lugol (0.1% yodo y 0.2% yoduro) para confirmar la presencia de almidón en la muestra final (Mollinedo, 2019)

## **6.4. Características físicas de la harina y producto**

### **6.4.1. Características físicas de la harina de cáscara de papa**

#### **Granulometría**

Se utilizó el equipo Ro Tap, con tamices ASTM 25, 40, 60, 80 y 100 para medir la granulometría. Se pesaron los tamices del equipo y se colocaron en orden descendiente de tamaño de partícula. Luego se tomó una muestra de 10g de la harina de cáscara de papa y se colocó en el en tamiz superior. Se puso a funcionar el equipo con agitación en nivel de vibración 10 por 15 minutos. Finalmente se pesó cada tamiz con la fracción de muestra que quedó en cada uno. Se realizó un análisis de distribución de tamaño de partícula.

#### **Color**

Se utilizó colorímetro Mini Scan EZ para la medición de colorimetría. Primero se calibró el equipo con un fondo blanco y un fondo negro. Luego se un tomó una muestra de alrededor de 30g de harina de cáscara de papa y se analizó los parámetros de  $L^*$  (brillo),  $a^*$  (rojo – verde) y  $b^*$  (amarillo – azul) en triplicado.

#### **Actividad de agua**

Se realizó la medición directa con el equipo Water Activity Meter *WA-60A*. Se realizó la medición en triplicado con muestras de alrededor de 2g de harina de cáscara de papa a 23.7°C por 5 minutos.

#### 6.4.2. Características físicas del snack extruido

Se realizaron las siguientes pruebas en triplicado con la muestra de snack extruido que obtuvo la mayor aceptabilidad después del panel sensorial.

##### **Dimensiones**

Se midió el largo, ancho y profundidad del snack final con un vernier.

##### **Tasa de expansión**

Se midió la tasa de expansión con el método descrito por Karun et al., (2022), con modificaciones. Se midió el área de la boquilla del extrusor y del snack extruido final utilizando el software ImageJ, tomando como base de escala la medición de un vernier. Luego se calculó la tasa de expansión con la siguiente ecuación:

##### ***Ecuación 2. Tasa de expansión***

$$\text{Tasa de Expansión} = \frac{\text{Área transversal de la muestra}}{\text{Área de la boquilla}}$$

(Karun et al., 2022).

##### **Densidad de bulto**

Se midió la densidad de bulto del snack extruido con el método descrito por Pardhi et al., (2019), con modificaciones. Se tomó el peso de la muestra del snack extruido. Se llenó una probeta volumétrica hasta un volumen conocido con sémola de maíz y luego se introdujo el snack previamente medido a la probeta hasta que estuviera completamente cubierto. Se midió el volumen desplazado por el snack y se utilizó la siguiente fórmula para el cálculo de densidad:

##### ***Ecuación 3. Densidad de Bulto***

$$\text{Densidad de Bulto} = \frac{\text{Peso de snack}}{\text{Volumen desplazado por el snack}}$$

(Pardhi et al., 2019).

##### **Densidad aparente**

Se midió la densidad aparente con el método descrito por Karun et al., (2022). Se trituraron muestras de snack extruido final y se pasaron por una malla de 0.425 mm. Se colocaron las muestras en una probeta volumétrica y esta se golpeó suavemente hasta que el volumen se mantuvo constante. Se anotó el volumen que se obtuvo y luego se pesó la muestra. Se utilizó la siguiente fórmula para calcular la densidad en gramos por mL de snack:

##### ***Ecuación 4. Densidad aparente***

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{\text{Peso de snack}}{\text{Volumen de snack}}$$

(Karun et al., 2022).

### **Porosidad**

Se midió la porosidad con el método descrito por Karun et al., (2022). Se utilizó la siguiente ecuación para el cálculo de porosidad:

#### ***Ecuación 5. Porosidad***

$$Porosidad = 1 - \frac{Densidad\ de\ Bulto}{Densidad\ Aparente}$$

(Karun et al., 2022).

### **Dureza**

Se analizaron las muestras del snack final con un texturómetro Brookfield, en conjunto con el software TexturePro CT V1.4. Se utilizó el manual del equipo para determinar la sonda correcta y las condiciones del análisis. Se utilizó la sonda TA7 (cuchilla de plástico). Se trabajó con la prueba de compresión con velocidad de la prueba de 2mm/s con una carga de activación de 0.1N. Se midieron los puntos de presión aplicada en el tiempo para encontrar el punto de fuerza máxima aplicada hasta que la muestra se quebró.

### **Colorimetría**

Se utilizó colorímetro Mini Scan EZ para la medición de colorimetría. Primero se calibró el equipo con un fondo blanco y un fondo negro. Luego se un tomó una muestra de alrededor de 30g de harina de cáscara de papa y se analizó los parámetros de L\* (brillo), a\* (rojo – verde) y b\* (amarillo – azul) en triplicado.

### **Actividad de agua**

Se trituraron muestras de snack con un mortero y pistilo hasta obtener un polvo fino. Se realizó la medición directa con el equipo Water Activity Meter *WA-60A*. Se realizó la medición en triplicado con muestras de alrededor de 2g de harina de cáscara de papa a 23.7°C por 5 minutos.

## **6.5. Características tecnológicas de la harina y mezcla de snack final**

Esta caracterización se llevó a cabo con la harina de cáscara de papa y la formulación en polvo del snack que obtuvo la mayor aceptabilidad en el análisis sensorial. Se realizaron todas las pruebas en triplicado.

### **Capacidad de retención de agua y aceite**

Se determinó la capacidad de absorción de agua y aceite con el método descrito por Durmaz & Yuksel (2021), con modificaciones. Se midieron 0.25 gramos de la muestra y se mezclaron con 10 mL de agua destilada o aceite. Se agitó la mezcla con un vortex por 1 minuto. Se mantuvieron las muestras a temperatura ambiente por 15 minutos y luego se centrifugaron a 4,000 rpm por 10 minutos. Finalmente, se utilizó la siguiente ecuación para determinar la capacidad de retención de agua expresada en gramos de agua o aceite absorbidos por gramo de harina.

#### ***Ecuación 6. Capacidad de absorción de agua***

$$WHC = \frac{W_s - W}{W}$$

### ***Ecuación 7. Capacidad de absorción de aceite***

$$OHC = \frac{W_s - W}{W}$$

Donde  $W_s$  es el peso del precipitado / sedimento y  $W$  el peso de la muestra inicial, en gramos.  
(Durmaz & Yuksel, 2021).

### **Capacidad de hinchamiento**

Se utilizó el método descrito por Ratnawati et al. (2019) para preparar las muestras y obtener la capacidad de hinchamiento y la capacidad de solubilidad. Se pesaron 0.20 gramos de las muestras en tubos de centrífuga previamente pesados. Se les agregaron 10 mililitros de agua destilada y se mezclaron rigurosamente con un vortex por 1 minuto. Se dejó reposar las muestras a temperatura ambiente por 5 minutos y luego se pusieron en un baño de agua a 95°C por 30 minutos. Después se dejó enfriar las muestras hasta temperatura ambiente por 10 minutos. Luego se centrifugaron las muestras a 3,000 rpm por 15 minutos para separar el gel del sobrenadante. Se colocó el gel y el sobrenadante resultante en contenedores distintos, cuyos pesos ya se habían obtenido. Se pesó el gel y se encontró la capacidad de hinchamiento con la siguiente fórmula, expresada en gramos de gel formado por gramo de harina:

### ***Ecuación 8. Capacidad de hinchamiento***

$$\text{Capacidad de Hinchamiento} = \frac{W_1 - W_0}{W_0}$$

Donde  $W_1$  es el peso del gel y  $W_0$  es el peso de la muestra de harina seca, en gramos.  
(Ratnawati et al., 2019).

### **Solubilidad**

Se determinó la solubilidad de la harina con el método descrito por Ratnawati et al. (2019). Se realizó el proceso de preparación de la muestra que se estableció en la prueba de capacidad de hinchamiento. Se tomó la parte del sobrenadante que se apartó, se pesó y se puso a secar en un horno hasta llegar a peso constante. Luego se calculó la solubilidad en términos de porcentaje con la siguiente fórmula:

### ***Ecuación 9. Solubilidad***

$$\text{Porcentaje de solubilidad} = \frac{W_2}{W_1} \times 100$$

Donde  $W_1$  es el peso de la muestra de harina seca y  $W_2$  es el peso del sobrenadante seco.  
(Ratnawati et al., 2019).

### **Densidad de bulto**

Se determinó la densidad de bulto por medio del método descrito por Ratnawati et al. (2019). Se midieron 10 gramos de muestra y se colocaron en una probeta volumétrica. Se golpeó la probeta ligeramente con el dedo por alrededor de 40 segundos hasta alcanzar un

volumen constante. Se utilizó la siguiente fórmula para calcular la densidad en gramos por mililitro:

***Ecuación 10. Densidad de bulto de harina***

$$\text{Densidad de Bulto} = \frac{\text{Peso de harina}}{\text{Volumen de harina}}$$

(Ratnawati et al., 2019).

**6.6. Análisis sensorial del producto**

Este análisis sensorial se realizó con las distintas muestras y sustituciones parciales que se alcanzaron con éxito en la etapa de experimentación. Las muestras que presentaron mejores características y apariencia fueron las de 20%, 30% y 40% de contenido de harina de cáscara de papa y el resto de sémola. Se llevó a cabo una prueba de aceptabilidad utilizando una escala hedónica de 9 puntos (1 = me disgusta mucho y 9 = me gusta mucho) y una prueba de preferencia final de las muestras. En el análisis se evaluaron los parámetros de aceptación general, color, aroma, sabor, textura y expansión. Las muestras se presentaron de manera aleatoria a los panelistas con un código de 3 números aleatorios para identificarlas. Se utilizaron los siguientes códigos: 473, 644 y 285 para las muestras de 20%, 30% y 40% de harina de cáscara de papa, respectivamente. Los panelistas respondieron las preguntas por medio de un formulario de *Google Forms*. El panel estuvo conformado por 72 jóvenes estudiantes de la Universidad del Valle de Guatemala.

**6.7. Análisis estadístico**

Se llevó a cabo un análisis de varianza estadístico de 1 factor (ANOVA) para determinar si existe diferencia significativa entre los resultados de los atributos obtenidos de las 3 muestras estudiadas en el análisis sensorial. Para esto, se realizó el análisis con nivel de significancia del 5%, utilizando el software R Studio para el cálculo del valor – p y la obtención de los diagramas de caja y bigotes. Adicionalmente, se obtuvieron los resultados finales de todo el estudio a través de un promedio de los datos obtenidos en triplicado para cada análisis. Para todos los resultados se calculó la incertidumbre, tomando en cuenta la incertidumbre de las herramientas y equipos utilizados para las mediciones y recopilación de datos. Las incertidumbres se calcularon con las siguientes ecuaciones:

***Ecuación 11. Incertidumbre de suma y resta***

$$S_y = \sqrt{S_a^2 + S_b^2 + S_c^2 + \dots}$$

***Ecuación 12. Incertidumbre de multiplicación y división***

$$S_y = y \times \sqrt{\left(\frac{S_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{S_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{S_c}{c}\right)^2 + \dots}$$

***Ecuación 13. Error estándar de la media***

$$SEM = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

***Ecuación 14. Incertidumbre combinada de la media***

$$S_y = \sqrt{SEM^2 + \left(\frac{S_n}{\sqrt{n}}\right)^2}$$


Donde:  $S_y$  es la incerteza total del resultado “y”,  $S_a$  la incerteza del valor “a”, SEM el error estándar de la media,  $s$  la desviación estándar del triplicado y  $n$  la cantidad de valores (en este caso, como se hicieron triplicados  $n = 3$ ).

## 7. Resultados y discusión

El objetivo principal de este estudio fue desarrollar una harina de cáscara de papa (*Solanum tuberosum L.*) de desecho de la industria de frituras de Guatemala. Este objetivo se planteó con el fin de aprovechar este residuo de alimento y transformarlo en una materia prima factible en la industria de alimentos. Esta harina se utilizó para la elaboración de un snack extruido.

### 7.1. Manejo de cáscara de papa

*Cuadro 4. Características de la cáscara de papa*

<b>Rendimiento</b>	7.00%
<b>Defectos</b>	1.84%
<b>pH</b>	6.00
<b>Aroma</b>	Papa y levemente a tierra mojada
<b>Apariencia</b>	

Fuente: propia.

Para la elaboración de la harina se utilizó como materia prima cáscara de papa, la cual estaba cortada en capas muy finas, debido a que el tipo de pelado que se utiliza en la industria es por abrasión. Además, por el proceso que llevan antes de su recuperación, la cáscara estaba húmeda y apelmazada. Como se puede observar en el Cuadro 4, la cáscara contiene pedazos de papa, los cuales inevitablemente se pierden en el proceso de pelado y terminan en el desecho de la cáscara.

Se encontró que este residuo tiene un rendimiento del 7%. Únicamente ese porcentaje de la cáscara inicial se convierte en harina terminada. Esto se debe a que la masa inicial contiene agua que se pierde durante el proceso de secado de la cáscara, además de pérdidas por merma que ocurren en todo el proceso. Por otra parte, una característica que se determinó en el proceso de tratamiento de la cáscara fue la cantidad de defectos, los cuales se describen a continuación en el Cuadro 5. Se encontró una cantidad de 1.84% de defectos con respecto del peso de la cáscara inicial. Otra de las características que se determinó en la cáscara fue su pH, el cual resultó ser de 6.00. Este resultado es muy parecido al valor de pH de las cáscaras de papa que se ha encontrado en la literatura, de aproximadamente 6.5. Sin embargo, este valor puede variar dependiendo de la variedad, composición y cultivo (Javed et al., 2019).

**Cuadro 5. Tipos de contaminantes y defectos**

Pedazos de cáscara y papa verde	Pedazos de cáscara y papa negro, café y gris		Pedazos de lazo y saco
			

Fuente: propia.

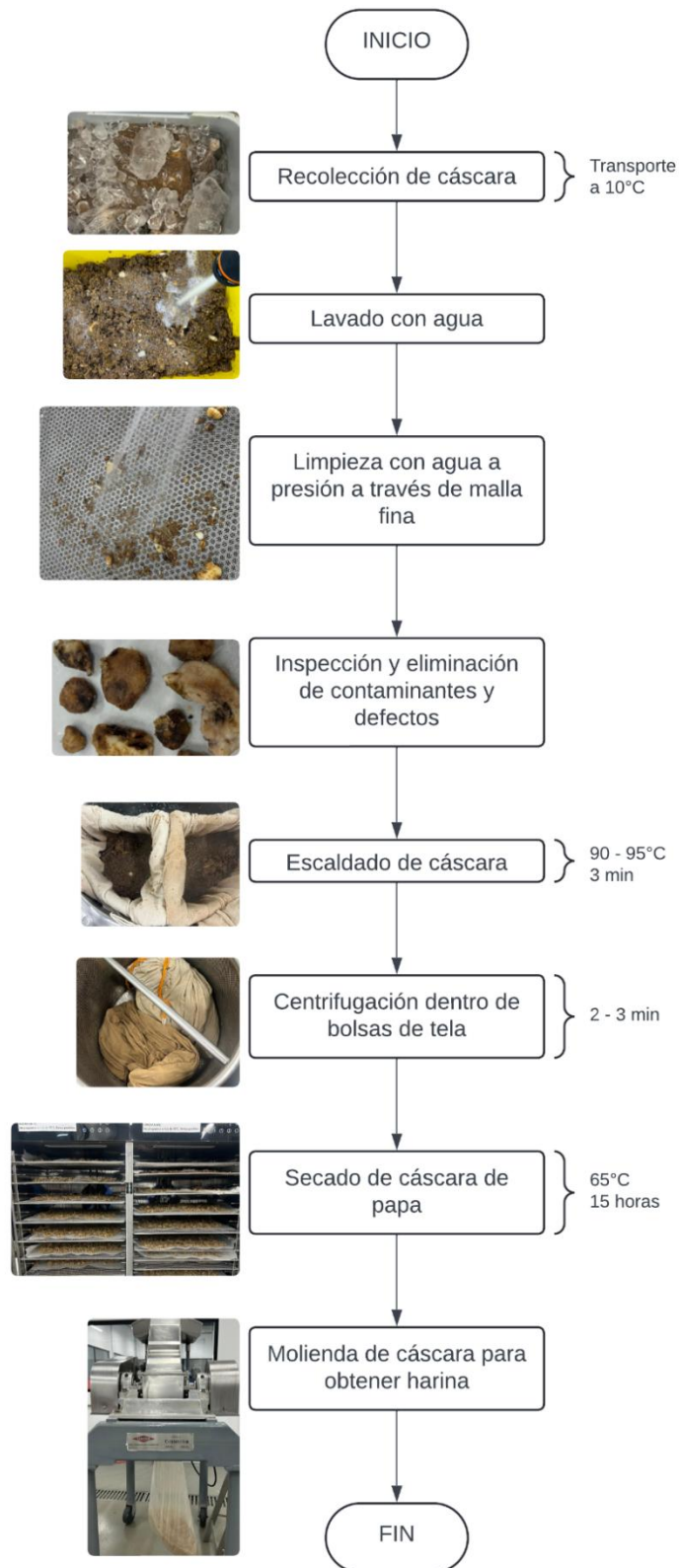
En el Cuadro 5 se presentan los tres tipos de defecto que se pudieron identificar durante el manejo de la cáscara de papa cruda. Los pedazos de cáscara de papa verde se deben a que las papas pueden tornarse de un color verde cuando son expuestas a la luz en cualquier parte de la cadena de suministro, debido a que producen clorofila en sus tejidos. La clorofila usualmente no es dañina, pero frecuentemente se ve asociada a la producción de otros compuestos que no son beneficiosos para la salud (Rymuza et al., 2020), por lo que es recomendable eliminar estos pedazos de la materia prima.

Asimismo, se identificaron pedazos de papa que tenían color negro, gris o café oscuro. Este estado de decoloración de la papa en diferentes grados puede darse principalmente por la oxidación de la papa. La oxidación enzimática ocurre cuando la papa es cortada o dañada, lo cual deja expuestas al ambiente ciertas enzimas como la polifenoloxidasas, las cuales al tener contacto con el oxígeno, provocan una reacción enzimática en la que se convierten compuestos fenólicos a pigmentos oscuros que dan esta apariencia a la papa. El pardeamiento enzimático no sólo afecta las características organolépticas de la papa, sino que también reduce el contenido de nutrientes (González et al., 2020). Es por esto que se eliminó de la masa inicial y se desechó.

Finalmente, se puede observar que en la cáscara de papa se encontraron pequeños pedazos de lazo y saco. Esto ocurre debido a que la papa que se utiliza viene directamente del campo antes de su almacenamiento. La papa se lava para su uso durante el pelado, por lo que estos contaminantes se desechan junto con la cáscara en la peladora. La cáscara, los contaminantes físicos y los defectos, son considerados desechos. Sin embargo, al utilizar la cáscara de papa como materia prima es muy importante que se limpie y se eliminen las papas defectuosas que no cumplen con la calidad para un producto de consumo humano, así como los contaminantes físicos que puedan provocar un peligro al consumidor.

## 7.2. Desarrollo de harina

Figura 6. Diagrama de proceso de elaboración de harina

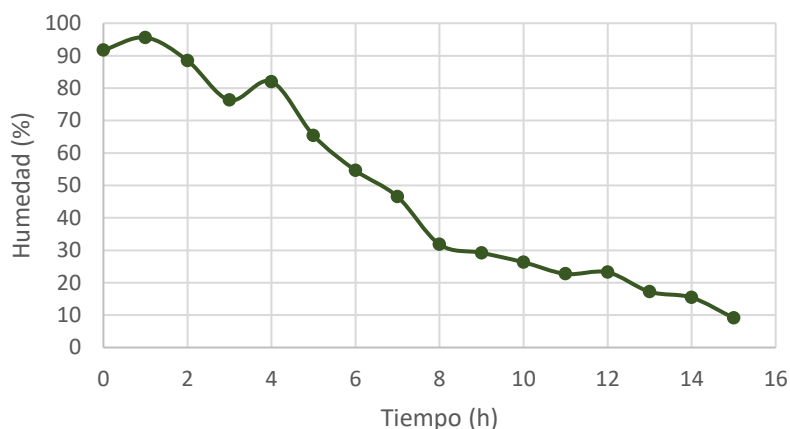


Fuente: propia.

En la Figura 6 se puede observar el diagrama del proceso que se llevó a cabo para desarrollar la harina de cáscara de papa a partir de la cáscara cruda. Se recolectaron las muestras en tiempo real mientras se pelaban las papas que se usaron para la producción, se almacenaron y se trasladaron en hieleras a 10°C para poder usarlas posteriormente. Fue importante que la materia prima estuviera fresca y se mantuviera a bajas temperaturas, ya que la papa – y por ende su cáscara – es un alimento perecedero. Las papas, protegidas por su cáscara, crecen expuestas por mucho tiempo a microorganismos, cuyo crecimiento microbiano se debe ralentizar con bajas temperaturas mientras se pueden aplicar más procedimientos físicos para reducir la carga microbiana (Erkmen & Bozoglu, 2016).

Después de transportar las papas a la planta de alimentos en la universidad se pudieron limpiar y eliminar los defectos y contaminantes como ya se mencionó previamente. Luego se llevó a cabo un proceso de escaldado a 90°C – 95°C por 3 minutos. Como ya se mencionó, la cáscara de papa está expuesta a microorganismos cuando está cruda. Sin embargo, la cáscara no es susceptible únicamente a deterioro microbiano, sino que el daño realizado a la cáscara cuando es cortada también puede provocar deterioro químico (Levaj et al., 2023). El escaldado se llevó a cabo con el fin de disminuir la carga microbiana de la cáscara de papa y trozos de papa y desnaturalizar enzimas que puedan provocar reacciones de deterioro químico como el pardeamiento enzimático y así mantener la inocuidad y calidad de la cáscara de papa como materia prima (Nascimento & Canteri, 2018).

**Figura 7. Curva de secado**



Fuente: propia.

Otro proceso crucial durante la elaboración de harina es el secado de la cáscara. Esta se centrifugó antes del secado para eliminar el exceso de agua y mejorar el proceso con una centrífuga E-Shing an 1,450 rpm. Se introdujo la cáscara de papa dentro de una bolsa de tela para evitar que los pedazos finos de esta se perdieran a través de la canasta de la centrífuga. Se realizó una curva de secado por 15 horas en un deshidratador de convección. Como se observa en la Figura 7, la tendencia clara de la humedad es que esta disminuye conforme pasa el tiempo de secado a 65°C. Estos resultados concuerdan con un estudio en el cual se encontró que la humedad disminuye de manera constante con el secado de harina de papa.

Además, se encontró que el proceso de escaldado antes de la deshidratación es beneficioso para aumentar la tasa de secado debido a que las membranas celulares son destruidas por el calor del escaldado y permiten una mejor pérdida de agua (Alonso et al., 2014). En la curva presentada anteriormente se pueden observar valores, como el de la hora 4, que presentan una humedad levemente mayor a la anterior, esto pudo haber ocurrido debido a que se tomaron muestras de distintas partes del deshidratador y la distribución de humedad no es la misma en todas las bandejas debido a la efectividad de convección del deshidratador. La humedad inicial de la cáscara fue de 91.6% y la final de 9.1%. El secado de la cáscara se detuvo en la hora 15, ya que después de este tiempo se presenta una humedad menor a 14%. Se consideró esta humedad de la cáscara como el parámetro crítico ya que se ha determinado en múltiples normativas de harinas -incluyendo la guatemalteca- que la humedad debe ser menor a 14%, por lo que la cáscara deshidratada antes de la molienda debe presentar valores menores a dicho porcentaje (da Silva et al., 2023). Al obtener la cáscara deshidratada se colocó en una trituradora de cuchillas para poder finalmente obtener la harina de cáscara de papa.

### 7.3. Caracterización de harina

Después del desarrollo de la harina de cáscara de papa, según el proceso que se describió en la Figura 6, se realizaron múltiples análisis para su caracterización como materia prima factible en la industria de alimentos.

**Cuadro 6. Composición química de harina**

<b>Humedad</b>	9.48% ± 0.03%
<b>Cenizas</b>	2.51% ± 0.02%
<b>Proteína</b>	12.9% ± 0.2%
<b>Grasa</b>	1.68% ± 0.55%
<b>Carbohidratos</b>	73.46% ± 0.57%
<b>Fibra dietética</b>	43.5% ± 1.3%
<b>Almidón</b>	0.90% ± 0.17%

Fuente: propia.

*\*Los datos de incertidumbre presentados en este y el resto de los cuadros en este estudio representan la incerteza combinada de la media y fueron calculados con la Ecuación 14.*

En el análisis proximal de la harina de cáscara de papa se encontró que la humedad fue de  $9.48 \pm 0.03\%$ . El contenido de humedad de la harina depende del contenido de humedad de la cáscara cruda inicial, el cual se encuentra en el rango de 65 – 85% (Jimenez-Champi et al., 2023) y las condiciones del proceso de secado que se establecieron en la Figura 6. Este es un resultado similar a lo reportado por (Pineda, 2020) quien encontró una humedad de 9.37% en un estudio de harina de cáscara de papa. La humedad es un parámetro crucial para la determinación de la calidad de una harina, ya que le permite conservar sus características sensoriales y funcionales. Además, una menor cantidad de humedad en la harina la hace menos susceptible al deterioro por contaminación microbiana, extendiendo su vida útil (Bodor et al., 2024). La humedad en una harina también debe analizarse según lo recomendado por las regulaciones de harina. En Guatemala, el límite máximo de humedad

en las harinas de maíz, la materia prima con la cual se elaboran principalmente los snacks extruidos, es de 14% según el Acuerdo Gubernativo número 128 - 2021. En otros países como Estados Unidos, Rusia y la Unión Europea, el límite máximo permisible de humedad de las harinas en general se encuentra en el rango de 14 – 15% (da Silva et al., 2023). El contenido de la harina encontrado en el análisis proximal se considera aceptable, debido a que se encuentra por debajo del límite máximo y es similar a resultados encontrados para harina de cáscara de papa.

Se encontró el porcentaje de cenizas en la harina, el cual fue de  $2.51 \pm 0.02\%$ . Este resultado es menor al obtenido por (Cozma et al., 2024), quien encontró un rango de cenizas de 5.11 – 6.57% en distintas harinas de cáscara de papa. La diferencia entre estos resultados se debe principalmente a la proporción de minerales iniciales de la cáscara de papa, la cual varía grandemente dependiendo de distintas características agronómicas y ambientales de la papa original (Jimenez-Champi et al., 2023). Sin embargo, el contenido de cenizas es significativamente mayor al de la sémola de maíz o harina de maíz, 0.35% y 1.2% respectivamente, las cuales se utilizan usualmente en la industria para elaborar snacks extruidos (Ek et al., 2020); (Jozinović et al., 2017). Este mayor contenido de cenizas en la harina de cáscara de papa provee un beneficio sobre la sémola de maíz, ya que significa una mayor cantidad de minerales presentes en la materia prima. El contenido de cenizas de cáscara de papa está compuesto principalmente por calcio, potasio, magnesio y hierro (Akter et al., 2023).

En el Cuadro 6 también se puede observar el contenido de proteína que se encontró, el cual fue de  $12.9 \pm 0.2\%$ . Este contenido es mayor a los resultados reportados en otros estudios como el de (Pineda, 2020) con 6.97% o (Akter et al., 2023) con 11.38%. Esta diferencia significativa con los resultados encontrados en la teoría se otorga a la naturaleza de la papa original, la cual puede cambiar en su composición química debido a la variedad de papa y el entorno en el cual se cultivó (Jimenez-Champi et al., 2023). Además, este resultado es mucho mayor al de la sémola de maíz utilizada para snacks extruidos, que contiene 7.44% de proteína (Jozinović et al., 2017). El contenido significativo de proteína de la cáscara se ve complementado con su perfil de aminoácidos esenciales que es mayor que el de la carne de la papa (Rodríguez-Martínez et al., 2021). Este alto contenido de proteína, en comparación con otras harinas de cascara y la propia sémola de maíz, otorga un beneficio nutricional a la harina de cáscara de papa desarrollada.

Otro compuesto que se cuantificó fue la grasa, que resultó ser de  $1.68 \pm 0.55\%$ . Este contenido de grasa es significativamente menor al de otras harinas de cáscara de papa reportadas en la teoría como la de (Akter et al., 2023) de 7.23% o (Nazir et al., 2022) de 5.4%. Como ya se mencionó previamente, esta diferencia depende principalmente de las características de la variación de papa específica, la cual se considera que tiene un contenido bajo de grasa (Jimenez-Champi et al., 2023). Este resultado es congruente con la teoría, ya que se ha demostrado que incluso en diferentes variedades de papa, y por ende su cáscara, el contenido de grasa suele ser muy bajo e incluso llegar a ser 0%, dependiendo de la papa (Sampaio et al., 2020). Adicionalmente, es importante resaltar que este porcentaje de grasa es muy similar al de la sémola de maíz, la cual se ha reportado que es alrededor de 1.04% (Ek et al., 2020). Esta harina se puede considerar baja en grasa, en comparación con otras

harinas de cáscara de papa y una materia prima competente con la sémola de maíz debido a que tienen un contenido de grasa muy similar.

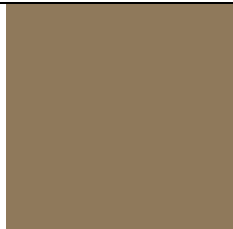
Finalmente, se cuantificó la cantidad de carbohidratos totales de la harina, la cual se observa en el Cuadro 6 que fue de  $73.46 \pm 0.57\%$ . Esta es la fracción mayoritaria en la composición de la harina, en la cual se incluye la fibra dietética y el almidón, los cuales se encontró que fueron de  $43.5 \pm 1.3\%$  y  $0.90 \pm 0.17\%$ , respectivamente. El contenido de carbohidratos totales está dentro del reportado en un estudio realizado con la cáscara de diferentes variedades de papa de distintos países, en el cual se encontró que el contenido de carbohidratos totales se encuentra en un rango de 69 – 88% (Sampaio et al., 2020). Dentro de esta fracción de carbohidratos, se determinó que existe un 43.5% de fibra dietética. Este resultado es significativamente mayor a otros reportados en la teoría para harina de cáscara de papa, como (Cozma et al., 2024) quienes reportaron 14.95% de fibra o incluso (Durmaz & Yuksel, 2021) que reportaron 24%. El contenido alto de fibra, como ya se mencionó anteriormente, es resultado de la variedad y condiciones de crecimiento de la papa y el tipo de pelado utilizado (Javed et al., 2019). Un alto contenido de fibra provee una ventaja nutricional a la harina, debido a que es beneficiosa para la salud de las personas, provocando efectos positivos en enfermedades como diabetes y condiciones del corazón. Adicionalmente, un contenido alto de fibra puede mejorar características funcionales y sensoriales de la materia prima, como la retención de agua y aceite (Jimenez-Champi et al., 2023).

A parte de fibra dietética, se determinó que existe un 0.90% de almidón en la harina de cáscara de papa. Este resultado es significativamente menor que lo reportado en la teoría, en la cual se establece que la harina de cáscara de papa tiene alrededor de 30% de almidón (Sampaio et al., 2020). Este contenido bajo de almidón podría ser causado por múltiples factores, entre los cuales se encuentra principalmente el genotipo de la papa, las condiciones de cosecha. Además, temperaturas de almacenamiento elevadas pueden promover la conversión de almidón a azúcares, disminuyendo su contenido. Por otra parte, temperaturas de almacenamiento muy bajas pueden provocar la ralentización de ciertas enzimas responsables de la síntesis de almidón y provocando su hidrólisis (Tong et al., 2023). Otro factor que pudo disminuir el contenido de almidón es la maduración de las papas con las que se trabajó, ya que las papas que son cosechadas antes de su madurez química usualmente tienen un menor contenido de almidón que las papas maduras (Heltoft et al., 2017). Por otra parte, es posible que se haya perdido almidón durante el proceso de pelado de las papas, ya que en la empresa con la cual se trabajó el pelado por abrasión y el transporte de las papas y cáscaras se hace por medio de una corriente de agua en la cual se puede lavar y eliminar el almidón de las papas y la cáscara. Finalmente, es importante resaltar que pudo haber habido una discrepancia en los resultados obtenidos debido a la metodología que se utilizó para la determinación de almidón. Debido a recursos con los que se contó en la universidad se utilizó un análisis de determinación de almidón en papa, no en cáscara de papa, el cual permite cuantificar el almidón dañado en la matriz después del proceso. Se debe considerar que la diferencia de las matrices pudo haber representado una fuente de error en la determinación de almidón.

Con base en el análisis proximal de la harina de cáscara de papa desarrollada, se determinó que esta materia prima tiene características nutricionales beneficiosas ya que

presenta un alto contenido de fibra, alto contenido de proteína, un contenido significativo de cenizas y un bajo contenido de grasa con respecto de características para harina de cáscara de papa encontradas en la literatura y los valores teóricos encontrados para la sémola de maíz, que es la materia prima utilizada por excelencia para la elaboración de snacks extruidos.

**Cuadro 7. Características físicas de la harina**

<b>Capacidad antioxidante</b>	94.6% ± 0.3%
<b>L*</b>	52.22 ± 0.09
<b>a*</b>	5.75 ± 0.02
<b>b*</b>	19.41 ± 0.02
<b>Color</b>	
<b>Apariencia</b>	
<b>Actividad de agua</b>	0.61
<b>Densidad de bulto</b>	0.42 g/mL

Fuente: propia.

Se realizaron múltiples análisis físicos a la harina de cáscara de papa, entre los cuales se puede mencionar la actividad antioxidante. En el Cuadro 7 se puede observar que la harina tiene  $94.6 \pm 0.3\%$  de capacidad antioxidante. Este resultado es considerablemente mayor que otros encontrados en la teoría, como el valor de 54.98% de capacidad antioxidante encontrado por (Akter et al., 2023). La alta capacidad antioxidante de la harina de cáscara de papa se atribuye al alto contenido de compuestos fenólicos y flavonoides de la papa utilizada. Según la variedad de papa su contenido de ácidos clorogénico, cafeico, ferúlico, entre otros polifenoles, puede aumentar, lo cual repercute en un mayor contenido de capacidad para inhibir radicales. Una alta capacidad antioxidante otorga una ventaja nutricional, ya que es un beneficio para la salud de los consumidores (Durmaz & Yuksel, 2021).

Adicionalmente, se determinaron los valores de colorimetría de la muestra de harina. Se encontró un valor de L\* (luminosidad) de  $52.22 \pm 0.09$ , de a\* (rojo – verde) de  $5.75 \pm 0.02$  y de b\* (amarillo – azul) de  $19.41 \pm 0.02$ . Esto indica que la harina fue de un color relativamente opaco, pero claro ya que mientras mayor sea el valor de L\* en una escala de 0 – 100, más claro y brillante es el color del alimento. Además, el color fue un poco más rojo que verde, debido a que el valor de a\* es positivo. Finalmente, el valor de b\* indicó que el color de la harina es un color más amarillo que azul, ya que se obtuvo un valor positivo (Xiao

et al., 2020). El color exacto, resultado de estos tres parámetros puede observarse en las imágenes del Cuadro 7. Valores similares de colorimetría fueron encontrados por (Pineda, 2020) en un estudio de harina de cáscara de papa, en el cual se encontraron valores de 70.12, 5.88 y 24.83 para  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , respectivamente. Se puede observar que el valor que muestra la mayor discrepancia es el de  $L^*$ , ya que el valor encontrado en la literatura es mayor. Esto puede ser causado por la variedad de papa utilizada. Además, factores como maduración baja y largos tiempos de almacenamiento han demostrado tener un impacto en la reducción de la claridad y luminosidad de las papas y por ende, su cáscara (Caraza-Harter & Endelman, 2020).

Otro parámetro físico que se determinó fue la actividad de agua de la harina, la cual resultó ser de 0.61. No existe mucha teoría sobre la actividad de agua de harina de cáscara de papa. Sin embargo, se ha encontrado que un rango ideal de disponibilidad de agua en harinas en general puede ser de 0.62 – 0.68, ya que dentro de este rango se ha reportado que las harinas usualmente tienen un contenido ideal de humedad y se disminuye el riesgo de crecimiento de bacterias, mohos y levaduras y se previene la rancidez oxidativa (Carter et al., 2015). Sin embargo, el nivel de actividad de agua encontrado es levemente menor, lo cual puede ser influenciado por el contenido de fibra en la harina, ya que esta puede hacer enlaces muy fuertes con el agua en el alimento, disminuyendo la actividad de agua (Jimenez-Champi et al., 2023). Finalmente, se determinó la densidad de bulto de la harina, la cual fue de 0.42 g/mL. Este resultado es menor a la densidad de bulto reportada por (Akter et al., 2023), la cual fue de 0.64 g/mL. Esto indica que la harina de cáscara de papa es más ligera que la que se encontró en la teoría. Esto se debe al proceso de molienda y se ve influenciado significativamente por el tamaño de las partículas, así como la humedad inicial de la harina (Bangladesh et al., 2022).

**Cuadro 8. Distribución de tamaño de partícula de harina**

Tamiz ASTM	Tamaño de partícula (mm)	Muestra retenida
25	0.710	6.4%
40	0.425	27.8%
60	0.250	30.4%
80	0.180	13.2%
100	0.150	4.4%
Base		17.8%

Fuente: propia.

Se realizó un análisis granulométrico de la harina de cáscara de papa. Como se puede observar en el cuadro anterior, en el tamiz 25 se retuvo el 6.4% de la muestra, lo que indica que al menos ese porcentaje de la harina tiene un tamaño de partícula mayor a 0.71 mm. De manera similar, el 17.8% de la muestra se retuvo en la base y pasó a través del tamiz 100, lo cual indica que ese porcentaje de la harina tiene un tamaño de partícula menor a 0.15 mm. Además, la muestra de harina se distribuyó a través de los distintos tamices, lo que indica que el tamaño de las partículas de la harina no eran uniformes. Esto podría afectar negativamente las características sensoriales de la harina y las características de textura, sabor y apariencia del producto en el cual se utilice. Además, las características funcionales como

absorción de agua también se pueden ver afectadas por tamaño de partículas no uniforme (Dussán-Sarria et al., 2019). Adicionalmente, se puede observar en el Cuadro 8 que el tamiz no. 60 es en el cual se retuvo la mayor cantidad de las muestras, siendo de 30.4%. Esto significa que la mayor cantidad de harina se encuentra en un tamaño de partícula entre 0.425 y 0.25 mm. Este resultado es similar a tamaños de partícula de harina de cáscara de papa que se encontró en la literatura, como en un estudio realizado por (Ratnawati et al., 2019), en el cual se utilizó harina con un tamaño de partícula menor a 0.425 mm.

**Cuadro 9. Características tecnológicas de la harina**

<b>Capacidad de retención de agua</b>	9.21 ± 0.81 g/g
<b>Capacidad de retención de aceite</b>	3.63 ± 0.15 g/g
<b>Capacidad de hinchamiento</b>	13.00 ± 0.93 g/g
<b>Solubilidad</b>	16.3% ± 1.0%

Fuente: propia.

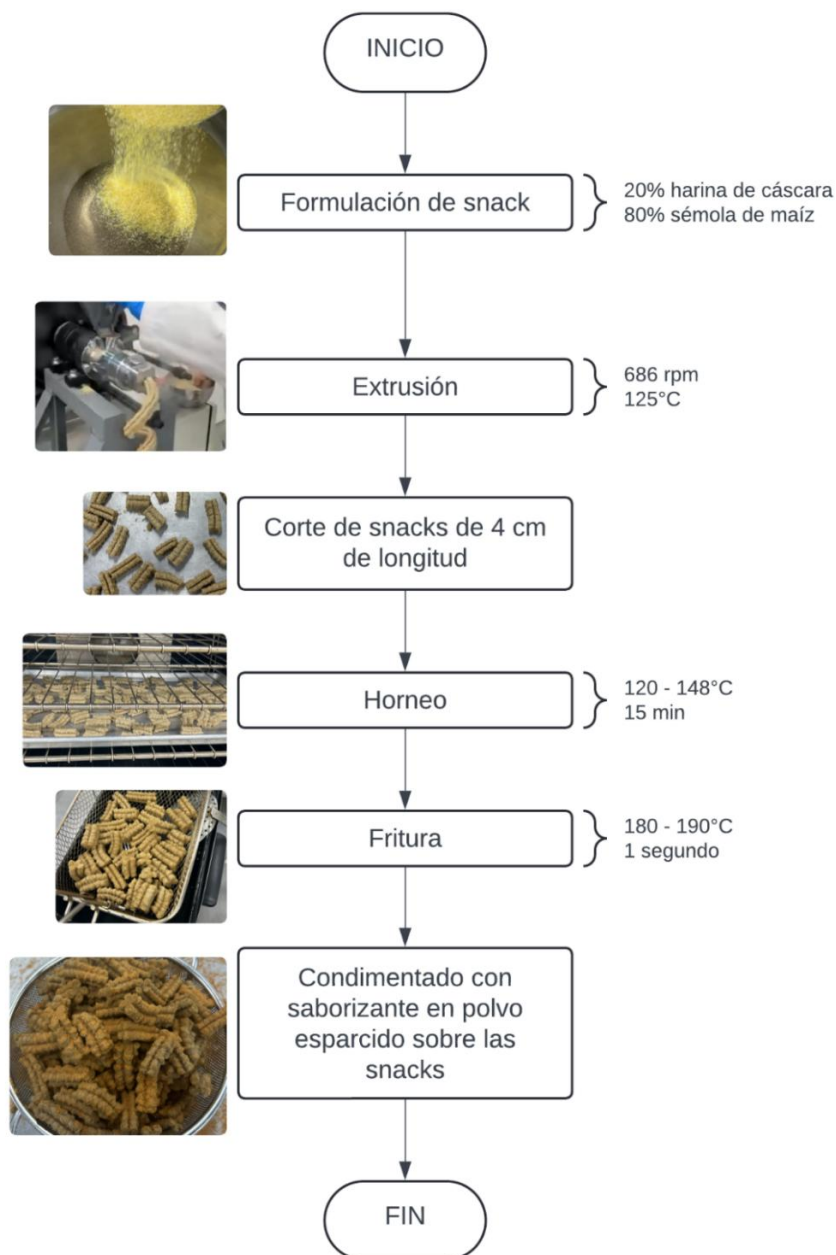
Se determinaron múltiples características tecnológicas/funcionales de la harina de cáscara de papa. Como se puede observar en el cuadro anterior, se determinó la capacidad de retención de agua y aceite de la harina, siendo de 9.21 ± 0.81 g agua/ g harina y 3.63 ± 0.15 g aceite/ g harina respectivamente. Estos son valores muy altos, ya que indican que la harina puede absorber más de 9 veces su peso en agua y más de 3 veces su peso en aceite. Estos resultados son mayores que los reportados por (Akter et al., 2023) de 5.67 g agua/ g harina y 2.84 g aceite/ g harina para capacidad de retención de agua y de aceite, respectivamente. La discrepancia en estos valores se debe principalmente a la variedad de papa trabajada y las condiciones del ambiente en el cual creció la papa (Pineda, 2020). Dependiendo del tipo de variedad de papa, también cambia la composición de la cáscara como la cantidad de aminoácidos, proteínas, fibra y polaridad de las moléculas, lo cual influye sobre las capacidades de retención de agua y aceite (Kakar et al., 2022). Adicionalmente, factores como el proceso de la harina tienen un impacto sobre estas características tecnológicas, ya que durante la molienda se determina el tamaño de partícula y mientras más pequeño sea, se aumenta la capacidad de retención de agua, específicamente (Lapčíková et al., 2021).

Los otros factores tecnológicos que se determinaron fueron la capacidad de hinchamiento y la solubilidad de la harina de cáscara de papa, las cuales son de 13.00 ± 0.93 g gel/ g harina y 16.3 ± 1.0%, respectivamente. El resultado de capacidad de hinchamiento fue mayor al 8.29 encontrado en harina de cáscara de papa por (Akter et al., 2023). La alta capacidad encontrada se debe principalmente al contenido de fibra en la matriz, ya que se observó que el contenido de almidón de la harina de cáscara es bajo. La fibra dietética soluble tiene la capacidad de absorber grandes cantidades de agua y puede crear una red viscosa que contribuye al hinchamiento de la harina (Zhang et al., 2020). Una alta capacidad de hinchamiento provee un beneficio ya que indica que la materia prima puede utilizarse para mejorar las características de productos horneados (Ratnawati et al., 2019). No existe mucha literatura sobre las características tecnológicas de la harina de cáscara de papa. Sin embargo, como se ha mencionado antes, la variedad y características de la papa son las que determinan sus características. El resultado obtenido para la solubilidad de harina de cáscara de papa es considerablemente mayor al resultado de 9.57% reportado por (Kusumayanti et al., 2015)

para harina de papa. Un porcentaje alto de solubilidad se deriva de los compuestos solubles de la harina, como proteínas y fibra soluble (Ratnawati et al., 2019). Una razón de la alta solubilidad de esta harina puede ser su bajo contenido de compuestos insolubles como almidón (Kusumayanti et al., 2015).

#### 7.4. Desarrollo de snack

*Figura 8. Diagrama de proceso de elaboración de snack*












Fuente: propia.

Como se puede observar en la Figura 8, se estableció un proceso de elaboración del snack extruido, el cual se diseñó tomando en cuenta los 6 pasos claves para la elaboración del snack. La operación más importante del proceso es la extrusión, la cual se llevó a cabo a

686 rpm y con una temperatura dentro del extrusor de 125°C. Se trabajó con estos parámetros debido a que el equipo extrusor que se utilizó tiene parámetros fijos. El proceso de horneado, fritura y condimentado fue definido después de múltiples pruebas en las cuales se ajustaron valores de temperaturas, tiempos y mecanismos de condimentado, como se muestra en el Cuadro 39 de los anexos.

**Cuadro 10. Pruebas de formulación de snack**

100% cáscara	80% cáscara	60% cáscara
		
50% cáscara	45% cáscara	40% cáscara
		
30% cáscara	20% cáscara	0% cáscara
		

Fuente: propia.

Se realizaron múltiples pruebas de formulación de snacks, iniciando por las originales definidas en la metodología. Las primeras formulaciones elaboradas fueron mezclas de 100%, 80% y 60% de harina de cáscara de papa con el porcentaje restante de sémola de maíz. Como se puede observar en el Cuadro 10, estas formulaciones no tienen una apariencia de snack extruido, debido a que las mezclas se solidificaron y se quedaron atascadas en el tornillo dentro del extrusor. El producto de estas extrusiones estaba quemado y oscuro se

determinó por su apariencia que no eran muestras aptas para el consumo humano. Las formulaciones de 50% y 45% de harina presentaron características muy similares a las anteriores, ya que no se expandieron, como se puede observar en la segunda fila del Cuadro 10. Además, las formulaciones tampoco mostraron características de proceso favorables ya que se solidificaron y quedaron atascadas en el tornillo del extrusor, tapando la boquilla. Por otra parte, se observó que las muestras con 40%, 30% y 20% de harina de cáscara de papa presentaron mejores características, ya que se expandieron y presentaron una textura porosa. En el proceso de estas formulaciones no hubo complicaciones dentro del extrusor, lo cual provocó que las muestras no se quemaran ni se interrumpiera el proceso de extrusión por taponamiento de la boquilla. Finalmente, se realizó la muestra “control”, que fue un snack con 100% sémola de maíz. Esta muestra no presentó ningún problema durante el proceso de extrusión y el producto final fue un snack expandido con alta porosidad evidenciada en el corte transversal.

Con base en los resultados obtenidos de todas las pruebas de formulaciones y extrusión, presentados anteriormente, se determinó que las formulaciones que produjeron snacks con mejores características de apariencia y proceso de extrusión fueron las que se elaboraron con 20%, 30% y 40% de harina de cáscara de papa. Sin embargo, es posible observar una tendencia clara en los resultados obtenidos, con base en la apariencia de los snacks que se puede observar en el Cuadro 10: a medida que aumenta la sustitución con harina de cáscara de papa, la expansión del extruido disminuye. Estas diferencias en los productos obtenidos se deben principalmente a la composición de las formulaciones, cuyas características son brindadas por la composición química de la harina de cáscara y la sémola. Se ha encontrado que el contenido de almidón en una matriz tiene un papel muy importante en la extrusión, ya que determina en gran medida la capacidad de expansión de un producto (Mohamed, 2023). Durante la extrusión, el almidón sufre modificaciones estructurales como la gelatinización, depolimerización y dextrinización, como consecuencia de los parámetros a los cuales se somete. La ruptura de los gránulos de almidón por el tornillo, en conjunto con la humedad inicial de la materia prima y las altas temperaturas, propician la gelatinización del almidón. Esto provee a la masa que se expandirá las características necesarias de textura para poder eliminar agua y expandirse al final del proceso (Sahin et al., 2022). La sémola de maíz es un producto que tiene un alto contenido de almidón, el cual puede llegar a ser mayor del 70% de la composición del maíz (Ek et al., 2020). Por otra parte, se ha encontrado que la harina de cáscara de papa tiene 0.90% de almidón, como se observa en el Cuadro 6. Esta es una de las características más importantes que influye en la expansión de los snacks finales, dando como resultado un snack más inflado cuando existe una mayor proporción de sémola de maíz.

## **7.5. Caracterización del snack final**

Finalmente, se realizaron diversos análisis para la determinación de las características químicas, físicas, tecnológicas y sensoriales del producto extruido final, obtenido por medio del proceso descrito en la Figura 8.

### ***Cuadro 11. Análisis sensorial del snack***

Parámetro	Alfa	Valor - p	Conclusión
Aceptación general	0.05	0.1030	No se rechaza Ho. No se puede concluir que hay diferencia
Color	0.05	0.0314	Se rechaza Ho. Hay una diferencia significativa
Aroma	0.05	0.6340	No se rechaza Ho. No se puede concluir que hay diferencia
Sabor	0.05	0.0154	Se rechaza Ho. Hay una diferencia significativa
Textura	0.05	0.0028	Se rechaza Ho. Hay una diferencia significativa
Expansión	0.05	0.0293	Se rechaza Ho. Hay una diferencia significativa

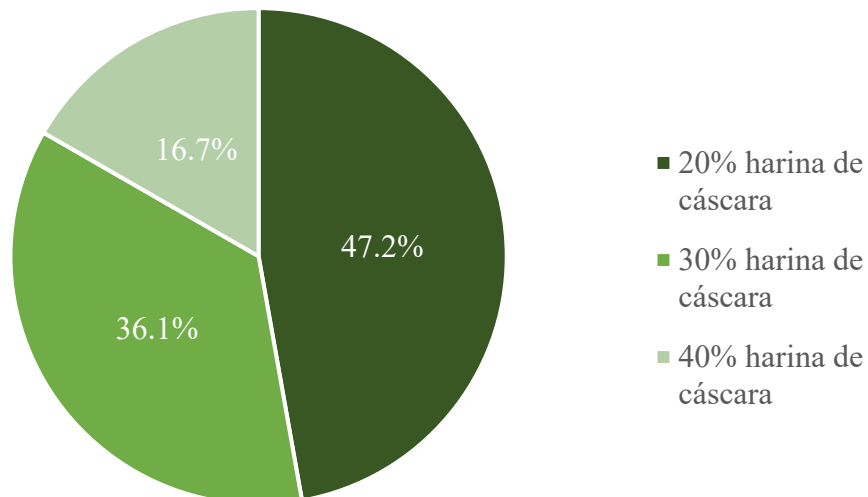
Fuente: propia.

Se llevó a cabo un análisis sensorial con snacks elaborados con 20, 30 y 40% de harina de cáscara de papa. Los atributos que fueron calificados por un panel de 72 estudiantes de la Universidad el Valle de Guatemala en una escala hedónica de 9 puntos se observan en el Cuadro 11. Con base en el análisis de varianza realizado para los resultados del panel sensorial, es posible decir que no hay una diferencia significativa en la aceptación general y el aroma de las tres muestras de snack ( $P > 0.05$ ). La evaluación sensorial de aceptabilidad general de un producto es basada considerablemente en preferencias personales y análisis subjetivo, por lo que no son resultados absolutos, pero sí reflejan las preferencias del consumidor (Ben Jeddou et al., 2017). Es por esto que los resultados sugieren que es posible utilizar una sustitución de hasta 40% de harina de cáscara de papa en la elaboración de snacks de maíz extruidos sin comprometer la aceptabilidad general del consumidor. Resultados similares fueron reportados por (Durmaz & Yuksel, 2021) en cuanto a la aceptabilidad general de chips de trigo suplementadas con harina de cáscara de papa.

Por otra parte, los resultados revelaron que sí existe una diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) para las características de color, sabor, textura y expansión entre las tres muestras de snack evaluadas. Descubrimientos similares fueron expuestos por (Akter et al., 2023) en cuanto a las características organolépticas de pastel adicionado con harina de cáscara de papa. En otro estudio realizado por (Nazir et al., 2022) en la incorporación de harina de cáscara de papa en muffins, se determinó que el color presenta una diferencia significativa entre muestras adicionadas con la harina ya que a medida que aumenta la sustitución de esta, el color del producto se vuelve más oscuro debido al color original de la harina de cáscara de papa. En cuanto al sabor, es evidente que este va cambiando según la adición de harina de cáscara de papa, ya que esta tiene un sabor diferente al de la sémola de maíz. Finalmente, la textura y expansión del snack sí cambiaron de manera significativa. Se observó un comportamiento similar en un análisis sensorial realizado por (Boluk et al., 2023) en un estudio sobre un snack extruido adicionado con subproductos industriales. Se encontró que,

al aumentar la adición del subproducto en el snack extruido, sus características texturales se ven afectadas.

**Figura 9. Preferencia de snack final**



Fuente: propia.

Otro parámetro importante que se evaluó en el análisis sensorial fue la preferencia de los consumidores por una de las tres muestras. Se evaluó este parámetro por medio de una pregunta respondida en un formulario digital después de la degustación de las tres muestras presentadas de manera aleatoria y con códigos aleatorios. Como se puede observar en la figura anterior, el snack que obtuvo una mayor preferencia, siendo esta del 47% de los panelistas, fue el snack formulado con 20% de harina de cáscara de papa. Por otra parte, el snack con la menor preferencia fue el que obtuvo la mayor cantidad de sustitución, con 40% de cáscara de papa. Se encontraron resultados similares en el estudio de (Akter et al., 2023), en el cual los consumidores mostraron mayor preferencia por el producto adicionado con la menor cantidad de cáscara de papa. Esto indica que, a pesar de que no haya diferencia significativa en la aceptación general de las tres muestras y es posible elaborar el snack con 40% de cáscara de papa, los consumidores muestran una preferencia clara por el snack con una sustitución de 20% de harina de cáscara de papa. Esta sustitución se considera muy buena, debido a que es el doble del porcentaje aceptado de sustitución de harina de cáscara de papa en la formulación del snack de trigo para snacks encontrado por (Durmaz & Yuksel, 2021).

Después del análisis sensorial, y de identificar el snack que obtuvo la mayor preferencia por parte de los panelistas, se determinó que todos los análisis que se realizaron serían únicamente para el snack preferido, el cual fue formulado con 20% de harina de cáscara de papa y 80% sémola de maíz.

**Cuadro 12. Características tecnológicas de la formulación de snack**

<b>Parámetro</b>	<b>Formulación de snack con 20% harina de cáscara de papa</b>	<b>Sémola de maíz (Kumar et al., 2021); (Ačkar et al., 2018)</b>
<b>Capacidad de retención de agua</b>	5.81 ± 0.28 g/g	0.90 g/g
<b>Capacidad de retención de aceite</b>	3.47 ± 0.30 g/g	0.96 g/g
<b>Capacidad de hinchamiento</b>	21.5 ± 0.3 g/g	20 g/g
<b>Solubilidad</b>	7.5% ± 1.4%	1.84%
<b>Densidad de bulto</b>	0.62 ± 0.01 g/mL	0.12 g/mL

Fuente: propia.

Se realizaron pruebas de características tecnológicas/ funcionales a la formulación del snack con 20% de harina de cáscara de papa y 80% sémola de maíz. Se utilizaron parámetros teóricos de sémola de maíz de los estudios realizados por (Kumar et al., 2021) y (Ačkar et al., 2018), como comparación contra la mezcla de harina de cáscara/sémola estudiada. Primero, se determinó la capacidad de retención de agua y aceite de la mezcla, las cuales fueron de  $5.81 \pm 0.28\%$  y  $3.47 \pm 0.30\%$ , respectivamente. Como se puede observar, estos resultados son menores que las capacidades de retención de agua y aceite de la harina de cáscara de papa únicamente, de  $9.21 \pm 0.81\%$  y  $3.63 \pm 0.15\%$ , como se observa en el Cuadro 6. Adicionalmente, estas capacidades son significativamente mayores a las de la sémola de maíz, como se observa en el Cuadro 12. Estos resultados concuerdan con (Ačkar et al., 2018), quienes encontraron que estas capacidades de retención son mayores en mezclas de sémola de maíz con subproductos, como la cáscara, que en sémola individual. Esto se puede otorgar a el alto contenido de fibra dietética en los subproductos como cáscara de papa, en comparación con sémola de maíz (Ačkar et al., 2018). Otro factor que afecta estas capacidades es el tipo de proteína de la matriz, así como los aminoácidos que la componen (Kakar et al., 2022).

Adicionalmente, se encontró que la capacidad de hinchamiento de la mezcla analizada fue de  $21.5 \pm 0.3$  g/g, en comparación con la capacidad de 20 g/g que se determinó teóricamente para la sémola de maíz (Kumar et al., 2021). Esto puede ocurrir debido a que la harina de cáscara de papa tiene un mayor contenido de fibra, la cual puede enlazarse fácilmente con el agua y mejorar la capacidad de hinchamiento (Ačkar et al., 2018). Por otra parte, se puede observar que se encontró una solubilidad de  $7.5 \pm 1.4\%$  de la mezcla formulada, la cual es significativamente mayor a la solubilidad de 1.84% en sémola de maíz. Estos resultados concuerdan con lo reportado por (Ačkar et al., 2018), ya que determinaron que la adición de subproductos a la sémola de maíz aumentaba su solubilidad en agua, debido a la presencia de componentes como la fibra dietética, que tiene una fracción soluble y que además hace fuertes enlaces con el agua. Estos resultados de capacidad de hinchamiento pueden presentar beneficios en la textura y crujencia de un snack, específicamente extruido (Ratnawati et al., 2019).

Finalmente, se determinó la densidad de bulto de la mezcla harina de cáscara de papa/sémola, la cual fue de  $0.62 \pm 0.01$  g/mL. Este resultado es considerablemente mayor a la densidad de bulto encontrada por (Ačkar et al., 2018) para la sémola de maíz. La densidad de bulto de las harinas puede ser afectada por el tamaño de partícula, así como de la humedad de la harina (Kakar et al., 2022). Además, una densidad de bulto alta se puede atribuir a un

mayor contenido de fibra dietética, cuyos polisacáridos no almidonados pueden retener más agua que las proteínas o almidón de la sémola de maíz, aumentando el peso de la mezcla y, por ende, su densidad de bulto (Bhat et al., 2019). Este resultado de densidad de bulto mayor al de la sémola puede tener influencia sobre el producto extruido final. Es importante resaltar que para el proceso de extrusión, es recomendado utilizar materias primas con la menor densidad de bulto, ya que esta tiene un efecto inverso en la porosidad y expansión del producto extruido final (Ačkar et al., 2018).

**Cuadro 13. Composición química del snack**

Compuesto	Snack con 20% harina de cáscara de papa	Snack con 100% sémola de maíz (Yang et al., 2020).
<b>Humedad</b>	0.80% ± 0.06%	1.29% ± 0.08%
<b>Cenizas</b>	0.47% ± 0.02%	0.66% ± 0.02%
<b>Proteína</b>	4.08% ± 0.11%	4.55% ± 0.08%
<b>Grasa</b>	54.52% ± 0.61%	29.46% ± 1.06%
<b>Carbohidratos</b>	40.13% ± 0.63%	64.03%
<b>Fibra dietética</b>	12.1% ± 0.4%	3.25% ± 0.32%

Fuente: propia.

Adicionalmente a los análisis tecnológicos de la mezcla formulada para el snack, se realizó un análisis proximal para el snack frito final de sustitución de 20% de harina de cáscara de papa antes de condimentar. Además, se utilizó un estudio realizado por (Yang et al., 2020) para obtener los valores teóricos de análisis proximal de un snack con 100% sémola de maíz frito, como “control” para realizar una comparación. Es importante resaltar que estos valores pueden variar levemente dependiendo de diferencias en el proceso de extrusión, además de que el snack elaborado en este estudio pasó por un proceso de horneado y fritura después de la extrusión. Es importante notar que todos los parámetros, con excepción a la grasa y fibra dietética fueron menores en el snack elaborado, en comparación con el snack “control” de 100% sémola de maíz. Se puede observar que el contenido de humedad en el snack con cáscara es menor al del snack de sémola. Esto puede ocurrir principalmente por el proceso de extrusión, ya que las características fueron distintas. La humedad del extruido puede variar en función de la humedad inicial de la mezcla, de la temperatura del proceso de extrusión y otros procesos (Amer & Rizk, 2022). Por ejemplo, la temperatura alta en la salida de la boquilla permitió la evaporación de agua del snack extruido. Además, el snack extruido elaborado fue deshidratado en un horno a 250 – 300°F por 15 minutos. Estos factores pudieron haber disminuido el contenido de humedad de manera significativa.

Un resultado interesante fue la cantidad de grasa encontrada para el snack analizado, la cual fue de 54.52 ± 0.61%. En varios estudios se ha encontrado que el proceso de extrusión disminuye la cantidad de grasa en el producto final, debido a las altas temperaturas, que provocan la oxidación de ácidos grasos no saturados y la subsecuente degradación de lípidos (Dalbhagat et al., 2019). Sin embargo, como se mencionó anteriormente, el contenido de grasa del snack fue alto. Este resultado se ve principalmente influenciado por el proceso de fritura que se llevó a cabo después del proceso de extrusión, el cual permitió una gran absorción de grasa. Este resultado es más alto que el snack “control” presentado en el Cuadro

13. Sin embargo, el resultado de contenido de grasa en la muestra es similar al 45.57% de grasa reportado por (Durmaz & Yuksel, 2021) en sus snacks tipo chips fritas adicionadas con harina de cáscara de papa. Esta gran cantidad de grasa absorbida por el snack extruido se atribuye a varios factores químicos y físicos, entre los cuales se puede resaltar la estructura porosa del snack extruido, la cual puede permitir que se absorba más aceite durante y después de la fritura (Lumanlan et al., 2019). Se ha encontrado que temperaturas de extrusión arriba de 100°C resultan en una estructura microporosa con más burbujas de aire pequeñas. Además, un aumento en el subproducto rico en fibra, en este caso la harina, provoca una disminución de almidón en la matriz, lo cual lleva a una reducción de la porosidad y los tamaños de las burbujas de aire debido a un menor grado de gelatinización del almidón (Sahin et al., 2022). La baja porosidad y el tamaño pequeño de los poros del snack extruido aumentan la presión capilar en la matriz y permiten una mayor absorción de aceite (Yang et al., 2020).


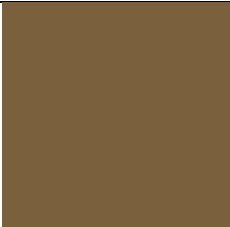
En cuanto al contenido de cenizas, el snack mostró un contenido levemente más bajo de cenizas en comparación con el “control”. Se esperaba que el snack extruido tuviera una menor cantidad de cenizas que la harina de cáscara de papa, ya que la mezcla que se utilizó solo tuvo un 20% de harina. Sin embargo, este resultado no solo es menor a la harina de cáscara de papa, sino también a la sémola de maíz. Esto quiere decir que este resultado bajo de cenizas no se debe únicamente a los componentes de la formulación, sino al proceso. A pesar de que la adición de harina de cáscara de papa debería favorecer el contenido de minerales en el alimento, se ha encontrado en algunos estudios que las condiciones extremas en el proceso de extrusión pueden tener un efecto de disminución del contenido de cenizas en el alimento (Quelal & Villacrés, 2023). Por otra parte, se ha demostrado que una humedad elevada en la alimentación puede facilitar la degradación de minerales como hierro durante la extrusión (Leonard et al., 2019). Además, estudios han revelado que, a pesar de que los minerales son relativamente estables durante la fritura, en papa se han encontrado pérdidas de 1 a 16% de los minerales originales después del proceso de fritura profunda (Dangal et al., 2024).

En el Cuadro 13 también es posible observar que la cantidad de proteína del snack final es muy similar a la obtenida en la muestra “control” teórica. Sin embargo, es levemente menor. El resultado de contenido de proteínas obtenido no concuerdan con los encontrados en otros estudios de adición de cáscara de papa como el de (Durmaz & Yuksel, 2021), en el cual el contenido de proteína aumentaba con la sustitución de harina de cáscara de papa. Esta leve disminución de proteínas en el snack final se puede otorgar a que las proteínas son compuestos termolábiles, los cuales se ven afectados significativamente por el proceso de extrusión, horneado y la fritura. Se ha demostrado que las condiciones de extrusión de baja humedad y alta temperatura (arriba de 120°C) causa una disminución significativa de la proteína en el extruido, así como una pérdida de aminoácidos (Dalbhagat et al., 2019). De igual manera, (Quelal & Villacrés, 2023) reportaron una disminución en el contenido de proteínas durante la extrusión de sémola de maíz, causada por la formación de enlaces disulfuro durante la extrusión.

Se encontró en el análisis proximal que el contenido de carbohidratos fue de  $40.13 \pm 0.63\%$  en el snack final. Casi la mitad que el contenido en el snack de 100% sémola de maíz. Es importante reconocer que este porcentaje puede percibirse muy bajo debido a la gran

cantidad de aceite que conforma la mitad del contenido del snack, en comparación con el snack “control”. Sin embargo, este resultado concuerda con el obtenido por (Durmaz & Yuksel, 2021) en su producto de chips adicionadas con cáscara de papa, utilizando el método de diferencia para encontrar el contenido de carbohidratos, el cual es de aproximadamente 40%. Este resultado tiene mayor congruencia con el obtenido en el snack elaborado debido a que también pasó por un proceso de fritura y su composición en general es similar. Entre este contenido de carbohidratos se encuentra la fibra dietética, la cual fue de  $12.1 \pm 0.4\%$ . Este resultado es significativamente mayor al que se muestra en el snack “control”, ya que la sémola de maíz tiene un contenido muy bajo de fibra dietética. Además, este snack tiene un contenido considerablemente alto de fibra, en comparación con otros snacks adicionados con harina de cáscara de papa, como las chips con un máximo de 6.9% de fibra desarrolladas por (Durmaz & Yuksel, 2021). Este resultado se debe a que la harina de cáscara de papa desarrollada tiene un contenido alto de fibra, del 43.5%, como se muestra en el Cuadro 6. Con este resultado de un snack alto en fibra es posible concluir que la cáscara de papa es una buena fuente de fibra dietética, la cual puede ser utilizada para desarrollar productos funcionales e incluso en pequeños porcentajes de sustitución provee una mejora en la fibra dietética de productos de sémola de maíz (Ačkar et al., 2018).

**Cuadro 14. Apariencia de snack final**

<b>Apariencia</b>	
<b>Largo</b>	$4.34 \pm 0.17$ cm
<b>Ancho</b>	$1.76 \pm 0.13$ cm
<b>Profundidad</b>	$1.68 \pm 0.11$ cm
<b>L*</b>	
<b>a*</b>	$7.61 \pm 0.09$
<b>b*</b>	$24.21 \pm 0.18$
<b>Color</b>	

Fuente: propia.

Después de los análisis químicos, se realizaron análisis físicos del snack, los cuales se ven afectados por las características químicas y funcionales descritas anteriormente. En el cuadro anterior es posible observar una imagen del snack final que se preparó según el método descrito en la Figura 8. Estos snacks se obtuvieron en forma de tiras grandes del extrusor y luego fueron cortados a mano a un largo de  $4.34 \pm 0.17$  cm. Adicionalmente, se

encontró que el ancho y la profundidad de los snacks fue en promedio de  $1.76 \pm 0.13$  cm y  $1.68 \pm 0.11$  cm, respectivamente. Estos últimos valores fueron determinados por la tasa de expansión de los snacks.

Adicionalmente, se realizó un análisis de colorimetría al snack final, antes de condimentarse, ya que el color puede variar dependiendo del condimento que se le pueda agregar. Se determinó un valor de  $L^*$  (luminosidad) de  $42.81 \pm 0.46$ , de  $a^*$  (rojo – verde) de  $7.61 \pm 0.09$  y de  $b^*$  (amarillo – azul) de  $24.21 \pm 0.18$ . Esto indica que esta muestra fue un poco más oscura que la harina, ya que el valor de  $L^*$  para el snack fue menor, en una escala del 0 – 100. Además, este snack presentó una tonalidad más roja y mas amarilla que la harina de cáscara de papa, ya que los valores de  $a^*$  y  $b^*$  fueron mayores para el snack (Xiao et al., 2020). En el Cuadro 14 es posible observar el color exacto del snack, resultado de la combinación de los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  ya mencionados. Este color es más oscuro y amarillo que el de la harina de cáscara de papa, lo que se debe principalmente a que el snack se conformó no sólo de harina de cáscara de papa, sino de sémola de maíz, la cual es un color amarillo brillante.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por (Singha et al., 2018), quienes determinaron que los snacks disminuyeron el valor de  $L^*$  debido a las temperaturas del proceso de extrusión, las cuales fomentaron la reacción de Maillard. Además, indicaron que un aumento en el valor de  $a^*$  se atribuye a humedad alta al inicio de la extrusión y un aumento en el valor de  $b^*$  puede ser dado por una velocidad del tornillo del extrusor elevada. Esto establece que el proceso de extrusión tiene influencia sobre el color del producto. Por otra parte, el color de la muestra final se puede ver afectado por el proceso de fritura. Este cambio de color depende de varios factores como el tipo de aceite, tiempo y temperatura de fritura y pretratamientos antes de la fritura. En el caso de productos con papa, como el snack evaluado, el cambio de color a un café brillante se da por la reacción de Maillard, en función de la presencia de azúcares reductoras (Dangal et al., 2024).

**Cuadro 15. Características físicas del snack**

<b>Actividad de agua</b>	$0.55 \pm 0.02$
<b>Capacidad antioxidante</b>	$40.13\% \pm 0.63\%$
<b>Dureza</b>	$16.02 \pm 0.73$ N
<b>Densidad de bulto</b>	$0.15 \pm 0.02$ g/mL
<b>Densidad aparente</b>	$0.22 \pm 0.01$ g/mL
<b>Porosidad</b>	$32\% \pm 7\%$
<b>Tasa de expansión</b>	$5.05 \pm 0.37$

Fuente: propia.

Se midieron otras características físicas del snack extruido. La actividad de agua es un parámetro importante de la calidad y estabilidad microbiana de un producto extruido

(Syed et al., 2019). Como se puede observar en el cuadro anterior, la actividad de agua del snack fue de  $0.55 \pm 0.02$ . Este resultado es similar al encontrado por (Gomes et al., 2023), de una actividad de agua de 0.55 – 0.61 para snacks de sémola de maíz adicionados con proteína de soya y lentejas. Sin embargo, este resultado es mayor a la actividad de agua mostrada por un snack “control” de sémola de maíz, el cual fue de 0.34. Resultados similares fueron obtenidos por (Igual et al., 2020), quienes adicionaron harina de arveja a un snack extruido y encontraron que la cantidad de sustitución de harina de arveja incrementaba la actividad de agua del snack. Este aumento en la actividad de agua con la harina de lenteja, similar al resultado obtenido en este snack adicionado con harina de cáscara de papa, se puede atribuir a la adición de la harina, ya que esta representa un aumento de proteínas y fibra que interfiere en la gelatinización durante la extrusión y altera la distribución de agua en la matriz. Es importante que la actividad de agua de los snacks extruidos se encuentre dentro del rango de 0.4 – 0.5 para preservar la textura del snack, evitar la descomposición microbiana y el riesgo de rancidez hidrolítica de la grasa (Gomes et al., 2023).

Otro parámetro que se midió fue la actividad antioxidante del snack, la cual fue de  $40.13 \pm 0.63\%$ . Este resultado es significativamente mayor al encontrado por (González Victoriano et al., 2019), quienes encontraron una actividad antioxidante de 11.94% para un snack extruido “control” compuesto únicamente de sémola de maíz. También demostraron que existe una tendencia al aumento de la capacidad antioxidante del producto final con el aumento de harina de papa morada a la formulación de sémola de maíz. La alta capacidad antioxidante del producto final se debe en su mayoría a la gran cantidad de compuestos fenólicos en la materia prima que se mezcla con la sémola. Como se mencionó en el Cuadro 7, la capacidad antioxidante de la harina de cáscara de papa es casi 95%, por lo que su adición en la formulación con sémola de maíz permite un aumento en la capacidad antioxidante del producto final. A pesar de esta capacidad alta, es posible reconocer que es menor a la capacidad antioxidante de la materia prima, lo cual se puede atribuir al proceso de extrusión. En múltiples estudios se ha encontrado que la actividad antioxidante de los snacks extruidos puede disminuir durante el proceso de extrusión. Se ha reportado que altas temperaturas (arriba de  $160^{\circ}\text{C}$ ) y velocidades de tornillo elevadas (arriba de 160 rpm), así como una alta humedad inicial han demostrado un efecto de reducción en la capacidad antioxidante de los productos extruidos en comparación con la materia prima de la alimentación (Leonard et al., 2019). Además, se ha observado que la actividad antioxidante en snacks extruidos también se ve reducida por la eliminación de sustancias fenólicas debido a un efecto de polimerización durante la extrusión, así como reducción de solubilidad de los compuestos fenólicos en el snack final (Sahin et al., 2022). El proceso de extrusión tiene claras implicaciones en la capacidad antioxidante de los productos extruidos. Sin embargo, es posible concluir que este producto final tiene una capacidad antioxidante elevada.

Otro parámetro que se midió fue la dureza, la cual es de suma importancia en la elaboración de snacks extruidos. La dureza de un snack se entiende como la fuerza que se necesita para quebrar la muestra de snack con una sonda, como se indicó en la sección 6.4.2. Esto representa de manera estimada la fuerza que deberá aplicar el consumidor para morder y quebrar el snack (Leonard et al., 2019). Los resultados del Cuadro 15 muestran que la dureza del snack fue de  $16.02 \pm 0.73$  N. Este resultado es levemente menor al obtenido por (Ačkar et al., 2018), de 17.59 N para snacks extruidos de 100% sémola de maíz. Se ha encontrado en múltiples estudios que la dureza de los snacks aumenta con la adición de un

subproducto alto en fibra o proteína. (Durmaz & Yuksel, 2021) encontraron que la dureza de un snack tipo chips adicionado con harina de cáscara de papa muestra mayor dureza que el snack control de maíz. Este no es el comportamiento observado con el resultado obtenido al compararlo con la dureza del snack extruido de sémola de maíz encontrada por (Ačkar et al., 2018), que se menciona anteriormente. Esto es debido a que la dureza de un snack extruido se ve influenciada de manera significativa por la humedad de la alimentación en el extrusor, la temperatura de proceso y la velocidad del tornillo. Las diferencias en la dureza de los snacks se puede atribuir a los parámetros como temperatura de operación y velocidad de tornillo elevadas, las cuales resultan en un snack extruido más suave (Leonard et al., 2019). Una temperatura de proceso mayor disminuye la viscosidad de la muestra dentro del extrusor, lo que favorece la creación de burbujas, disminución de densidad y produce un extruido con menor dureza (Pardhi et al., 2019). Otro parámetro muy importante es la humedad de alimentación en el extrusor, ya que al tener una menor humedad en la entrada, aumenta la gelatinización del almidón y provoca una menor absorción de agua en la salida, aumentando la porosidad y expansión del snack y disminuyendo la dureza (Sahu et al., 2022).

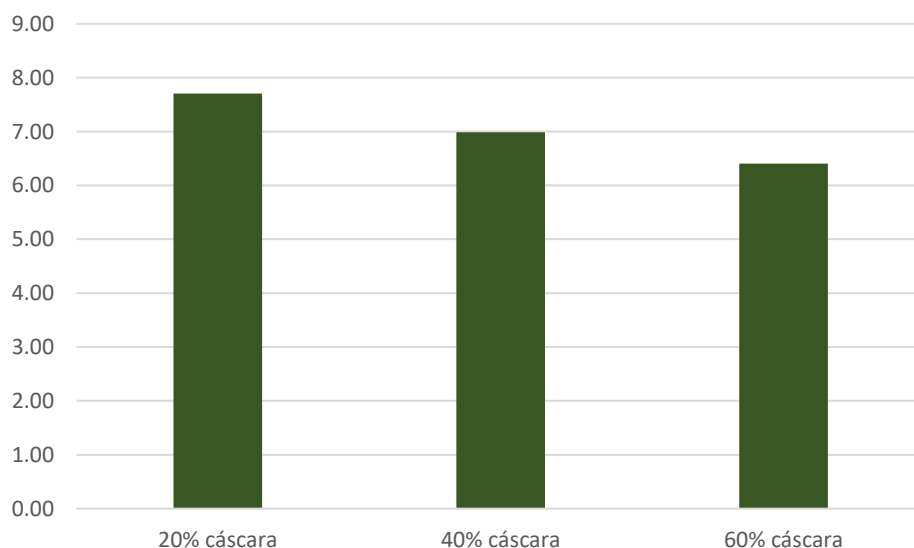
Se encontró que la densidad de bulto del snack fue de  $0.15 \pm 0.02$  g/mL. Este resultado es similar al de (Amer & Rizk, 2022), quienes encontraron densidades de bulto de snacks extruidos de maíz adicionados con subproductos en un rango de  $0.12 - 0.36$  g/mL. Este resultado es óptimo, debido a que es muy parecido al de la sémola de maíz, que se tomó como “control” en el Cuadro 12. Esta densidad de bulto baja se atribuye a una menor humedad en la alimentación del extrusor y se ve favorecida también por una velocidad y temperatura de extrusor elevadas (Pardhi et al., 2019). Además de los parámetros de extrusión, la composición de la alimentación influye en la densidad de bulto del producto final. Se ha determinado en varios estudios que la adición de subproductos altos en fibra y proteínas, como la cascara de papa, a productos extruidos aumenta la densidad de bulto final del producto, sin embargo, esta densidad se considera aceptable ya que es relativamente baja (Ačkar et al., 2018). Se ha encontrado que los snacks extruidos con menor densidad de bulto son preferidos para los productos extruidos. Por otra parte, se determinó la densidad aparente de la muestra de snack triturada, la cual fue de  $0.22 \pm 0.01$  g/mL. Esta densidad es mayor que la densidad de bulto ya que no se consideran los espacios vacíos y poros del snack. Este resultado es un poco mayor al de (Karun et al., 2022), quien encontró densidades aparentes de hasta  $0.1671$  g/mL en extruidos. Este valor de densidad aparente elevado se debe al contenido significativo de fibra y proteína de la alimentación, cuyo efecto combinado durante la extrusión provoca que la densidad aparente aumente (Karun et al., 2022).

Este aumento entre el valor de la densidad aparente y valor de densidad de bulto representa una porosidad significativa en la muestra (Qiu et al., 2015). Se encontró que la porosidad del snack fue de  $32 \pm 7\%$ . Este resultado es levemente menor al reportado por (Sahin et al., 2022), de  $47\%$  de porosidad para un snack extruido de sémola de maíz adicionado con germen de trigo. También demostraron que existe una relación inversa entre la cantidad de subproducto adicionado y la porosidad del snack, en comparación con el snack “control” de sémola de maíz. Es evidente entonces que la adición de harina de cáscara de papa, la cual es alta en fibra, es un factor que reduce la porosidad del snack final. Adicionalmente, se ha demostrado que la porosidad de snacks es altamente sensible a las condiciones de extrusión. La velocidad de tornillo, temperatura de extrusión y humedad de la alimentación tienen una relación inversa con la porosidad, por lo que si alguno de estos

parámetros fue elevado, esto pudo haber disminuido la porosidad del snack (Karun et al., 2022). Una porosidad baja en un snack refleja la baja capacidad de evaporar agua de la muestra al salir de la boquilla del extrusor y está directamente relacionada con la tasa de expansión (Dalbhagat et al., 2019). Además, el contenido de almidón tiene un efecto sobre la porosidad, ya que este no se une tan fuertemente con el agua y permite una mayor evaporación en la salida del extrusor, lo cual aumenta el tamaño de las burbujas de aire y porosidad de la estructura (Ačkar et al., 2018). Además, la sémola de maíz provee una mayor porosidad que la harina de cáscara de papa debido a que el el midón se gelatiniza y crea las busbujas de aire grandes que proveen una alta porosidad (Sahin et al., 2022).

La tasa de expansión es uno de los parámetros cruciales para el producto final en un proceso de extrusión. Como se puede observar en el Cuadro 15, la tasa de expansión del snack final fue de  $5.05 \pm 0.37$ . Esto indica que el extruido final puede aumentar alrededor de 5 veces su propio tamaño al salir de la boquilla del extrusor. Estos resultados son muy similares a los encontrados por (Quelal & Villacrés, 2023), quienes encontraron tasas de expansión de 5.02 – 5.54 en snacks extruidos de maíz. Este resultado de expansión es mejor que otros encontrados en estudios de snacks extruidos sustituidos con subproductos, como la tasa de expansión de 3.42 reportada por (Sahin et al., 2022) en snacks extruidas de sémola de maíz sustituidas con germen de trigo o la tasa de expansión de 2.1 de un snack extruido de maíz sustituido con cereales como arroz, reportada por (Karun et al., 2022). Es posible decir, con base en otros estudios realizados, que el snack extruido muestra un valor óptimo de tasa de expansión. La tasa de expansión se ve considerablemente afectada por parámetros de extrusión como humedad de la alimentación, temperatura de proceso y velocidad de tornillo (Leonard et al., 2019). Se ha demostrado que una mayor temperatura de proceso y mayor velocidad del tornillo pueden producir un snack con mayor tasa de expansión. Por el contrario, una mayor humedad de la alimentación inicial produce una disminución en la expansión del snack (Sahu et al., 2022). Es por esto que es importante determinar los parámetros correctos para la tasa de expansión deseada en un snack extruido.

**Figura 10. Aceptabilidad de expansión de snacks**



Fuente: propia.

La expansión fue uno de los parámetros que mostró una diferencia significativa entre las tres muestras iniciales de snacks calificadas en el análisis sensorial, como se muestra en el Cuadro 11. Esto es porque esta es una de las propiedades características de los snacks extruidos, a la cual los consumidores le dan más importancia. Como se puede observar, existe una tendencia de disminución de la aceptabilidad de la expansión del snack a medida que la sustitución de harina de cáscara de papa aumenta, lo que provoca que la expansión de los snacks disminuya. Se han encontrado resultados similares en estudios, como el de (Sahin et al., 2022) quienes reportan que una mayor adición de subproducto lleva a una tasa de expansión menor y una mayor densidad. El snack sustituido con un 20% de cáscara de papa obtuvo una mayor aceptabilidad de la expansión, con una aceptabilidad promedio de 7.7. Como se muestra en el Cuadro 15, su tasa de expansión fue de  $5.05 \pm 0.37$ . Esta expansión no sólo se ve influenciada por los parámetros de extrusión, sino por la composición de la materia prima.

El ingrediente que juega un rol más importante en la extrusión es el almidón, ya que este se gelatiniza durante el proceso de extrusión y provee ciertas características texturales a la masa cuando los gránulos de almidón absorben agua, la cual se pierde por evaporación rápida debido al cambio drástico de presión de vapor a la salida de la boquilla del extrusor, causando la expansión de snack (Mohamed, 2023). El contenido de fibra también es crucial ya que se ha encontrado que esta se enlaza con el agua de manera más fuerte que el almidón, evitando la pérdida de ella en la salida del extrusor, lo cual reduce la expansión del snack. Además, la proteína de la materia prima también tiene influencia sobre la expansión, ya que tienen la capacidad de alterar la distribución de agua en la matrix alimentaria, afectando la propiedad de estiramiento de la masa durante la extrusión (Leonard et al., 2019). Una mayor adición de un subproducto como harina de cáscara de papa puede representar una disminución de almidón y un aumento de fibra y proteína en la materia prima, lo que puede resultar en un snack con menor expansión. Sin embargo, se han hecho estudios para optimizar el nivel de expansión de un snack de maíz sustituido con subproductos altos en fibras y proteínas. Se reportó que la adición de pectina como agente estabilizador en una proporción de hasta 1% aumenta la expansión de los snacks con mayores sustituciones de subproducto, en comparación con la misma formulación sin pectina. Este agente aumenta la extensibilidad de la mezcla dentro del extrusor, mejorando la porosidad. Además, la pectina tiene propiedades emulsificantes y estabilizantes y crea complejos con proteínas, almidón y grasa, contrarrestando los efectos negativos de las proteínas en el producto y mejorando la tasa de expansión (Aćkar et al., 2018)

Como se ha mencionado anteriormente, todos los resultados de características físicas del snack se ven afectados de manera significativa por los parámetros de extrusión. El extrusor utilizado en este estudio tiene parámetros de velocidad de tornillo, temperatura dentro del barril y presión fijas, ya que no pueden modificarse y dependen de la alimentación. Sin embargo, es de suma importancia definir los parámetros correctos al llevar a cabo el proceso de extrusión para desarrollar un producto extruido de alta calidad y características sensoriales aceptables para el consumidor (Dalbhagat et al., 2019). En múltiples estudios se ha encontrado parámetros que proveen resultados óptimos, como temperatura de 140°C dentro del barril y humedad inicial de 14.95% en el estudio realizado por (Sahin et al., 2022)

o 120°C, 350 rpm de velocidad del tornillo y 10% humedad inicial en el estudio de (Karun et al., 2022). Sin embargo, es importante ajustar los parámetros con iteraciones del proceso para obtener el producto específico que se requiere, tomando en cuenta la materia prima que se va a trabajar para obtener resultados óptimos.

Los resultados de este estudio evidencian que se desarrolló de manera exitosa una harina de cáscara de papa de desecho de la industria de frituras guatemalteca. El proceso productivo de la harina como materia prima se estableció en 8 pasos clave para su desarrollo. Esta harina fue sometida a múltiples análisis en los cuales se determinó su composición química y sus características físicas y tecnológicas, lo cual permitió caracterizar esta harina como una materia prima factible para su uso en la industria de alimentos. La aplicación de la harina presentada en este estudio fue un snack extruido a base de una mezcla de sémola de maíz y harina de cáscara de papa, cuyo proceso productivo también fue diseñado y presentado en una serie de 6 pasos clave. El producto final obtenido, un snack extruido con 80% sémola y 20% harina de cáscara, fue analizado para la determinación de su composición química, características físicas aceptabilidad sensorial.

## 8. Conclusiones

- Se desarrolló una harina de cáscara de papa (*Solanum tuberosum L.*) de desecho de la industria de frituras de Guatemala.
- Se elaboró una harina de cáscara de papa de desecho, viable para su uso como materia prima, la cual se caracterizó por sus propiedades químicas, físicas y tecnológicas.
- Se formuló y estableció el proceso de elaboración de un producto extruido a base de harina de cáscara de papa (*Solanum tuberosum L.*), en el cual se determinó que las sustituciones de harina de cáscara de papa de 20 – 40% produjeron los snacks con mejores características.
- Se evaluaron las características químicas, físicas, tecnológicas y sensoriales del producto extruido final, cuyo porcentaje de sustitución de harina de cáscara de papa fue de 20%.
- El snack final presentó un porcentaje de grasa alto, el cual se debe principalmente a la estructura microporosa del extruido causada por un bajo porcentaje de almidón en la matriz.
- Se encontró que el snack con 20% de sustitución de harina de cáscara de papa mostró una mayor preferencia en los consumidores, en comparación con muestras de snack de 40% y 60% de sustitución, pero no se encontró una diferencia significativa en la aceptabilidad de los tres tipos de snack.

## 9. Recomendaciones

- Se sugiere utilizar un método alternativo para determinar el contenido de almidón en la harina de cáscara de papa, como el método AOAC 2011.25 para obtener resultados más acertados para la matriz alimentaria utilizada.
- Se recomienda seleccionar un tamaño de partícula específico para la harina final, con el fin de evitar efectos negativos de una distribución no uniforme de partículas en las características sensoriales y funcionales de la harina (Dussán-Sarria et al., 2019).
- Se recomienda utilizar diferentes tipos de aceite y condiciones de fritura para disminuir la absorción de aceite en el snack extruido y obtener mejores características nutricionales del producto final (Dangal et al., 2024) .
- Se recomienda desarrollar formulaciones en las cuales se incorporen agentes como pectina para mejorar las características físicas y químicas del extruido final, permitiendo una mayor sustitución de harina de cáscara de papa sin perjudicar las propiedades deseadas del snack (Ačkar et al., 2018) .

## 10.Referencias

- Abebaw, G. (2020). Review on: Its Potentials and Application of Potato Peel (Waste). *Journal of Aquaculture & Livestock Production*, 1–4.  
[https://doi.org/10.47363/JALP/2020\(1\)104](https://doi.org/10.47363/JALP/2020(1)104)
- Ačkar, Đ., Jozinović, A., Babić, J., Miličević, B., Panak Balentić, J., & Šubarić, D. (2018). Resolving the problem of poor expansion in corn extrudates enriched with food industry by-products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 47, 517–524. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.05.004>
- Akter, M., Anjum, N., Roy, F., Yasmin, S., Sohany, M., & Mahomud, M. S. (2023). Effect of drying methods on physicochemical, antioxidant and functional properties of potato peel flour and quality evaluation of potato peel composite cake. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, 100508.  
<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100508>
- Alonso, J., García-Jarquín, K. Z., González-Lindo, K., & Benavente, M. (2014). Producción de harina de papa para puré instantáneo. *Nexo Revista Científica*, 27, 99.  
<https://doi.org/10.5377/nexo.v27i2.1946>
- Amer, S. A., & Rizk, A. E. (2022). Production and evaluation of novel functional extruded corn snacks fortified with ginger, bay leaves and turmeric powder. *Food Production, Processing and Nutrition*, 4(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s43014-022-00083-3>
- Bangladesh, J., Bot, SUBRIN, S., SATTER, M., Rahman, J., ZANNAT, M., Chowdhury, F., & Hossain, A. (2022). Physico-Functional and Nutritional Properties of

- Pigmented and Non-pigmented Maize Available In Bangladesh. *Bangladesh Journal of Botany*, 51, 2022. <https://doi.org/10.3329/bjb.v51i3.62006>
- Ben Jeddou, K., Bouaziz, F., Zouari-Ellouzi, S., Chaari, F., Ellouz-Chaabouni, S., Ellouz-Ghorbel, R., & Nouri-Ellouz, O. (2017). Improvement of texture and sensory properties of cakes by addition of potato peel powder with high level of dietary fiber and protein. *Food Chemistry*, 217, 668–677. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.081>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.170>
- Bodor, K., Szilágyi, J., Salamon, B., Szakács, O., & Bodor, Z. (2024). Physical–chemical analysis of different types of flours available in the Romanian market. *Scientific Reports*, 14(1), 881. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49535-x>
- Boluk, I., Kumcuoğlu, S., & Tavman, S. (2023). Characterization and Sensory Evaluation of an Extruded Snack Using Fig Molasses By-Product and Development, Characterization and Sensory Evaluation of an Extruded Snack Using Fig Molasses By-Product and Corn Semolina. *Foods*, 12, 1029. <https://doi.org/10.3390/foods12051029>
- Burgos, G., Felde, T., Andre, C., & Kubow, S. (2020). *The Potato and Its Contribution to the Human Diet and Health* (pp. 37–74). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-28683-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-28683-5_2)
- Çalışkan, M., Bakhsh, A., & Jabran, K. (2023). *Potato Production Worldwide*. Academic Press.

- Caraza-Harter, M. V., & Endelman, J. B. (2020). Image-based phenotyping and genetic analysis of potato skin set and color. *Crop Science*, *60*(1), 202–210.  
<https://doi.org/10.1002/csc2.20093>
- Carter, B., Galloway, M., Morris, C. f, Weaver, G. L., & Carter, A. (2015). The Case for Water Activity as a Specification for Wheat Tempering and Flour Production. *Cereal Foods World*, *60*, 166–170. <https://doi.org/10.1094/CFW-60-4-0166>
- 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*, *9*(2), 162–168. <https://doi.org/10.22271/tpi.2020.v9.i2d.4367>
- Conway, J. (2024). *Snack food volume per capita by segment worldwide 2028*. Statista.  
<https://www.statista.com/forecasts/1231162/snack-food-volume-per-capita-by-segment-worldwide>
- Cozma, A., VELCIOV, A., POPESCU, S., MIHUT, C., & DUMA, A. (2024). *DETERMINATION OF SOME NUTRITIONAL PARAMETERS OF POTATO PEEL - PRELIMINARY RESEARCH*. *56*(1).
- da Silva, M., Vilaronga, A., & Otto, M. (2023). *DETERMINATION OF THE MOISTURE CONTENT IN SAMPLES OF WHEAT FLOUR*. *11*(1), 8.
- Dalbhat, C., Mahato, D., & Mishra, H. N. (2019). Effect of extrusion processing on physicochemical, functional and nutritional characteristics of rice and rice-based products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *85*.  
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.001>
- Dangal, A., Tahergorabi, R., Acharya, D. R., Timsina, P., Rai, K., Dahal, S., Acharya, P., & Giuffrè, A. M. (2024). Review on deep-fat fried foods: Physical and chemical

- attributes, and consequences of high consumption. *European Food Research and Technology*, 250(6), 1537–1550. <https://doi.org/10.1007/s00217-024-04482-3>
- Dongyu, D. Q. (2023). *Role and Potential of Potato in Global Food Security*.
- Durmaz, A., & Yuksel, F. (2021). Deep fried wheat chips added with potato peel flour—Effect on quality parameters. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 13, 115–124. <https://doi.org/10.15586/qas.v13i1.844>
- Dussán-Sarria, S., Hurtado-Hurtado, D. L., Camacho-Tamayo, J. H., Dussán-Sarria, S., Hurtado-Hurtado, D. L., & Camacho-Tamayo, J. H. (2019). Granulometría, Propiedades Funcionales y Propiedades de Color de las Harinas de Quinoa y Chontaduro. *Información tecnológica*, 30(5), 3–10. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000500003>
- Ek, P., Baner, J. M., & Ganjyal, G. M. (2020). Chapter 8—Extrusion processing of cereal grains, tubers, and seeds. En G. M. Ganjyal (Ed.), *Extrusion Cooking* (pp. 225–263). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815360-4.00008-0>
- Erkmen, O., & Bozoglu, B. (2016). Food Preservation by Low Temperatures. En *Food Microbiology: Principles into Practice* (pp. 34–43). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119237860.ch29>
- FAO. (2022). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: ¿Por qué es importante evitar la pérdida y el desperdicio de alimentos? | FAO en Guatemala | Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <https://www.fao.org/guatemala/noticias/detail-events/en/c/1606985/>
- FAOSTAT. (2024). *Crops and livestock production*. Food and Agriculture Organization of the United States. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

- Fortune Business Insights. (2022). *Extruded Snacks Market Size, Share, Growth, Forecast, 2032*. <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/extruded-snacks-market-101510>
- Gebrechistos, H. Y., & Chen, W. (2018). Utilization of potato peel as eco-friendly products: A review. *Food Science & Nutrition*, 6(6), Article 6. <https://doi.org/10.1002/fsn3.691>
- Gomes, K. S., Berwian, G. F., Tiepo, C. B. V., & Colla, L. M. (2023). Development and evaluation of extruded protein snacks added. *Food Science and Technology*, 43. <https://doi.org/10.5327/fst.1123>
- Gonçalves, M. L. M. B. B., & Maximo, G. J. (2023). Circular Economy in the Food Chain: Production, Processing and Waste Management. *Circular Economy and Sustainability*, 3(3), 1405–1423. <https://doi.org/10.1007/s43615-022-00243-0>
- González, M. N., Massa, G. A., Andersson, M., Turesson, H., Olsson, N., Fält, A.-S., Storani, L., Décima Oneto, C. A., Hofvander, P., & Feingold, S. E. (2020). Reduced Enzymatic Browning in Potato Tubers by Specific Editing of a Polyphenol Oxidase Gene via Ribonucleoprotein Complexes Delivery of the CRISPR/Cas9 System. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01649>
- González Victoriano, L., Guemes Vera, N., Chel Guerrero, L. A., Bernardino Nicanor, A., Soto Simental, S., Chanona Pérez, J. J., & Quintero Lira, A. (2019). Physical–chemical characterization and antioxidant properties of extruded products made from mixtures composed of corn grits and red potato flour (*Oxalis tuberosa*). *CyTA - Journal of Food*, 17(1), 69–77. <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1554703>
- Grasso, S. (2020). Extruded snacks from industrial by-products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 284–294. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.012>

- Heltoft, P., Wold, A.-B., & Molteberg, E. L. (2017). Maturity indicators for prediction of potato (*Solanum tuberosum* L.) quality during storage. *Postharvest Biology and Technology*, *129*, 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.03.011>
- Igual, M., García-Segovia, P., & Martínez-Monzó, J. (2020). Effect of *Acheta domesticus* (house cricket) addition on protein content, colour, texture, and extrusion parameters of extruded products. *Journal of Food Engineering*, *282*, 110032. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110032>
- Ijaz, N., Bashir, S., Ikram, A., Zafar, A., Ul Ain, H. B., Ambreen, S., Ahmad, M., Almalki, R. S., Khalid, M. Z., Khalid, W., & Madilo, F. K. (2024). Valorization of potato peel: A sustainable eco-friendly approach. *CyTA - Journal of Food*, *22*(1), 2306951. <https://doi.org/10.1080/19476337.2024.2306951>
- Javed, A., Ahmad, A., Tahir, A., Shabbir, U., Nouman, M., Hameed, A., & Institute of Home & Food Sciences, Government College University Faisalabad, Pakistan. (2019). Potato peel waste-its nutraceutical, industrial and biotechnological applications. *AIMS Agriculture and Food*, *4*(3), 807–823. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2019.3.807>
- Jimenez-Champi, D., Romero-Oregon, F. L., Moran-Reyes, A., Muñoz, A. M., & Ramos-Escudero, F. (2023). Bioactive compounds in potato peels, extraction methods, and their applications in the food industry: A review. *CyTA - Journal of Food*, *21*(1), 418–432. <https://doi.org/10.1080/19476337.2023.2213746>
- Jozinović, A., Ackar, D., Stela, J., Babic, J., Panak Balentić, J., Banožić, M., & Šubarić, D. (2017). Optimisation of extrusion variables for the production of corn snack products enriched with defatted hemp cake. *Czech Journal of Food Sciences*, *35*. <https://doi.org/10.17221/83/2017-CJFS>

- Kakar, A., Miano, T., Soomro, A. H., Yar, A., Memon, S., Khan, B., & Miano, F. (2022). OIL AND WATER ABSORPTION CAPACITY OF WHEAT, RICE AND GRAM FLOUR POWDERS. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES)*, 12, 585–594. <https://doi.org/10.31407/ijeec12.232>
- Karun, G., Sukumar, A., Govindarajan, N., & Preetha, R. (2022). Development of multigrain ready-to-eat extruded snack and process parameter optimization using response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*, 60. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05390-8>
- Khanal, S., Karimi, K., Majumdar, S., Kumar, V., Verma, R., Bhatia, S. K., Kuca, K., Esteban, J., & Kumar, D. (2023). Sustainable utilization and valorization of potato waste: State of the art, challenges, and perspectives. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04521-1>
- Kumar, R., Samsher, Singh, B. R., Chandra, S., Chauhan, N., & Verma, R. (2021). Physico-chemical and functional properties of different flours used for preparation of cookies. *Pharmaceutica Analytica Acta*.
- Kusumayanti, H., Handayani, N., & Santosa, H. (2015). Swelling Power and Water Solubility of Cassava and Sweet Potatoes Flour. *Procedia Environmental Sciences*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.025>
- Lal, M. K., Tiwari, R. K., Kumar, A., Kumar, R., Kumar, D., Jaiswal, A., Changan, S. S., Dutt, S., Popović-Djordjević, J., Singh, B., & Simal-Gandara, J. (2024). Methodological Breakdown of Potato Peel's Influence on Starch Digestibility, In Vitro Glycemic Response and Pasting Properties of Potato. *American Journal of Potato Research*, 101(1), 65–75. <https://doi.org/10.1007/s12230-024-09942-w>

- Lapčíková, B., Lapčík, L., Valenta, T., Majar, P., & Ondroušková, K. (2021). Effect of the rice flour particle size and variety type on water holding capacity and water diffusivity in aqueous dispersions. *LWT*, *142*, 111082.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111082>
- Leonard, W., Zhang, P., Ying, D., & Fang, Z. (2019). Application of extrusion technology in plant food processing byproducts: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *19*. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12514>
- Levaj, B., Pelaić, Z., Galić, K., Kurek, M., Ščetar, M., Poljak, M., Dite Hunjek, D., Pedisić, S., Balbino, S., Čošić, Z., Dujmić, F., & Repajić, M. (2023). Maintaining the Quality and Safety of Fresh-Cut Potatoes (*Solanum tuberosum*): Overview of Recent Findings and Approaches. *Agronomy*, *13*(8), Article 8.  
<https://doi.org/10.3390/agronomy13082002>
- Lumanlan, J., Fernando, W., & Jayasena, V. (2019). Mechanisms of oil uptake during deep frying and applications of predrying and hydrocolloids in reducing fat content of chips. *International Journal of Food Science & Technology*, *55*.  
<https://doi.org/10.1111/ijfs.14435>
- Miller, K., Reichert, C., Schmid, M., & Loeffler, M. (2022). Physical, Chemical and Biochemical Modification Approaches of Potato (Peel) Constituents for Bio-Based Food Packaging Concepts: A Review. *Foods*, *11*, 2927.  
<https://doi.org/10.3390/foods11182927>
- MINECO. (2015). *ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA CADENA Y DIAGNOSTICO DE LA CADENA DE VALOR DE PAPA*. Ministerio de Economía de Guatemala. <https://www.pronacom.org/wp-content/uploads/>

- Mitrus, M., Golian, M., Combrzyński, M., & Matysiak, A. (2018). Selected properties of the potato snacks expanded in the microwave radiation. *BIO Web of Conferences*, 10, 02021. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20181002021>
- Mohamed, I. (2023). *Interaction of starch with some food macromolecules during the extrusion process and its effect on modulating physicochemical and digestible properties. A review—ScienceDirect*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666893923000154>
- Mollinedo, P. (2019). *TUTOR: PhD. PATRICIA A. MOLLINEDO*.
- Mondelēz. (2023). *State of Snacking | Mondelēz International, Inc. State of Snacking Report 2023*. <https://www.mondelezinternational.com/stateofsnacking/>
- Nascimento, R. F. do, & Canteri, M. H. G. (2018). Effect of blanching on physicochemical characteristics of potato flour. *Horticultura Brasileira*, 36, 461–465.  
<https://doi.org/10.1590/S0102-053620180406>
- Nazir, A., Itrat, N., Ahmad, U., Yar, S., Kaneez, F., & Naeem, M. (2022). Development and sensory evaluation of potato (*Solanum tuberosum*) peel powder incorporated muffins for health. *Pure and Applied Biology*, 11(1).  
<https://doi.org/10.19045/bspab.2022.110014>
- ONU. (2024). *Objetivos de Desarrollo Sostenible | Naciones Unidas en Guatemala*. Acerca de nuestro trabajo para los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Guatemala.  
<https://guatemala.un.org/es/sdgs>
- Pardhi, S. D., Singh, B., Nayik, G. A., & Dar, B. N. (2019). Evaluation of functional properties of extruded snacks developed from brown rice grits by using response surface methodology. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(1), 7–16. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.11.006>

- Pineda, I. (2020). *Propiedades químicas, físicas y tecnofuncionales de la cáscara de papa (Solanum tuberosum) para uso como extensor en productos cárnicos frescos picados.*
- Pllana, M., Merovci, N., Jashari, M., Tmava, A., & Shaqiri, F. (2018). Potato Market and Consumption. *International Journal of Sustainable Economies Management*, 7, 19–29. <https://doi.org/10.4018/IJSEM.2018070102>
- Qiu, J., Khalloufi, S., Martynenko, A., Dalen, G., Schutyser, M., & Almeida-Rivera, C. (2015). Porosity, Bulk Density, and Volume Reduction During Drying: Review of Measurement Methods and Coefficient Determinations. *Drying Technology*, 33. <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1036289>
- Quelal, M., & Villacrés, E. (2023). Impact of extrusion on the physicochemical parameters of two varieties of corn (*Zea mays*). *AIMS Agriculture and Food*, 8, 873–888. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2023046>
- Rajković, M., Popović Minić, D., Milinčić, D., & Zdravković, M. (2020). Circular economy in food industry. *Zastita materijala*, 61, 229–250. <https://doi.org/10.5937/zasmat2003229R6>
- Ratnawati, L., Desnilasari, D., Surahman, D. N., & Kumalasari, R. (2019). Evaluation of Physicochemical, Functional and Pasting Properties of Soybean, Mung Bean and Red Kidney Bean Flour as Ingredient in Biscuit. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 251, 012026. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/251/1/012026>
- Rivera, N., Osman, C., & Narcy, P. (2018). *EFFECTO DEL ETILENO GENERADO POR FRUTOS CLIMATERICOS EN LA ESTIMULACION DE LA BROTACION DEL TUBERC.* <https://online.fliphtml5.com/riws/iaxm/#p=1>

- Rodríguez-Martínez, B., Gullón, B., & Yáñez, R. (2021). Identification and Recovery of Valuable Bioactive Compounds from Potato Peels: A Comprehensive Review. *Antioxidants*, *10*(10), 1630. <https://doi.org/10.3390/antiox10101630>
- Roy, P., Mohanty, A. K., Dick, P., & Misra, M. (2023). A Review on the Challenges and Choices for Food Waste Valorization: Environmental and Economic Impacts. *ACS Environmental Au*, *3*(2), 58–75. <https://doi.org/10.1021/acsenvironau.2c00050>
- Rymuza, K., Gugala, M., Zarzecka, K., Sikorska, A., Findura, P., Malaga-Toboła, U., Kapela, K., & Radzka, E. (2020). The Effect of Light Exposures on the Content of Harmful Substances in Edible Potato Tuber. *Agriculture*, *10*(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/agriculture10050139>
- Sahin, N., Bilgiçli, N., & Sayaslan, A. (2022). Enhancement of extruded corn snacks with substitution of wheat germ, invaluable milling by-product. *Journal of Food Processing & Preservation*, *46*(11), Article 11. <https://doi.org/10.1111/jfpp.17125>
- Sahu, C., Patel, S., & Tripathi, A. K. (2022). Effect of extrusion parameters on physical and functional quality of soy protein enriched maize based extruded snack. *Applied Food Research*, *2*(1), 100072. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100072>
- Sampaio, S. L., Petropoulos, S. A., Alexopoulos, A., Heleno, S. A., Santos-Buelga, C., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2020). Potato peels as sources of functional compounds for the food industry: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *103*, 118–129. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.015>
- Singha, P., Singh, S. K., Muthukumarappan, K., & Krishnan, P. (2018). Physicochemical and nutritional properties of extrudates from food grade distiller's dried grains, garbanzo flour, and corn grits. *Food Science & Nutrition*, *6*(7), 1914–1926. <https://doi.org/10.1002/fsn3.769>

- Statista. (2024a). *Snack Food—Guatemala | Statista Market Forecast*. Statista.  
<https://www.statista.com/outlook/cmo/food/confectionery-snacks/snack-food/guatemala>
- Statista. (2024b). *Topic: Global snack food market*. Statista.  
<https://www.statista.com/topics/7781/global-snack-food-market/>
- Syed, A., Naik, H. R., & Hussain, S. Z. (2019). Storage stability studies of corn based rice bran incorporated extruded snacks. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(2), 492–494.
- Téllez-Morales, J. A., Hernández-Santos, B., Juárez-Barrientos, J. M., Lerdo-Reyes, A. A., & Rodríguez-Miranda, J. (2022). The use of tubers in the development of extruded snacks: A review. *Journal of Food Processing & Preservation*, 46(7), Article 7.  
<https://doi.org/10.1111/jfpp.16693>
- Thakur, M., Rai, A. K., Mishra, B. B., & Singh, S. P. (2021). Novel insight into valorization of potato peel biomass into type III resistant starch and maltooligosaccharide molecules. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101827. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101827>
- Tong, C., Ma, Z., Chen, H., & Gao, H. (2023). Toward an understanding of potato starch structure, function, biosynthesis, and applications. *Food Frontiers*, 4(3), 980–1000.  
<https://doi.org/10.1002/fft2.223>
- UNICEF. (2021). “En Guatemala el 46,5% de los niños sufre desnutrición crónica”, María Claudia Santizo, *Oficial de Nutrición en UNICEF Guatemala | UNICEF*. SITUACIÓN DESNUTRICIÓN GUATEMALA. <https://www.unicef.es/noticia/en-guatemala-los-ninos-sufre-desnutricion-cronica-maria-claudia-santizo-oficial>

- United Nations. (2024). *Food Waste Index Report 2024. Think Eat Save: Tracking Progress to Halve Global Food Waste.*  
<https://wedocs.unep.org/xmlui/handle/20.500.11822/45230>
- Xiao, Q., Bai, X., & He, Y. (2020). Rapid Screen of the Color and Water Content of Fresh-Cut Potato Tuber Slices Using Hyperspectral Imaging Coupled with Multivariate Analysis. *Foods*, 9(1), 94. <https://doi.org/10.3390/foods9010094>
- Yang, J. H., Tran, T. T. T., & Le, V. V. M. (2020). Use of corn flour and polydextrose in fried extrudate making: Effects of polydextrose content in the blend and extrusion temperature on the product quality. *Journal of Food Process Engineering*, 43(8), e13438. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13438>
- Zhang, Y., Liao, J., & Qi, J. (2020). Functional and structural properties of dietary fiber from citrus peel affected by the alkali combined with high-speed homogenization treatment. *LWT*, 128, 109397. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109397>

## 11. Anexos

*Cuadro 16. Datos originales de la curva de secado de la cáscara de papa*

Tiempo (h)	Humedad (%)
0	91.7
1	95.6
2	88.5
3	76.3
4	82
5	65.4
6	54.6
7	46.5
8	31.8
9	29.2
10	26.3
11	22.7
12	23.2
13	17.2
14	15.4
15	9.1

*Cuadro 17. Datos originales de análisis de humedad de harina*

Muestra	Peso vaso de metal	Peso tapa de metal	Peso muestra	Peso muestra seca + vaso	Peso muestra seca	Humedad
Muestra 1	11.2711 g	4.3269 g	5.0004 g	15.7985 g	4.5274 g	9.46%
Muestra 2	11.6717 g	4.6214 g	5.0003 g	16.1991 g	4.5274 g	9.46%
Muestra 3	11.2233 g	4.3319 g	5.0002 g	15.7468 g	4.5235 g	9.53%

Fuente: propia.

*Cuadro 18. Datos originales de análisis de grasa de harina*

Muestra	Peso de vaso	Peso de muestra	Peso de vaso + grasa	Peso de grasa	Grasa
Muestra 1	71.9448 g	5.0001 g	71.9989 g	0.0541 g	1.08%
Muestra 2	74.0482 g	5.0027 g	74.1079 g	0.0597 g	1.19%
Muestra 3	75.4711 g	5.0025 g	75.6101 g	0.139 g	2.78%

Fuente: propia.

**Cuadro 19. Datos originales de análisis de proteína de harina**

Muestra	Peso de muestra	Vol HCl	Normalidad HCl	Factor de Proteína	Nitrógeno (%)	Proteína (%)
Muestra 1	0.2545 g	3.8 mL	0.10	6.25	2.09	13.07
Muestra 2	0.2559 g	3.7 mL	0.10	6.25	2.03	12.66
Muestra 3	0.2518 g	3.7 mL	0.10	6.25	2.06	12.86

Fuente: propia.

**Cuadro 20. Datos originales de análisis de cenizas**

Muestra	Peso de muestra	Peso crisol	Peso crisol + cenizas	Peso cenizas	Cenizas
Muestra 1	1.5016 g	25.6894 g	25.7265 g	0.0371 g	2.47%
Muestra 2	1.5007 g	21.1634 g	21.2011 g	0.0377 g	2.51%
Muestra 3	1.501 g	22.3145 g	22.3526 g	0.0381 g	2.54%

Fuente: propia.

**Cuadro 21. Datos originales de análisis de capacidad antioxidante de harina**

Muestra	Peso de muestra	Vol metanol	Volumen de extracto	Vol de sln DPPH	Absorbancia de muestra	Capacidad Antioxidante
Muestra 1	2 g	20 mL	1 mL	1.9 mL	0.144	94.7%
Muestra 2	2 g	20 mL	1 mL	1.9 mL	0.160	94.1%
Muestra 3	2 g	20 mL	1 mL	1.9 mL	0.134	95.1%

Fuente: propia.

**Cuadro 22. Datos originales de proteína para análisis de fibra de harina**

Muestra	Peso de muestra	Vol HCl	Normalidad HCl	Factor de Proteína	Nitrógeno (%)	Proteína (%)	Proteína (g)
Muestra 1	0.25 g	6 mL	0.10	6.25	3.36	20.99	0.053 g
Muestra 2	0.251 g	6 mL	0.10	6.25	3.35	20.97	0.053 g
Blanco 1	0.251 g	1.7 mL	0.10	6.25	0.95	5.93	0.0149 g
Blanco 2	0.249 g	1.3 mL	0.10	6.25	0.73	4.58	0.0114 g

Fuente: propia.

**Cuadro 23. Datos originales de cenizas para análisis de fibra de harina**

Muestra	Peso de muestra	Peso crisol	Peso crisol + cenizas	Peso cenizas	Cenizas
Muestra 1	0.7000 g	22.8247 g	22.9773 g	0.1526 g	21.80%
Muestra 2	0.7008 g	20.9744 g	21.1662 g	0.1918 g	27.37%
Blanco 1	0.5007 g	20.9837 g	21.4532 g	0.4695 g	93.77%

Fuente: propia.

**Cuadro 24. Datos originales de residuos para análisis de fibra**

Muestra	Peso de muestra	Peso de crisol	Peso de celite	Peso de crisol + muestra + celite	Peso de residuo
Muestra 1	1.0003 g	29.6989 g	0.5002 g	30.6444 g	0.4453 g
Muestra 2	1.0005 g	29.5050 g	0.5004 g	30.4615 g	0.4561 g
Muestra 3	1.0004 g	29.7194 g	0.5004 g	30.6691 g	0.4493 g
Muestra 4	1.0005 g	30.1957 g	0.5001 g	31.1531 g	0.4573 g
Muestra 5	1.0006 g	30.1627 g	0.5002 g	31.1059 g	0.4430 g
Blanco 1	0.0000 g	42.8461 g	0.5002 g	43.3792 g	0.0329 g
Blanco 2	0.0000 g	36.7444 g	0.5008 g	37.2886 g	0.0434 g

Fuente: propia.

**Cuadro 25. Datos originales para el cálculo de contenido de fibra**

Muestra	Peso de muestra	Peso de residuo	Peso de Proteína	Peso de Cenizas	Fibra
Muestra 1	1.667 g	0.950 g	0.053 g	0.153 g	44.7%
Muestra 2	1.667 g	0.951 g	0.053 g	0.192 g	42.4%

Fuente: propia.

**Cuadro 26. Datos originales de análisis de almidón**

Muestra	Peso de muestra	Vol de bisulfito	Peso harina húmeda	Peso harina seca	Peso muestra húmeda	Peso de almidón	Almidón
Muestra 1	10.0022 g	200 mL	32.3100 g	8.4962 g	1.2515 g	0.1072 g	1.1%
Muestra 2	10.0025 g	200 mL	32.2424 g	8.3790 g	1.2177 g	0.0734 g	0.7%

Fuente: propia.

**Cuadro 27. Imágenes de análisis proximal de la harina**

<b>Análisis de humedad</b>
----------------------------



**Análisis de grasa**



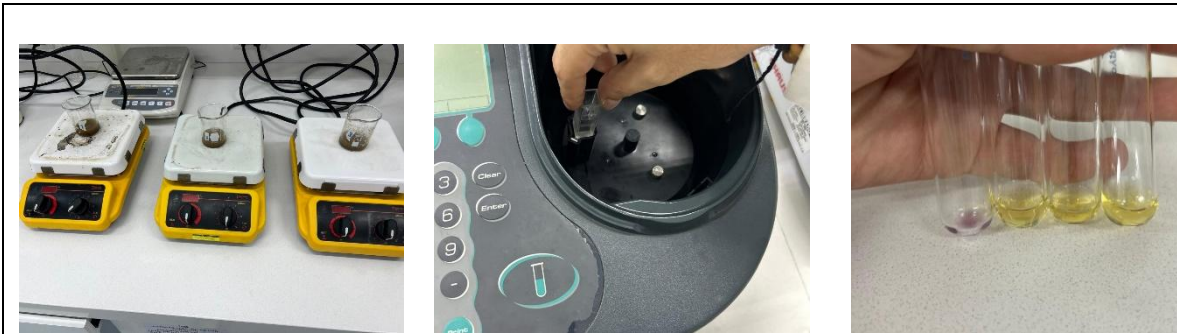
**Análisis de proteína**



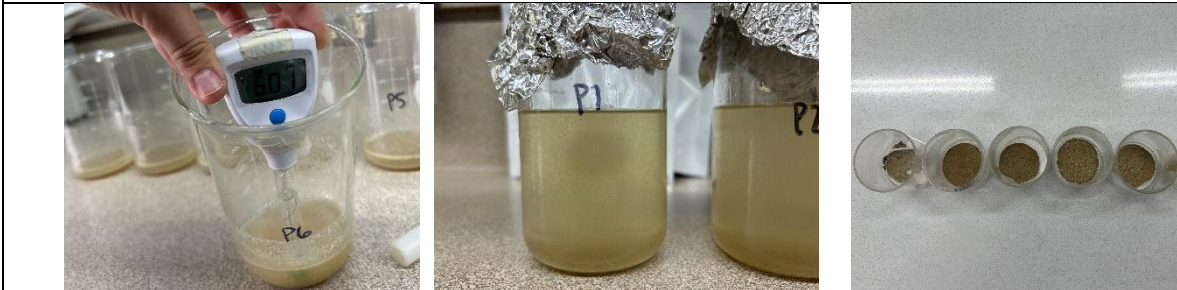
**Análisis de cenizas**



**Análisis de capacidad antioxidante**



**Análisis de fibra**



**Análisis de almidón**



Fuente: propia.

**Cuadro 28. Datos originales de colorimetría de harina**

Muestra	Peso	L*	a*	b*
Muestra 1	30.00 g	52.16	5.78	19.36
Muestra 2	30.00 g	52.40	5.72	19.44
Muestra 3	30.00 g	52.10	5.75	19.42

Fuente: propia.

**Cuadro 29. Datos originales de actividad de agua de harina**

Muestra	Peso	AW	Temperatura
Muestra 1	2.00 g	0.60	23.70 °C
Muestra 2	2.00 g	0.61	23.70 °C
Muestra 3	2.00 g	0.61	23.70 °C

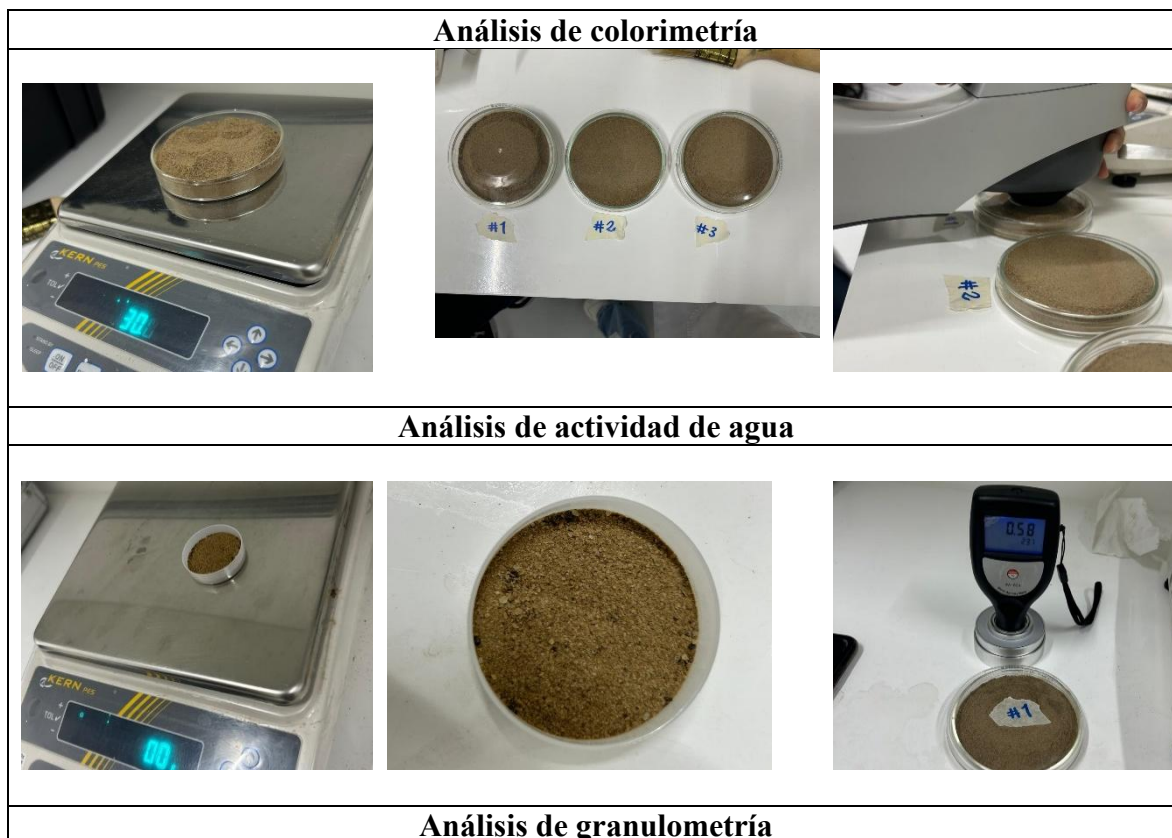
Fuente: propia.

**Cuadro 30. Datos originales de granulometría de harina**

Tamiz ASTM	Peso inicial del tamiz	Peso tamiz con muestra	Peso de muestra retenida	Peso que pasa	Porcentaje que pasa
25	89.82 g	90.46 g	0.63 g	9.34 g	93.6%
40	83.99 g	86.76 g	2.77 g	6.56 g	65.8%
60	80.22 g	83.25 g	3.03 g	3.54 g	35.5%
80	81.16 g	82.48 g	1.32 g	2.22 g	22.2%
100	80.19 g	80.63 g	0.44 g	1.78 g	17.8%
Base	100.99 g	102.76 g	1.78 g		
		<b>TOTAL</b>	9.97		

Fuente: propia.

**Cuadro 31. Imágenes de análisis físicos de harina**





Fuente: propia.

**Cuadro 32. Datos originales de absorción de agua de harina**

Muestra	Peso muestra	Peso vasito	Peso precipitado	WHC
Muestra 1	0.25 g	11.58 g	2.16 g	7.64
Muestra 2	0.25 g	11.45 g	2.68 g	9.72
Muestra 3	0.25 g	11.52 g	2.82 g	10.28

Fuente: propia.

**Cuadro 33. Datos originales de absorción de aceite de harina**

Muestra	Peso muestra	Peso vaso	Peso de precipitado	OHC
Muestra 1	0.25 g	11.47 g	1.09 g	3.37
Muestra 2	0.25 g	11.35 g	1.23 g	3.90
Muestra 3	0.25 g	11.46 g	1.16 g	3.63

Fuente: propia.

**Cuadro 34. Datos originales de densidad de bulto de harina**

Muestra	Peso muestra	Vol muestra	Densidad
Muestra 1	5.0006 g	12.00 mL	0.4167 g/mL
Muestra 2	5.0015 g	12.00 mL	0.4168 g/mL
Muestra 3	5.0001 g	12.00 mL	0.4167 g/mL

Fuente: propia.

**Cuadro 35. Datos originales de capacidad de hinchamiento de harina**

Muestra	Peso muestra	Peso sobrenadante	Peso vaso + precipitado	Peso vaso	Peso de gel/precipitado	Capacidad de Hinchamiento
Muestra 1	0.2000 g	7.9201 g	13.9017 g	11.4009 g	2.5008 g	12.5040
Muestra 2	0.2000 g	8.27 g	13.7541 g	11.4140 g	2.3401 g	11.7005
Muestra 3	0.2000 g	7.74 g	14.3285 g	11.3701 g	2.9584 g	14.7920

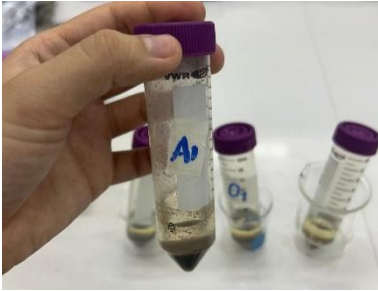

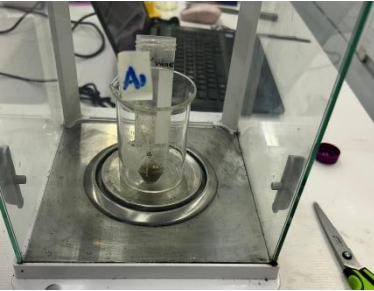
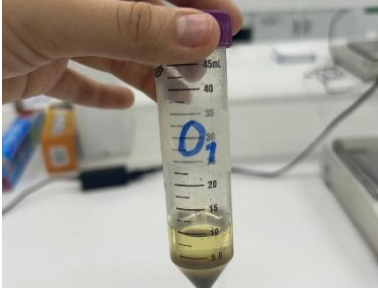



Fuente: propia.

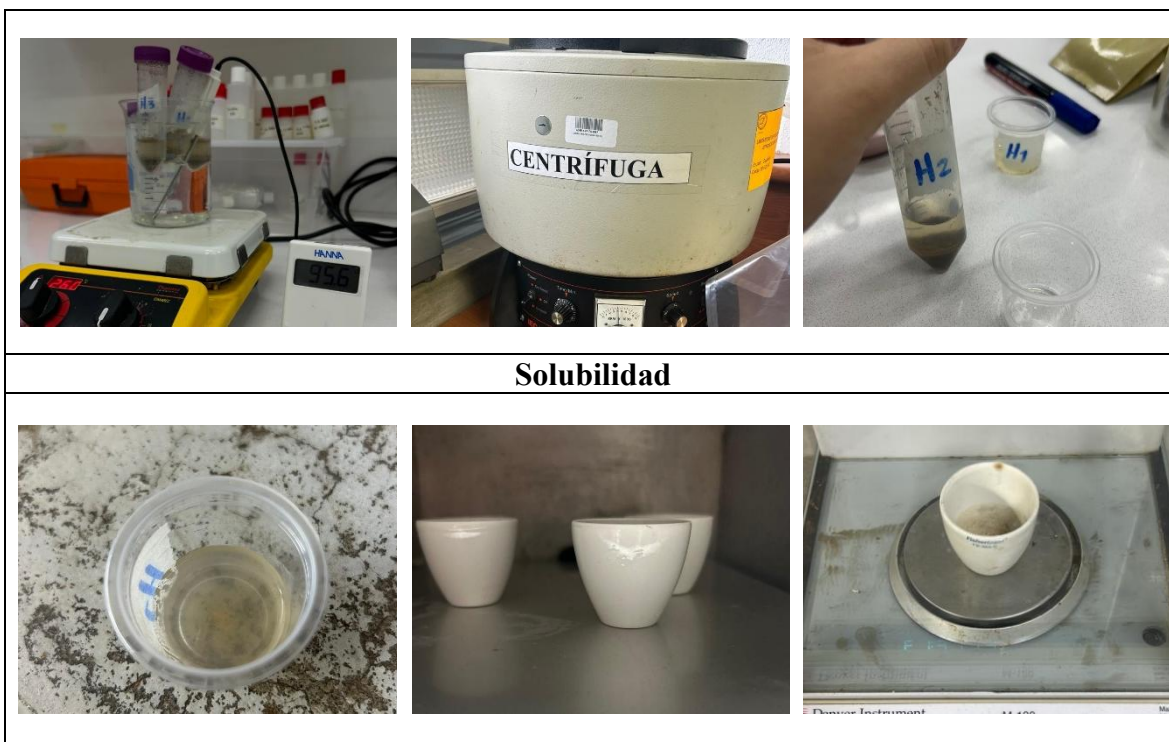
**Cuadro 36. Datos originales de prueba de solubilidad de harina**

Muestra	Peso muestra de harina	Peso sobrenadante húmedo	Peso sobrenadante seco	Solubilidad
Muestra 1	0.2000 g	7.6558 g	0.0312 g	15.60%
Muestra 2	0.2000 g	8.0390 g	0.0363 g	18.15%
Muestra 3	0.2000 g	7.5642 g	0.0301 g	15.05%

Fuente: propia.

**Cuadro 37. Imágenes de análisis tecnológicos de harina**

Absorción de agua		
		
Absorción de aceite		
		
Densidad de bulto		
		
Capacidad de hinchamiento		



### Solubilidad

Fuente: propia.

**Cuadro 38. Formulaciones de snack elaboradas**

Ingrediente	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9
Harina de cáscara de papa	0.0%	20.0%	30.0%	40.0%	45.0%	50.0%	60.0%	80.0%	100.0%
Sémola de maíz	100.0%	80.0%	70.0%	60.0%	55.0%	50.0%	40.0%	20.0%	0.0%
<b>TOTAL</b>	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Fuente: propia.

**Cuadro 39. Pruebas de condiciones de elaboración de snack**

Prueba	Remojo	Horneo	Fritura	Spray
1	-	200 - 250°F 15 min	355 - 375°F 1 segundo	-
2	-	250 - 300°F 15 min	355 - 375°F 1 segundo	-
3	Slurry 2:1 aceite - condimento	250 - 300°F 15 min	-	-
4	-	250 - 300°F 15 min	-	Slurry 2:1 aceite - condimento

Fuente: propia.

**Figura 11. Partes del extrusor utilizado**



Fuente: propia.

**Cuadro 40. Hoja maestra de panel sensorial**

	Muestra	% Cáscara	Código
	A	20%	473
	B	30%	644
	C	40%	285
Panelista	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
1	473	285	644
2	285	473	644
3	285	644	473
4	473	644	285
5	644	285	473
6	644	473	285
7	473	285	644
8	285	473	644
9	473	285	644
10	285	473	644
11	285	644	473
12	473	644	285
13	644	285	473
14	644	473	285
15	473	285	644
16	285	473	644
17	473	285	644
18	285	473	644
19	285	644	473
20	473	644	285

<b>Panelista</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>
21	644	285	473
22	644	473	285
23	473	285	644
24	285	473	644
25	473	285	644
26	285	473	644
27	285	644	473
28	473	644	285
29	644	285	473
30	644	473	285
31	473	285	644
32	285	473	644
33	473	285	644
34	285	473	644
35	285	644	473
36	473	644	285
37	644	285	473
38	644	473	285
39	473	285	644
40	285	473	644
41	473	285	644
42	285	473	644
43	285	644	473
44	473	644	285
45	644	285	473
46	644	473	285
47	473	285	644
48	285	473	644
49	473	285	644
50	285	473	644
51	285	644	473
52	473	644	285
53	644	285	473
54	644	473	285
55	473	285	644
56	285	473	644
57	473	285	644
58	285	473	644
59	285	644	473

Panelista	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
60	473	644	285
61	644	285	473
62	644	473	285
63	473	285	644
64	285	473	644
65	473	285	644
66	285	473	644
67	285	644	473
68	473	644	285
69	644	285	473
70	644	473	285
71	473	285	644
72	285	473	644

Fuente: propia.

**Figura 12. Boleta en Google Forms para panel sensorial**

**Consentimiento Informado** ✕ ⋮

El propósito de este estudio es evaluar sensorialmente un snack extruido elaborado a base de papa. Esta evaluación forma parte de mi tesis para obtener el título de Ingeniera en Ciencias de los Alimentos en la Universidad del Valle de Guatemala.

La información proporcionada será utilizada exclusivamente con fines académicos y se tratará de manera confidencial. Es importante que los participantes no sean alérgicos a la papa ni al trigo, ya que estos son los ingredientes principales del producto evaluado.

Su participación en este estudio es voluntaria. Puede decidir no participar o retirarse en cualquier momento sin ninguna repercusión.

¿Desea participar en este estudio? \*

Sí, acepto participar en el estudio

No acepto participar en el estudio

Panelista



Descripción (opcional)

Ingrese el código de panelista que se le brindó \*

Texto de respuesta corta

Selección de muestra



Descripción (opcional)

Seleccione la primera muestra que observa de izquierda a derecha: \*

473

644

285

¿Qué tanto te gusta la muestra 473, en general? \*

Me disgusta muchísimo	Me disgusta mucho	Me disgusta bastante	Me disgusta ligeramente	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta ligeramente	Me gusta bastante	Me gusta mucho	Me gusta muchísimo
1	2	3	4	5	6	7	8	9

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Me disgusta muchísimo          Me gusta muchísimo

¿Qué tanto te gusta el color de la muestra 473? \*

Me disgusta muchísimo	Me disgusta mucho	Me disgusta bastante	Me disgusta ligeramente	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta ligeramente	Me gusta bastante	Me gusta mucho	Me gusta muchísimo
1	2	3	4	5	6	7	8	9

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Me disgusta muchísimo          Me gusta muchísimo

¿Qué tanto te gusta el aroma de la muestra 473? \*

Me disgusta muchísimo	Me disgusta mucho	Me disgusta bastante	Me disgusta ligeramente	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta ligeramente	Me gusta bastante	Me gusta mucho	Me gusta muchísimo
1	2	3	4	5	6	7	8	9

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Me disgusta muchísimo          Me gusta muchísimo

¿Qué tanto te gusta el sabor de la muestra 473? \*

Me disgusta muchísimo	Me disgusta mucho	Me disgusta bastante	Me disgusta ligeramente	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta ligeramente	Me gusta bastante	Me gusta mucho	Me gusta muchísimo
1	2	3	4	5	6	7	8	9

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Me disgusta muchísimo          Me gusta muchísimo

¿Qué tanto te gusta la textura de la muestra 473? \*

Me disgusta muchísimo	Me disgusta mucho	Me disgusta bastante	Me disgusta ligeramente	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta ligeramente	Me gusta bastante	Me gusta mucho	Me gusta muchísimo
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="6"/>	<input type="text" value="7"/>	<input type="text" value="8"/>	<input type="text" value="9"/>

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Me disgusta muchísimo          Me gusta muchísimo

¿Qué tanto te gusta el nivel de "inflado" de la muestra 473? \*

Me disgusta muchísimo	Me disgusta mucho	Me disgusta bastante	Me disgusta ligeramente	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta ligeramente	Me gusta bastante	Me gusta mucho	Me gusta muchísimo
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="6"/>	<input type="text" value="7"/>	<input type="text" value="8"/>	<input type="text" value="9"/>

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Me disgusta muchísimo          Me gusta muchísimo

Preferencia



Descripción (opcional)

¿Cuál de las tres muestras te gustó más, en general? \*

- 473
- 644
- 285

\*Se utilizó las mismas preguntas de aceptabilidad para las tres muestras.

Fuente: Propia.

**Figura 13. Código de R para análisis de varianza de panel sensorial**

```
1 #ACEPTACIÓN
2 Aceptación = aov(Aceptación ~ Muestra , data = Snack)
3 summary(Aceptación)
4
5 #COLOR
6 Color = aov(Color ~ Muestra , data = Snack)
7 summary(Color)
8
9 #AROMA
10 Aroma = aov(Aroma ~ Muestra , data = Snack)
11 summary(Aroma)
12
13
14 #SABOR
15 Sabor = aov(Sabor ~ Muestra , data = Snack)
16 summary(Sabor)
17
18 #TEXTURA
19 Textura = aov(Textura ~ Muestra , data = Snack)
20 summary(Textura)
21
22 #EXPANSIÓN
23 Expansión = aov(Expansión ~ Muestra , data = Snack)
24 summary(Expansión)
```

Fuente: propia.

**Figura 14. Resultados de código de R para análisis de varianza de panel sensorial**

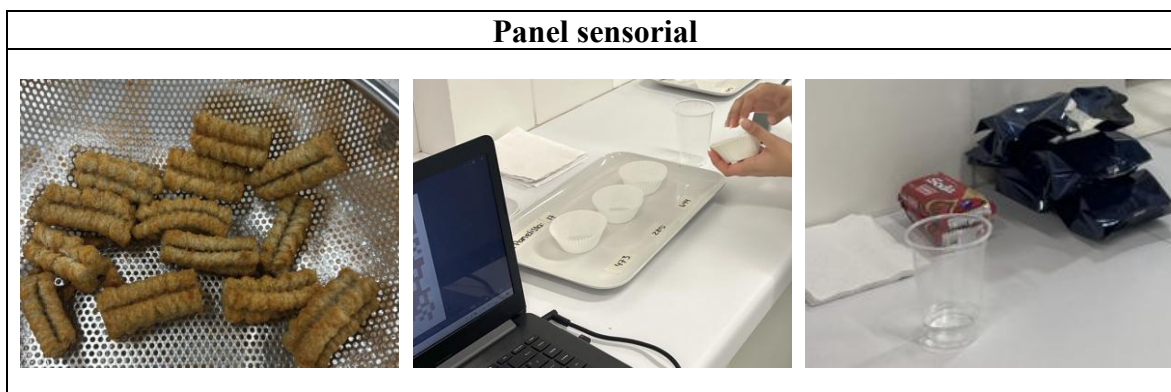
```

> Aceptación = aov(Aceptación ~ Muestra , data = Snack)
> summary(Aceptación)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Muestra  1    7.8   7.809   2.685  0.103
Residuals 214  622.3   2.908
>
> #COLOR
> Color = aov(Color ~ Muestra , data = Snack)
> summary(Color)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Muestra  1    20.3  20.274   4.691 0.0314 *
Residuals 214  924.8   4.322
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
>
> #AROMA
> Aroma = aov(Aroma ~ Muestra , data = Snack)
> summary(Aroma)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Muestra  1    0.7   0.6628   0.228  0.634
Residuals 214  622.2   2.9073
>
>
> #SABOR
> Sabor = aov(Sabor ~ Muestra , data = Snack)
> summary(Sabor)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Muestra  1    21.2  21.192   5.971 0.0154 *
Residuals 214  759.6   3.549
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
>
> #TEXTURA
> Textura = aov(Textura ~ Muestra , data = Snack)
> summary(Textura)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Muestra  1    30.0  30.044   9.179 0.00275 **
Residuals 214  700.5   3.273
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
>
> #EXPANSIÓN
> Expansión = aov(Expansión ~ Muestra , data = Snack)
> summary(Expansión)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Muestra  1    13.6  13.621   4.817 0.0293 *
Residuals 214  605.2   2.828

```

Fuente: propia.

**Cuadro 41. Imágenes de panel sensorial**



**Cuadro 42. Datos originales de análisis de humedad de snack**

Muestra	Peso crisol	Peso tapa de crisol	Peso muestra	Peso muestra seca + crisol + tapa	Peso muestra seca	Humedad
Muestra 1	11.6348 g	4.7889 g	5.0089 g	21.3977 g	4.974 g	0.70%
Muestra 2	12.0778 g	4.5233 g	5.0012 g	21.5634 g	4.9623 g	0.78%
Muestra 3	12.347 g	4.5272 g	5.0017 g	21.8301 g	4.9559 g	0.92%

Fuente: propia.

**Cuadro 43. Datos originales de análisis de grasa de snack**

Muestra	Peso de vaso	Peso de muestra	Peso de vaso + grasa	Peso de grasa	Grasa
Muestra 1	76.9736 g	6.0024 g	80.1734 g	3.1998 g	53.31%
Muestra 2	73.5892 g	6.0015 g	76.9064 g	3.3172 g	55.27%
Muestra 3	75.1265 g	6.0061 g	78.4290 g	3.3025 g	54.99%

Fuente: propia.

**Cuadro 44. Datos originales de análisis de proteína de snack**

Muestra	Peso de muestra	Vol HCl	Normalidad HCl	Factor de Proteína	Nitrógeno (%)	Proteína (%)
Muestra 1	0.2508 g	1.2 mL	0.10	6.25	0.67	4.19
Muestra 2	0.2501 g	1.15 mL	0.10	6.25	0.64	4.03
Muestra 3	0.2504 g	1.15 mL	0.10	6.25	0.64	4.02

Fuente: propia.

**Cuadro 45. Datos originales de análisis de ceniza de snack**

Muestra	Peso de muestra	Peso crisol	Peso crisol + cenizas	Peso cenizas	Cenizas
Muestra 1	1.5022 g	16.8602 g	16.8675 g	0.0073 g	0.49%
Muestra 2	1.5022 g	30.4295 g	30.4369 g	0.0074 g	0.49%
Muestra 3	1.5036 g	22.0421 g	22.0486 g	0.0065 g	0.43%

Fuente: propia.

**Cuadro 46. Datos originales de análisis de capacidad antioxidante de snack**

Muestra	Peso de muestra	Vol metanol	Volumen de extracto	Vol de sln DPPH	Absorbancia de muestra	Capacidad Antioxidante
Muestra 1	2.03 g	20 mL	1 mL	1.9 mL	1.332	41.0%
Muestra 2	2.03 g	20 mL	1 mL	1.9 mL	1.708	24.3%
Muestra 3	2.03 g	20 mL	1 mL	1.9 mL	1.318	41.6%

Fuente: propia.

**Cuadro 47. Datos originales de proteína para análisis de fibra de snack**

Muestra	Peso de muestra	Vol HCl	Normalidad HCl	Factor de Proteína	Nitrógeno (%)	Proteína (%)	Proteína (g)
Muestra 1	0.2507 g	5.1 mL	0.10	6.25	2.85	17.81	0.045 g
Muestra 2	0.2510 g	6.0 mL	0.10	6.25	3.35	20.93	0.053 g
Blanco 1	0.2509 g	1.7 mL	0.10	6.25	0.95	5.93	0.0149 g
Blanco 2	0.285 g	1.3 mL	0.10	6.25	0.73	4.58	0.0114 g

Fuente: propia.

**Cuadro 48. Datos originales de cenizas para análisis de fibra de snack**

Muestra	Peso de muestra	Peso crisol	Peso crisol + cenizas	Peso cenizas	Cenizas
Muestra 1	0.2022 g	16.8596 g	16.9134 g	0.0538 g	26.61%
Muestra 2	0.2549 g	30.4299 g	30.5128 g	0.0829 g	32.52%
Blanco 1	0.5007 g	20.9837 g	21.4532 g	0.4695 g	93.77%

Fuente: propia.

**Cuadro 49. Datos originales de residuos para análisis de snack**

Muestra	Peso de muestra	Peso de crisol	Peso de celite	Peso de crisol + muestra + celite	Peso de residuo
Muestra 1	1.0008 g	36.7423 g	0.5020 g	37.3728 g	0.1285 g
Muestra 2	1.0012 g	34.7681 g	0.5025 g	35.3956 g	0.1250 g
Muestra 3	1.0008 g	36.0482 g	0.5018 g	36.6800 g	0.1300 g
Muestra 4	1.0013 g	35.3015 g	0.5027 g	35.9330 g	0.1288 g
Muestra 5	1.0015 g	34.7005 g	0.5012 g	35.3310 g	0.1293 g
Muestra 6	1.0015 g	29.2987 g	0.5018 g	29.9253 g	0.1248 g
Blanco 1	0.0000 g	42.8461 g	0.5002 g	43.3792 g	0.0329 g
Blanco 2	0.0000 g	36.7444 g	0.5008 g	37.2886 g	0.0434 g

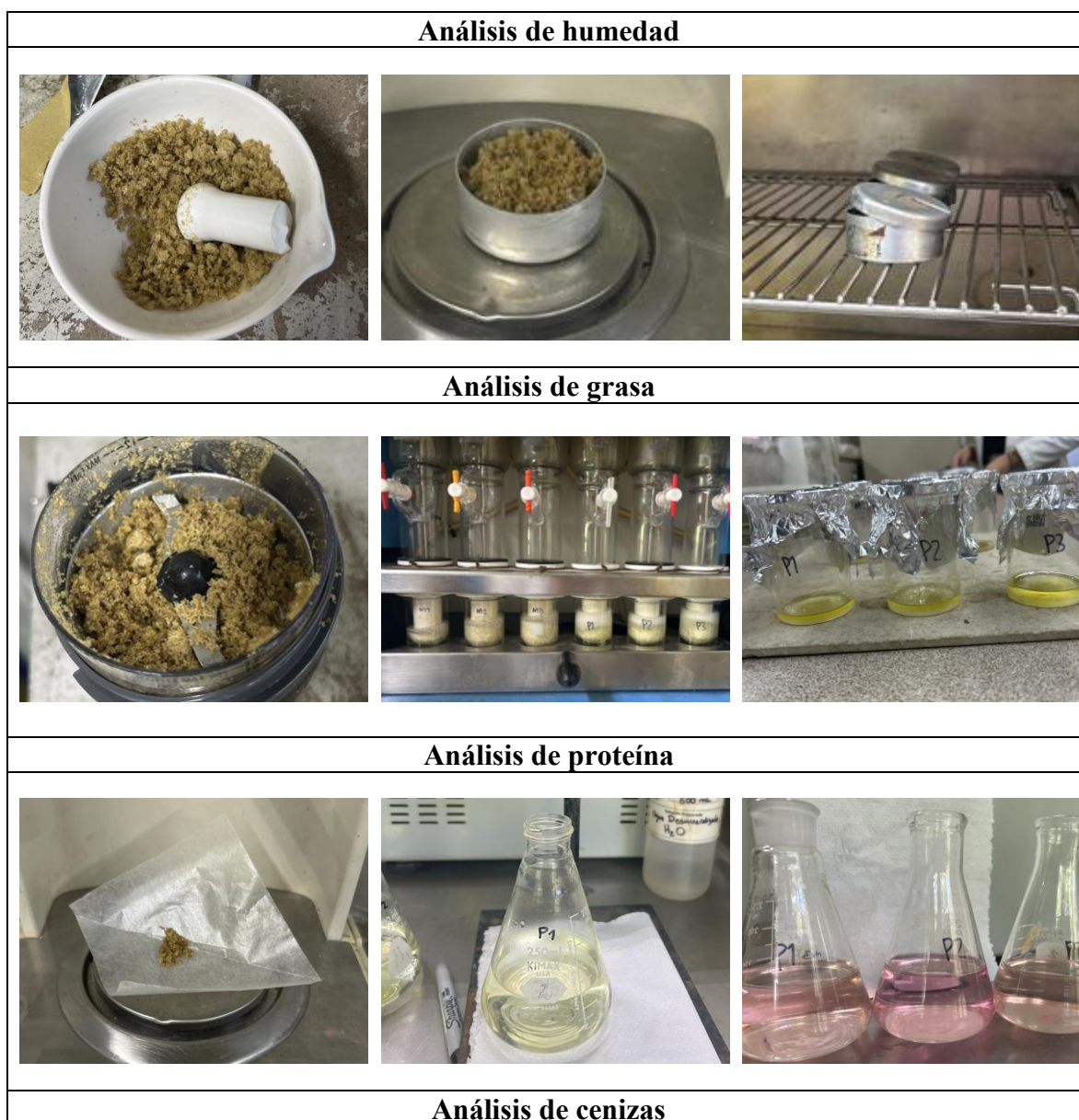
Fuente: propia.

**Cuadro 50. Datos originales para el cálculo de contenido de fibra de snack**

Muestra	Peso de muestra	Peso de residuo	Peso de Proteína	Peso de Cenizas	Fibra
Muestra 1	3.004 g	0.453 g	0.045 g	0.054 g	11.8%
Muestra 2	3.004 g	0.506 g	0.053 g	0.083 g	12.3%

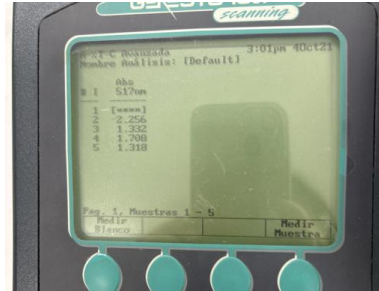
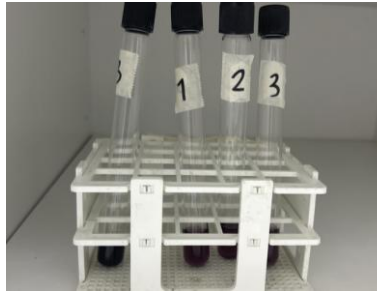
Fuente: propia.

**Cuadro 51. Imágenes de análisis proximal de snack**

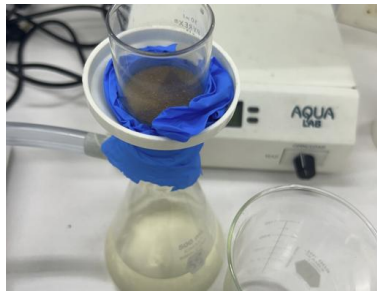
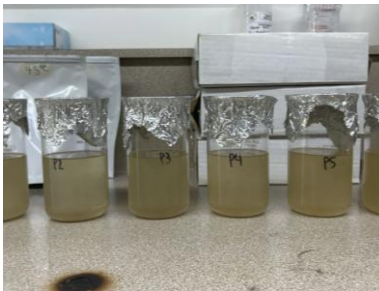




### Análisis de capacidad antioxidante



### Análisis de fibra



Fuente: propia.

*Cuadro 52. Datos originales de dimensiones de snack*

Muestra	Largo	Ancho	Profundidad
Muestra 1	4.35 cm	1.80 cm	1.70 cm
Muestra 2	4.10 cm	1.45 cm	1.40 cm
Muestra 3	4.10 cm	2.00 cm	1.80 cm
Muestra 4	4.80 cm	1.80 cm	1.80 cm

Fuente: propia.

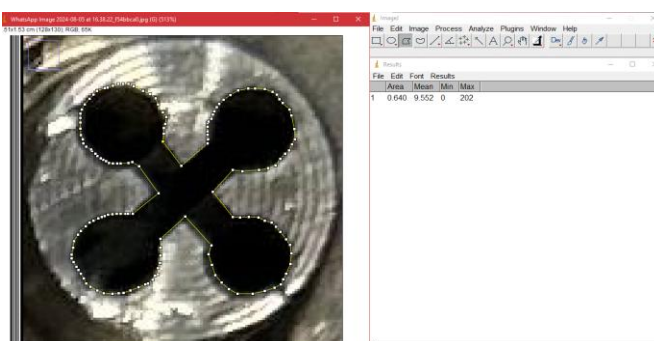
*Cuadro 53. Datos originales de expansión de snack*

Muestra	Área de boquilla	Área de snack	Tasa de expansión
Muestra 1	0.640 cm <sup>2</sup>	3.307 cm <sup>2</sup>	5.17

Muestra	Área de boquilla	Área de snack	Tasa de expansión
Muestra 2	0.640 cm <sup>2</sup>	3.617 cm <sup>2</sup>	5.65
Muestra 3	0.640 cm <sup>2</sup>	2.541 cm <sup>2</sup>	3.97
Muestra 4	0.640 cm <sup>2</sup>	3.461 cm <sup>2</sup>	5.41

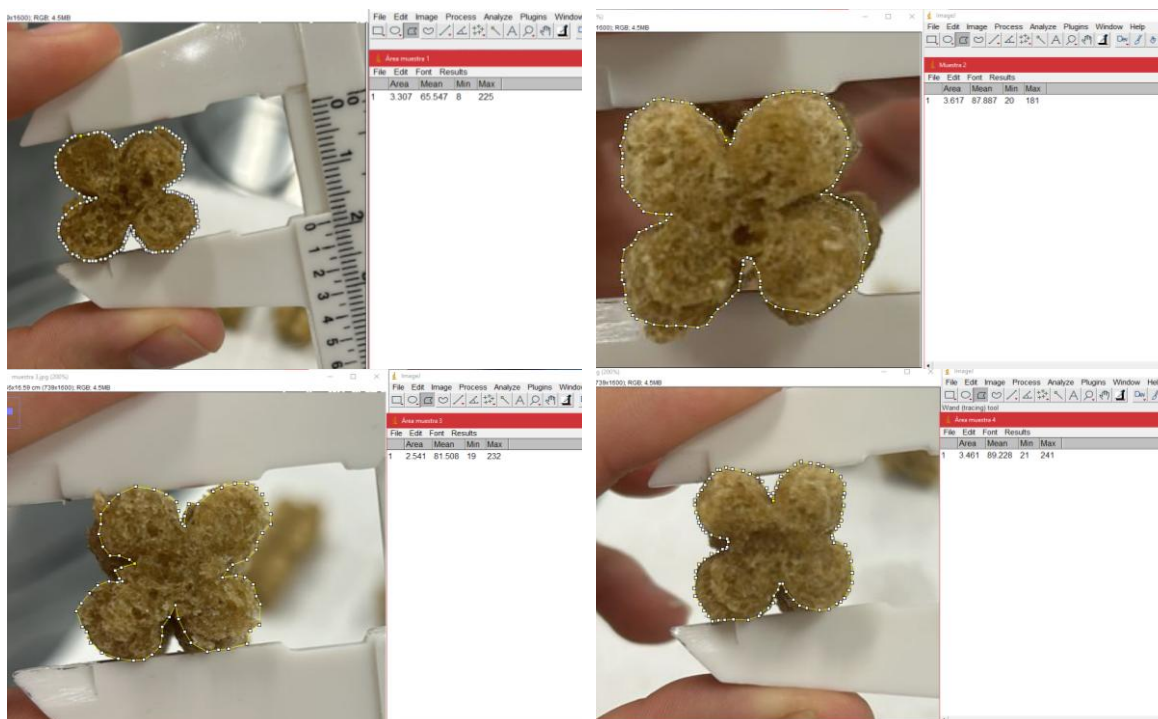
Fuente: propia.

**Figura 15. Medición de área de boquilla con Software ImageJ**



Fuente: propia.

**Figura 16. Medición de área transversal de snack en cuatuplicado con Software ImageJ**



Fuente: propia.

**Cuadro 54. Datos originales de densidad de bulto de snack**

Muestra	Masa	Volumen desplazado	Densidad
Muestra 1	0.73 g	4.00 mL	0.183 g/ml
Muestra 2	0.76 g	6.00 mL	0.127 g/ml
Muestra 3	0.68 g	5.00 mL	0.136 g/ml

Fuente: propia.

**Cuadro 55. Datos originales de densidad aparente de snack**

Muestra	Peso de snack	Peso de snack que pasó mesh	Volumen de snack triturado	Densidad aparente
Muestra 1	0.77 g	0.46 g	2.00 mL	0.230 g/mL
Muestra 2	0.88 g	0.43 g	1.90 mL	0.226 g/mL
Muestra 3	0.62 g	0.19 g	0.95 mL	0.200 g/mL

Fuente: propia.

**Cuadro 56. Datos originales de porosidad de snack**

Muestra	Densidad de bulto	Densidad aparente	Porosidad
Muestra 1	0.18 g/mL	0.23 g/mL	21%
Muestra 2	0.13 g/mL	0.23 g/mL	44%
Muestra 3	0.14 g/mL	0.20 g/mL	32%

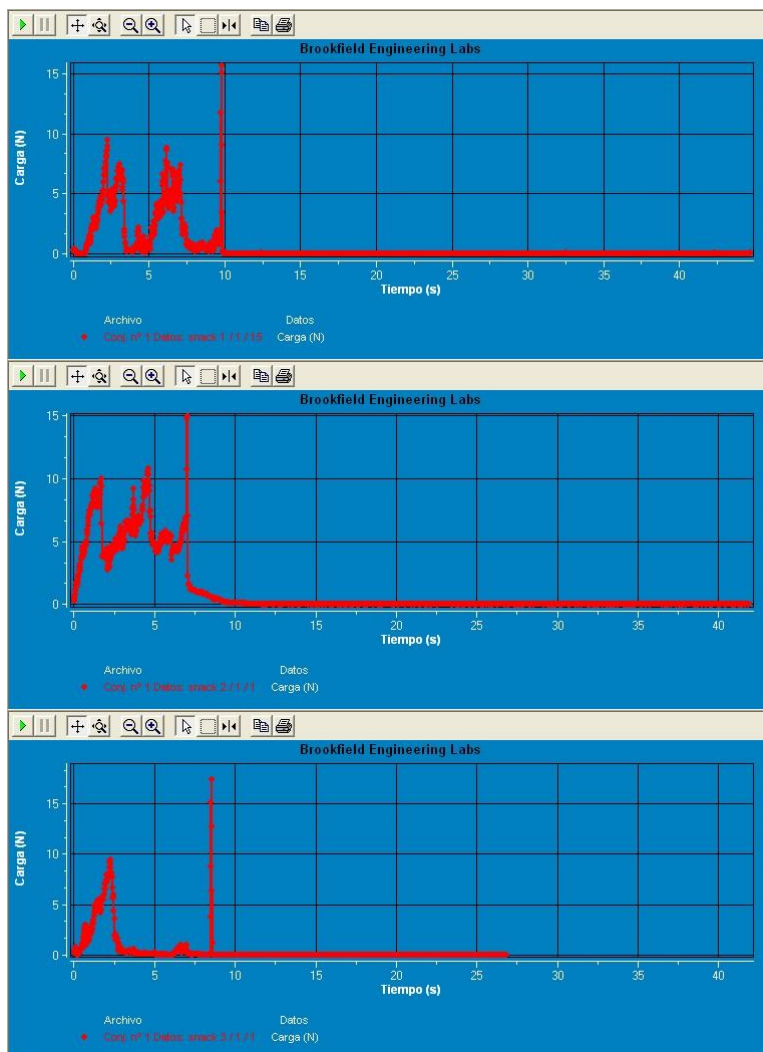
Fuente: propia.

**Cuadro 57. Datos originales de dureza de snack**

Muestra	Dureza (N)
Muestra 1	15.69 N
Muestra 2	14.96 N
Muestra 3	17.42 N

Fuente: propia.

**Figura 17. Gráficas de fuerza de texturómetro**



Fuente: propia.

**Cuadro 58. Datos originales de colorimetría de snack**

Muestra	Peso	L*	a*	b*
Muestra 1	0.92 g	43.15	7.77	24.56
Muestra 2	1.00 g	43.38	7.45	24.02
Muestra 3	1.00 g	41.89	7.60	24.05





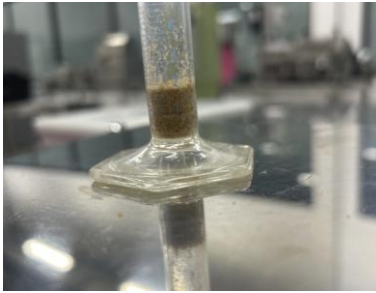
Fuente: propia.

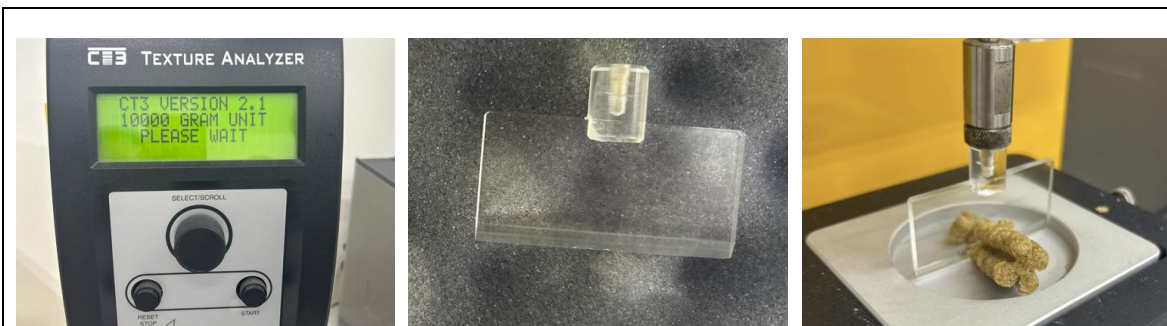
**Cuadro 59. Datos originales de actividad de agua de snack**

Muestra	Peso	AW	Temperatura
Muestra 1	1.23 g	0.58	26.40 °C
Muestra 2	1.22 g	0.51	24.00 °C
Muestra 3	1.19 g	0.55	25.40 °C

Fuente: propia.

**Cuadro 60. Pruebas físicas de snack**

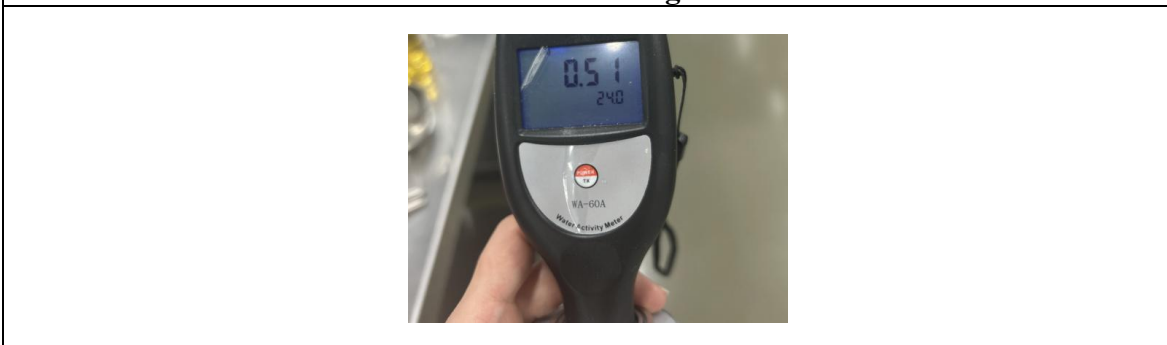
<b>Dimensiones</b>		
		
<b>Densidad de bulto</b>		
		
<b>Densidad aparente</b>		
		
<b>Dureza</b>		



### Colorimetría



### Actividad de agua



Fuente: propia.

**Cuadro 61. Datos originales de absorción de agua de formulación en polvo de snack**

Muestra	Peso muestra	Peso vasito	Peso precipitado	WHC
Muestra 1	0.25 g	11.45 g	1.76 g	6.04
Muestra 2	0.25 g	11.42 g	1.57 g	5.28
Muestra 3	0.25 g	11.43 g	1.78 g	6.12

Fuente: propia.

**Cuadro 62. Datos originales de absorción de aceite de formulación en polvo de snack**

Muestra	Peso muestra	Peso vaso	Peso de precipitado	OHC
Muestra 1	0.25 g	11.54 g	0.97 g	2.88
Muestra 2	0.25 g	11.43 g	1.16 g	3.64
Muestra 3	0.25 g	11.65 g	1.22 g	3.88

Fuente: propia.

**Cuadro 63. Datos originales de densidad de bulto de formulación en polvo de snack**

Muestra	Peso muestra	Vol muestra	Densidad
Muestra 1	5.0200 g	8.50 mL	0.5906 g/mL
Muestra	Peso muestra	Vol muestra	Densidad
Muestra 2	5.0700 g	8.00 mL	0.6338 g/mL
Muestra 3	5.0200 g	8.00 mL	0.6275 g/mL

Fuente: propia.

**Cuadro 64. Datos originales de capacidad de hinchamiento de formulación en polvo de snack**

Muestra	Peso muestra	Peso sobrenadante	Peso vaso + precipitado	Peso vaso	Peso de gel/precipitado	Capacidad de Hinchamiento
Muestra 1	0.2000 g	7.8200 g	15.7400 g	11.46 g	4.2800 g	21.40
Muestra 2	0.2000 g	7.8200 g	15.7500 g	11.41 g	4.3400 g	21.70
Muestra 3	0.2000 g	7.7900 g	15.6700 g	11.38 g	4.2900 g	21.45

Fuente: propia.

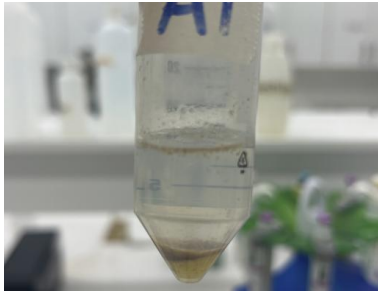
**Cuadro 65. Datos originales de prueba de solubilidad de formulación en polvo de snack**

Muestra	Peso muestra de harina	Peso sobrenadante húmedo	Peso sobrenadante seco	Solubilidad
Muestra 1	0.2000 g	7.5343 g	0.0095 g	4.75%
Muestra 2	0.2000 g	7.5962 g	0.0192 g	9.60%
Muestra 3	0.2000 g	7.4840 g	0.0161 g	8.05%

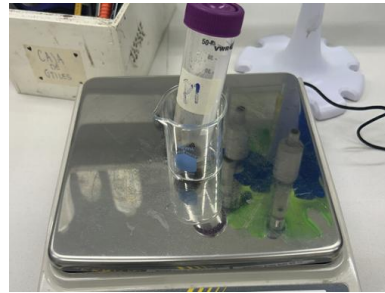
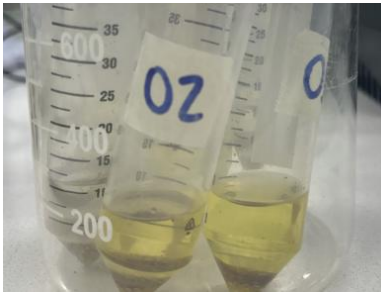
Fuente: propia.

**Cuadro 66. Imágenes de análisis tecnológicos de formulación en polvo de snack**

<b>Absorción de agua</b>
--------------------------



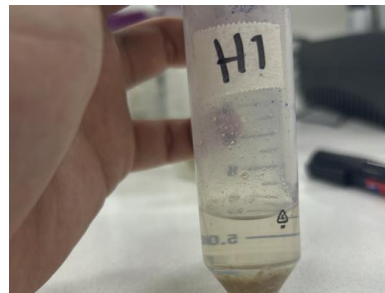
**Absorción de aceite**



**Densidad de bulto**



**Capacidad de hinchamiento**



**Solubilidad**



Fuente: propia.

*Figura 18. Snack final*



Fuente: propia.

*Figura 19. Snack final empacado*



Fuente: propia.