



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN
ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA



CARRERA DE ALIMENTOS

Desarrollo de un snack de maíz enriquecido con sémola de fréjol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) germinado.

Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de investigación, previo a la obtención de título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autora: Luzmila Salomé Sandoval Sánchez

Tutora: Ing. Mayra Liliana Paredes Escobar, Ph. D.

Ambato – Ecuador

Febrero - 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

Ing. Mayra Liliana Paredes Escobar

CERTIFICA:

Que el presente Informe Final del Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 15 de enero del 2024

Ing. Mayra Liliana Paredes Escobar

C.I. 0501873954

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Luzmila Salomé Sandoval Sánchez, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención de título de Ingeniera en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



Luzmila Salomé Sandoval Sánchez

C.I. 1722901665

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Informe final del Trabajo de Titulación o parte de él, como documento disponible para su lectura, proceso de integración, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final del Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y realice respetando mis derechos de autor.



Luzmila Salomé Sandoval Sánchez

C.I. 1722901665

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para consistencia firman:

Presidente de Tribunal

Ing. M. Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

1804067088

Ing. Manoella Alejandra Sánchez Garnica

0604079871

Ambato, 25 de enero del 2024

DEDICATORIA

A mi gato, Lord Voldemort.

Me acompañaste cuando inició esta aventura, me acompañaste en las noches largas y cansadas, continuaba para poder protegerte, me hubiera encantado que veas el final.

A mis sobrinos, Nathan y Christopher

Espero que continúen aprendiendo y creciendo, no puedo esperar a ver sus logros cuando crezcan, ya amo ver sus logros ahora.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la posibilidad e inteligencia para poder realizar este proyecto. Además de cuidarme en mi tiempo como foránea, y en toda mi vida.

A mis padres, Hugo Sandoval y Jenny Sánchez, quienes me apoyaron en toda la carrera, me escucharon mientras explicaba todas las cosas nuevas que aprendía, probaron cada uno de mis experimentos culinarios y fomentaron mi crecimiento como persona, como científica y como hija.

A mis hermanos, Patty, Pame y Andy. Por su compañía a lo largo de mi vida. Por las risas compartidas en las comidas, por los juegos de mesa que nunca terminan, por los viajes de carro escuchando a Piero e inventando juegos nuevos. A mi prima, Ale, por existir.

A mi mejor amiga, Cami, por ser mi modelo de amistad, por todas las risas, los chismes y las pijamadas. Mi prima lojana, con quien siempre me sentí segura.

A los amigos que se hicieron en el camino, Liz, Kevin y Joha. No hubiera sobrevivido tanta universidad sin ustedes. Me apoyaron en momentos duros y me hicieron reír cuando me sentía sola. Las noches, mañanas y tardes de cod, risas y lágrimas son un tesoro en mi corazón. A mi Bro, por los consejos que me dio, las fotos de gato que me compartió y por los abrazos que no quise, pero igual los dio.

A Mario Arias, por ser una nueva perspectiva que no sabía que necesitaba. Por las comidas compartidas, por las películas vistas, por todo y por su apoyo en cada parte de esta tesis. También, por las amistades que trajo, Monse, alguien que sé que siempre me ayudará de necesitarlo.

A mi tutora, Ing. Mayra Paredes, por todo su apoyo en la realización de este proyecto, porque nunca hubo dificultad que no supiera sobrellevar, por la paciencia al revisar mi redacción y por el cariño que muestra a todos sus estudiantes. Al Ing. Pedro Maldonado que me abrió las puertas para realizar partes cruciales de este proyecto.

A todos los amigos, conocidos, familiares, profesores y ayudantes quienes de forma directa o indirecta me apoyaron, incluso con un solo, sí se puede. Gracias.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

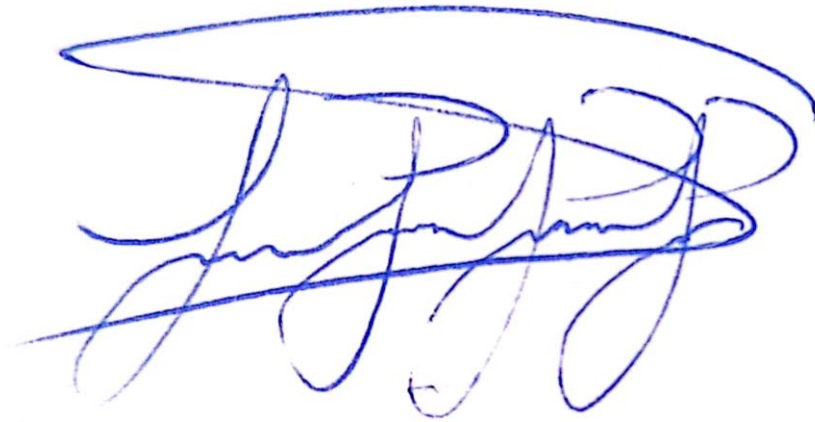
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	xi
RESUMEN EJECUTIVO	xii
ABSTRACT.....	xiv
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.1.1. Fréjol negro (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	1
1.1.1.1. Origen.....	1
1.1.1.2. Taxonomía.....	2
1.1.1.3. Producción global.....	2
1.1.1.4. Producción nacional	3
1.1.1.5. Composición nutricional del fréjol	4
1.1.1.6. Procesamiento del fréjol.....	4
1.1.2. Germinación.....	5
1.1.2.1. Proceso de la germinación	5
1.1.2.2. Efectos de la germinación	7
1.1.2.3. Factores que influyen en la germinación	7
1.1.2.4. Usos de la germinación	8
1.1.3. Grits de maíz.....	8

1.1.3.1.	Características de los grits de maíz	9
1.1.3.2.	Usos de los grits de maíz.....	9
1.1.4.	Snacks	10
1.1.4.1.	Producción de snacks	10
1.1.4.2.	Tipos de snacks	11
1.1.4.3.	Aditivos utilizados en snacks	11
1.1.5.	Extrusión.....	12
1.1.5.1.	Parámetros de control en la extrusión	14
1.1.5.2.	Efecto de la extrusión en macronutrientes	15
1.2.	Objetivos	16
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....		18
2.1.	Materiales.....	18
2.2	Métodos.....	19
	Análisis del efecto de las formulaciones en el índice de expansión, viscosidad y textura de los snacks obtenidos.	19
2.2.1.	Obtención de la materia prima	20
2.2.2.	Germinación de la leguminosa.....	20
2.2.3.	Obtención de la sémola de fréjol.....	20
2.2.4.	Elaboración del snack	21
2.2.5.	Análisis de dureza y crocancia.....	21
2.2.6.	Índice de expansión.....	21
2.2.7.	Análisis rápido de viscosidad (RVA).....	22
	Definición sensorial para obtención de la mejor formulación mediante un análisis de aceptabilidad.....	22
2.2.8.	Análisis sensorial	22
	Evaluación de la composición proximal de la formulación definida como mejor tratamiento en el análisis de aceptabilidad.....	23

2.2.9. Determinación de cenizas	23
2.2.10. Determinación de humedad	24
2.2.11. Determinación de grasa.....	24
2.2.12. Determinación de fibra dietética.	25
2.2.13. Determinación de proteínas	25
2.2.14. Determinación de Carbohidratos	26
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
3.1. Análisis y discusión de resultados	27
Efectos de las formulaciones en el índice de expansión, viscosidad y textura de los snacks obtenidos.	27
Elección de la mejor formulación mediante los resultados obtenidos del análisis sensorial de aceptabilidad.	40
Valor nutricional de la formulación II con un 30% de sémola de fréjol.....	43
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
4.1 Conclusiones	50
4.2 Recomendaciones.....	50
C. MATERIALES DE REFERENCIA.....	51
Referencias Bibliográficas	51
Anexos	59

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1 <i>Taxonomía de Phaseolus vulgaris L.</i>	2
Tabla 2 <i>Recursos materiales</i>	18
Tabla 3 <i>Formulaciones para la materia prima.</i>	20
Tabla 4 <i>Dureza y crocancia de las muestras extruidas.</i>	28
Tabla 5 <i>Valores de índice de expansibilidad de las muestras extruidas.</i>	33
Tabla 6 <i>Valores obtenido del RVA para las muestras extruidas</i>	35
Tabla 7 <i>Valores medios del análisis sensorial de las muestras extruidas.</i>	40
Tabla 8 <i>Análisis proximal de la mejor formulación</i>	43
Tabla 9 <i>Comparación valor nutricional snack con fréjol germinado y marcas comerciales</i>	45
<i>Figura 1. Proceso de germinación del fréjol negro</i>	6
<i>Figura 2. Grits de maíz utilizados en la elaboración del snack.</i>	9
<i>Figura 3. Partes en un extrusor termoplástico</i>	14
<i>Figura 4. Tres formulaciones de snacks extruidos.</i>	27
<i>Figura 5. Textura de las tres formulaciones extruidas</i>	31
<i>Figura 6. Curvas obtenidas de los extruidos.</i>	36
<i>Figura 7 . Promedios obtenidos del análisis sensorial en un gráfico de telaraña</i>	41
<i>Figura 8. Análisis proximal obtenido de la formulación II</i>	44
<i>Figura 9. Comparación de carbohidratos con marcas comerciales</i>	46
<i>Figura 10. Comparación de proteína con marcas comerciales</i>	47
<i>Figura 11. Comparación de grasa con marcas comerciales</i>	48
<i>Figura 12. Comparación de fibra dietética con marcas comerciales</i>	49



RESUMEN EJECUTIVO

En la actualidad, hay una creciente tendencia hacia el consumo de alimentos rápidos, con un aumento en la demanda de snacks, lo que ha llevado a la población a buscar opciones más saludables. Paralelamente, se ha incrementado la investigación sobre los beneficios asociados al consumo de alimentos germinados debido a su alto valor nutricional. En este contexto, el objetivo de esta investigación fue el desarrollo de un snack de maíz enriquecido con sémola de fréjol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) germinado.

El proceso incluyó la obtención del fréjol germinado, su sémola, la cual se incorporó en una formulación con maíz para su posterior extrusión. Una vez obtenido el producto extruido, se sometió a análisis de textura, expansión y viscosidad para observar el impacto de la sémola de fréjol germinado en el producto final. Además, se llevó a cabo un análisis sensorial para determinar la mejor formulación. De la mejor formulación seleccionada, se realizó un análisis proximal para identificar los componentes nutricionales del extruido.

Los resultados revelaron que el proceso de germinación contribuyó a conservar varias de las características de textura del extruido, gracias a la degradación de las proteínas y fibra dietética durante este proceso. Aunque la adición de esta sémola de fréjol

germinado no generó efectos significativos en el análisis sensorial, sí influyó en su composición nutricional, creando un producto alto en fibra dietética y rico en proteínas con características sensoriales aceptables.

Palabras clave: Procesado de alimentos, extrusión de alimentos, alimentos germinados, maíz, fréjol negro, snacks.

ABSTRACT

In today's world, there is a rising tendency towards the consumption of quick food with a higher demand for snacks, which has led the population to look for healthier options. In parallel, there is an increase in the investigation of the benefits associated with the consumption of germinated food due to its high nutritional value. In this context, the objective of this study was to develop an enriched corn snack with germinated black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) semolina.

This process included obtaining germinated black bean semolina, which was incorporated into the corn formulation for extrusion. Once the extruded product was obtained, it underwent texture, expansion, and pasting property analysis to observe the impact of germinated black bean semolina on the final product. In addition, sensory analysis was carried out to determine the optimal formulation. Proximal analysis was performed on the best formulation to determine the nutritional components of the extruded product.

The results revealed that the germination process helped to conserve various textural characteristics of the product due to the degradation of proteins and dietary fiber. Although the addition of semolina did not cause significant changes in sensory acceptability, it did influence its nutritional composition, making it a product high in dietary fiber and rich in proteins with acceptable sensorial characteristics.

Key words: Food processing, food extrusion, germinated foods, corn, black bean, snacks.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

Las leguminosas son un alimento de bajo costo y constituyen una fuente de proteína significativa en países latinoamericanos. Además, estos alimentos son fuente de carbohidratos complejos, fibra, vitaminas, minerales como hierro y calcio (**Davila, Sangronis, & Granito, 2003**). Las leguminosas han sido parte fundamental de la dieta global durante mucho tiempo, especialmente en regiones donde la disponibilidad de proteínas de origen animal es limitada. Estas se utilizan comúnmente en preparaciones caseras, combinadas con cereales, vegetales y carne (**Guerra, Granito, Paolini, & Olaizola, 2008**).

1.1.1. Fréjol negro (*Phaseolus vulgaris* L.)

El consumo de fréjol se da de varias maneras de acuerdo con el tipo de fréjol y la preferencia regional, se consumen crudos, como vegetales, en preparaciones más elaboradas como el curry, en sopas, entre otros. Existe un alto potencial para la preparación de concentrados y aislados proteicos, así como, de almidones alimenticios. Sin embargo, el fréjol *Phaseolus* no ha sido utilizado a gran escala para estos propósitos. Su principal uso se limita a la alimentación de animales y su siembra se utiliza como fertilizante natural debido a la fijación de nitrógeno, de forma que en muchos países se utilizan para la conservación de la calidad del suelo (**Sathe & Venkatachalam, 2004**).

1.1.1.1. Origen

El fréjol común (*Phaseolus vulgaris* L.) pertenece a la familia Fabaceae, la cual abarca una diversidad de géneros y alrededor de 18,000 especies. Dentro del género *Phaseolus* encontramos más de 50 especies, siendo el fréjol común (*P. vulgaris*) una de las más prominentes (**Morales, Peña, García, Aguilar, & Kohashi, 2017**). Esta leguminosa

tiene una amplia presencia en la dieta mundial, especialmente en Sudamérica y África. Su domesticación se remonta a más de 8000 años en América y se extendió a otras regiones después del descubrimiento de América (De Ron & Santalla, 2013; Morales et al., 2017). La primera base del origen de *P. vulgaris* se encontró en México en una altura entre 500 y 1800 m.s.n.m., así también se han encontrado variedades silvestres del *P. vulgaris* en Guatemala y Argentina (De Ron & Santalla, 2013).

1.1.1.2. Taxonomía

El fréjol común (*Phaseolus vulgaris* L.) pertenece a la familia Fabaceae, que incluye una amplia variedad de géneros y alrededor de 18,000 especies. Dentro del género *Phaseolus*, encontramos más de 50 especies, siendo el fréjol común (*P. vulgaris*) una de las más destacadas (Santos, Marques, & Lino-Neto, 2020).

Tabla 1
Taxonomía de Phaseolus vulgaris L.

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliophyta
Subclase	Rosidae
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Género	<i>Phaseolus</i>
Especie	<i>Phaseolus vulgaris</i>

Fuente. (VMABCC-Biodiversity, 2009)

1.1.1.3. Producción global

P. vulgaris es de las leguminosas más conocidas mundialmente. En 2007, la producción mundial alcanzó 20 millones de toneladas, con los principales productores: India, Brasil, Myanmar, China, Estados Unidos y México (De Ron & Santalla, 2013). Esta

leguminosa es ampliamente consumida en todo el mundo, especialmente en Sudamérica y África (Morales et al., 2017; Santos et al., 2020). Las leguminosas son la tercera familia más grande de plantas con flores en tamaño e importancia económica (De Ron & Santalla, 2013).

Entre las aproximadamente 1300 especies de leguminosas, únicamente alrededor de 20 se consumen comúnmente, siendo *P. vulgaris* la más popular. A nivel mundial, las leguminosas ocupan el quinto lugar en la producción anual de granos, y el fréjol negro representa cerca del 23% de esta producción (De Ron & Santalla, 2013).

1.1.1.4. Producción nacional

En el mundo se producen 18 991 954 de toneladas anuales, de las cuales 39 725 se producen en Ecuador, representando un 0.2%. Aunque el fréjol es la leguminosa con mayor área de cultivo y consumo, su rendimiento es inferior en comparación a otros cultivos, como el maíz. Este bajo rendimiento se atribuye a las enfermedades foliares y factores de estrés abiótico, como sequías y la baja fertilidad de los suelos. En el Ecuador existen 50 especies de fréjol (Torres et al., 2013).

En Ecuador, la producción de fréjol se concentra en la región del nororiente del país, destacando las provincias de Carchi, Imbabura y Santo Domingo de los Tsáchilas (Guamán, Desiderio, Villavicencio, Ulloa, & Romero, 2020; Torres et al., 2013).

Según el Banco Central del Ecuador, los últimos datos reportan que la producción del fréjol se mantuvo estable en el 2014 con un crecimiento del 3% en el 2015. La Cámara de Agricultura informa que los agricultores han recibido capacitación y tecnificación para mejorar la productividad. La producción se concentra principalmente en Imbabura y Carchi, se realizan cultivos de esta leguminosa en diversas provincias,

como Chimborazo, Bolívar, Azuay, Loja, Guayas, Pichincha, Los Ríos, Manabí, entre otras (**Espinoza, 2017**).

1.1.1.5. Composición nutricional del fréjol

El fréjol es una leguminosa que destaca por su contenido de proteínas, carbohidratos, fibra dietética, minerales y vitaminas. A pesar de tener un bajo contenido de algunos aminoácidos esenciales, como metionina, cisteína y triptófano, se destaca por ser rico en lisina y treonina. En términos de micronutrientes, sobresalen por su aporte el hierro, zinc, cobre y antioxidantes. Sin embargo, es relevante mencionar que el fréjol también contiene anti-nutrientes, como inhibidores enzimáticos, ácido fítico, lectina, saponinas y bloqueadores de la amilasa. Estos compuestos pueden reducirse mediante técnicas de preparación, como el remojo, la cocción, la germinación o la fermentación antes del consumo (**Santos et al., 2020**).

1.1.1.6. Procesamiento del fréjol

Los granos secos se cosechan maduros y, posteriormente, las semillas son extraídas de la vaina para someterse a un proceso de limpieza. La clasificación de las semillas se realiza considerando características externas como color, brillo, tamaño del grano, entre otras. Durante el almacenamiento, las semillas pueden estar expuestas a riesgos como inundaciones, insectos y roedores. Las pérdidas en la fase de postcosecha pueden atribuirse a factores como humedad, temperatura, tasa de respiración, daño causado por insectos, deterioro microbiológico y afectación por plagas. La condición óptima de almacenamiento para los granos secos implica mantener bajas temperaturas y humedad relativa para evitar la proliferación de insectos y mohos (**Gepts, 2001**).

El procesamiento posterior de las leguminosas generalmente ocurre a un nivel doméstico, implica diversas técnicas como la molienda, remojo, cocción, fritura, germinación, fermentación y tostado. La elección de la técnica empleada depende de

la preferencia regional para la variedad del fréjol y el producto final deseado. A nivel industrial, el procesamiento posterior abarca la congelación, molienda, horneado, cocción, fritura y enlatado (**Gepts, 2001**).

1.1.2. Germinación

Las semillas son las unidades de dispersión de las plantas, estas contienen el embrión, la siguiente generación de la planta, y el endospermo, un tejido de almacenamiento que en el cual se encuentran las reservas de la semilla, carbohidratos, proteínas y lípidos. Estas partes se encuentran cubiertas por la testa, la capa de la semilla. Las semillas son los frutos de la planta en un sentido botánico. De la semilla desarrollada saldrán las estructuras esenciales de la planta: la radícula, la raíz embrionaria y el cotiledón. El establecimiento de nuevas plantas mediante la germinación de las semillas es crítico para la persistencia de diferentes especies de plantas y para la producción agrícola (**Nonogaki & Nonogaki, 2017**).

La germinación en semillas indica la aparición de una nueva planta. Se utiliza el término germinación hasta la aparición de cotiledones cuando una semilla se encuentra bajo la tierra. Por otro lado, una definición más estricta son los eventos fisiológicos que ocurren en la semilla hidratada hasta antes de la aparición del embrión. Es decir, la germinación termina con la aparición de la radícula (Figura 1) (**Nonogaki & Nonogaki, 2017**).

1.1.2.1. Proceso de la germinación



Figura 1. Proceso de germinación del fréjol negro, se observa la germinación obtenida del fréjol negro a lo largo de 4 días, la germinación con la aparición de la radícula y pasa a un proceso de secado.

Fuente: (Kartikeyan et al., 2022)

La germinación se divide en tres fases. La primera fase inicia con la rehidratación de la semilla lo que inicia las alteraciones estructurales importantes que se darán en el proceso. Una vez rehidratada la semilla, estas pasan a un estado cristalino hidratado, un estado más estable debido a la pérdida de solutos. En la rehidratación se reactivan las enzimas y estructuras necesarias para el reinicio del metabolismo. Entre los cambios que se dan en esta fase están: la degradación o reemplazo de componentes dañado, la síntesis del ADN dañado en la maduración y deshidratación, la síntesis del ADN mitocondrial y la reconstitución de las membranas (**Herrera, Alizaga, Guevara, & Jiménez, 2006**).

En la segunda fase se detiene la absorción de agua y se reduce la actividad respiratoria. La semilla sintetiza nuevas estructuras y compuestos para las siguientes fases de su desarrollo a partir de las reservas disponibles. Inicia un proceso anabólico y endergónico, que consume la energía disponible. Molecularmente, se activan los genes para el proceso de elongación (**Herrera et al., 2006**).

Por último, se termina la germinación con la radícula rompiendo las envolturas de la semilla, para dar inicio al crecimiento de la plántula. Esto ocurre una vez la radícula logra atravesar la testa y el endospermo. Es esta fase el embrión presenta un potencial hídrico negativo. La radícula logra emerger debido al debilitamiento de las estructuras, este debilitamiento ocurre por la degradación de las paredes celulares del endospermo causadas por enzimas activadas en la rehidratación de la semilla (**Herrera et al., 2006**).

1.1.2.2. Efectos de la germinación

La germinación implica diversos procesos fisiológicos que alteran las propiedades fisicoquímicas de la semilla. La germinación inicia con la absorción de agua promoviendo las actividades metabólicas que incrementan el contenido de aminoácidos, mejoran la digestibilidad, reducen el contenido de anti-nutrientes y mejoran la calidad nutricional **(Baquerizo, 2021; Cruz, 2017; Tovar-Hernández, Perafán-Gil, Enríquez-Collacos, Pismag-Portilla, & Ceron-Fernandez, 2017)**.

La germinación produce modificaciones en las propiedades fisicoquímicas, generando mejoras en la capacidad de retención de aceite y agua, así como la capacidad gelificante. Esto se debe al incremento de fibra dietética y almidón disponible, por otro lado, se observa una disminución de la capacidad emulsionante y espumante **(Díaz et al., 2017)**.

En ciertas variedades, el proceso de germinación puede originar un aumento de disponibilidad de proteína, hierro y calcio. Esto se observó en un proceso de germinación de diferentes variedades de quinua y amaranto **(Bravo, Reyna, Gómez, & Huapaya, 2013)**.

1.1.2.3. Factores que influyen en la germinación

La germinación, un proceso iniciado por la rehidratación, está fuertemente influenciado por la humedad y temperatura. En esta etapa, la semilla reactiva su metabolismo, absorbiendo agua debido a la variación de potencial hídrico entre la semilla y su entorno, este proceso continúa hasta la aparición de la radícula. Es importante destacar que un exceso de humedad dificulta la llegada de oxígeno al embrión deteniendo el proceso de germinación **(Yáñez et al., 2012)**.

La temperatura tiene un papel crucial durante la germinación, ya que influye sobre las enzimas que regulan la velocidad del proceso. Las temperaturas más bajas tienden a disminuir la rapidez de la germinación, mientras que temperaturas elevadas pueden inhibirla. Las semillas tropicales germinan en temperaturas superiores a 25°C y pueden llegar hasta un máximo de 50°C, por otro lado, semillas de especies de zonas frías tienen requisitos más bajos, germinando en un rango de 5 a 15°C (**Ismaili, Maurady, Lachkar, Britel, & Bakali, 2023**).

1.1.2.4. Usos de la germinación

La germinación se ha utilizado para reducir o eliminar proteínas alergénicas en la soya y factores inductores del favimos en fréjol fava. Este enfoque ha mejorado significativamente la calidad y seguridad de las leguminosas como ingredientes en el desarrollo de productos (**Ohanenye, Tsopmo, Ejike, & Udenigwe, 2020**).

Actualmente se buscan métodos para transformar alimentos tradicionales en productos con un mayor valor nutricional. Este objetivo se logra mediante la desintegración del material vegetal en la presencia de agua, lo que aumenta la solubilidad de las proteínas, sustancias fenólicas y otros compuestos, proporcionando así un valor nutricional diferenciado. Por lo cual, el proceso de germinación mejora significativamente el perfil nutricional del vegetal destinado a la producción de nuevos alimentos. La germinación induce cambios en el perfil, facilitando la movilización del material proteico y carbohidratos, así como intensificando las actividades metabólicas, lo que resulta en un incremento de la producción de compuestos solubles (**Bueno et al., 2020**).

1.1.3. Grits de maíz

El maíz destaca como uno de los cultivos con mayor rendimiento ofreciendo diversidad de variedades. En su molienda se obtienen diferentes granulometrías. Aunque la harina no se utiliza comúnmente en productos horneados, los grits desempeñan un papel crucial como materia prima en la extrusión de diferentes productos. La granulometría se determina según el propósito específico de uso (Manley, 2011).



Figura 2. Grits de maíz utilizados en la elaboración del snack.

En la derecha se observa una harina de maíz precocida con una menor granulometría y a la izquierda polenta de maíz con una mayor granulometría.

1.1.3.1. Características de los grits de maíz

Los grits de maíz son partículas de endospermo con diversas granulometrías, clasificándose mediante tamices desde No. 14 mesh para los de mayor tamaño hasta No. 60 mesh para los más pequeños. Estos grits presentan bajos niveles de fibra y aceite (Figura 2) (Manley, 2011).

1.1.3.2. Usos de los grits de maíz

Los grits son una materia prima crucial para la producción de productos extruidos. La granulometría de los grits se ajusta según el uso previsto, tomando en cuenta la fluidez del material. Aquellos con una granulometría específica se emplean en la elaboración de snacks, cereales para el desayuno y en la industria cervecera. Los grits con la menor granulometría son utilizados en Estados Unidos en la preparación de desayunos (**Serna-Saldivar & Perez Carrillo, 2019**).

1.1.4. Snacks

Los snacks se definen como pequeñas porciones de alimentos consumidos entre comidas de manera casual, con un menor costo en comparación a una comida preparada. En cuanto al aporte de energía, los snacks no tienen el propósito de cumplir ningún requerimiento específico y a menudo tienen un alto contenido de azúcar y carbohidratos (**Phan, 2019**). El término “snacks” abarca una amplia variedad de productos alimenticios, como nueces, galletas y carne seca. Sin embargo, el sector con la mayor diversidad de snacks se centra en la producción de palomitas de maíz, chips de papa, snacks fritos y aquellos basados en almidón (**Guy, 2001**).

1.1.4.1. Producción de snacks

Los snacks han experimentado un significativo crecimiento en el mercado mundial, impulsada por el aumento de la alimentación rápida (**Carvajal, 2012**). En Ecuador, la producción de snacks empezó hace cuatro décadas, comenzando con la fábrica que producía los conocidos “K-chitos”, un nombre que se ha convertido en un término genérico para los extruidos de maíz. El 25% de los productos registrados y procesados a base de maíz en Ecuador corresponde a snacks, con más de 10 empresas que elaboran snacks extruidos (**Hinojosa & Vinuesa, 2014**). Además, en la actualidad existe una preferencia de los consumidores nacionales hacia snacks más saludables, lo que ha resultado en un aumento de productos orgánicos (**Jiménez & Manosalvas, 2015**).

Los snacks representan cerca del 20% de la ingesta total de energía diaria en el mundo, y se prevé un incremento en el mercado global, pasando de 67 mil millones en el 2020 a 102 mil millones en 2028. Este incremento en la demanda convierte a los snacks en una solución rápida que se adapta a los estilos de vida ocupados de las personas (**Emily Ng, Xu, Liu, & Rangan, 2022**).

1.1.4.2. Tipos de snacks

Los snacks se dividen en tres categorías llamadas generaciones:

- Primera generación: Son productos naturales, como nueces, que experimentan un procesamiento mínimo.
- Segunda generación: Incluye snacks procesados comercialmente mediante extrusión u otros métodos que alteran sus propiedades fisicoquímicas, como expandidos, chips y tortillas.
- Tercera generación: Son productos intermedios, generalmente en forma de pellets, que requieren un proceso térmico adicional, como fritura o microondas, antes de ser saborizados y empacados para su consumo final.

Fuente: (Serna-Saldivar, 2012)

Actualmente, se emplean varias tecnologías para la fabricación de snacks, entre las que se incluye la extrusión termoplástica, microondas, radiación infrarroja, ondas y cocción dieléctrica (**Serna-Saldivar, 2012**).

1.1.4.3. Aditivos utilizados en snacks

Los aditivos más utilizados en snacks son aquellos que mejoran la calidad organoléptica del producto. Uno de los aditivos más comunes en snacks son los sabores

artificiales, potenciadores de sabores y sustancias aromatizantes. Otro de los aditivos es la caseína, la cual tiene propiedades aglutinantes de forma que mejoran la textura en los snacks, específicamente en los extruidos permite darles forma durante la extrusión (Núñez & Navarro, 2013).

Se utilizan antioxidantes para evitar la rancidez desarrollada por los radicales terminales libres que pueden quelar iones metálicos. Se pueden utilizar emulsificantes como el diacetil tartárico por sus propiedades anti-apelmazantes en la materia prima. Se puede fortificar con la adición de ascorbil palmitate para enriquecer o fortificar (Smith & Hong-Shum, 2003).

Otros aditivos utilizados en los extruidos son los alginatos, estos le dan al alimento una forma y figura robusta. Las beta-ciclodextrina es un polímero cíclico que permite conservar los sabores, especialmente en los tratamientos térmicos fuertes, además de proteger a los sabores sensibles de la oxidación en el almacenamiento. La celulosa microcristalina son partículas insolubles que se dispersan rápidamente en el agua, por lo que potencia la capacidad de absorción de agua y aceite, por lo que se utiliza para mejorar la extrusión de snacks extruidos, en concentraciones altas mantiene las formas de los extruidos (Saltmarsh, 2003).

1.1.5. Extrusión

La extrusión puede tener varios significados de acuerdo con el sector industrial en el que se aplique, ya sea extrusión fría, extrusión caliente o extrusión de oleaginosas, utilizada en la producción de pastas, snacks o aceites respectivamente (Bouvier & Campanella, 2014). Los fundamentos de la extrusión se centran en un proceso de formación en el que la materia atraviesa un orificio o dado con una forma específica para producir una amplia variedad de perfiles. Este proceso se lleva a cabo mediante un pistón perforado que funciona en conjunto a un tornillo en un barril (Vandenbossche, Candy, Evon, Rouilly, & Pontalier, 2019).

La extrusión se define como un proceso hidrotérmico que implica una transformación a través de una aplicación de fuerza de cizalla y un calentamiento a altas presiones. Se caracteriza por el uso de altas temperaturas durante un breve período de tiempo. Esta tecnología destaca debido a su versatilidad, eficiencia en costos, alta productividad, calidad del producto final y su respeto por el medio ambiente (**Fellows, 2017**).

La extrusión es un proceso altamente versátil que posibilita el transporte, mezcla, corte y cocción de matrices alimenticias. Durante la extrusión, el material se somete a condiciones de elevadas temperaturas y presiones, generadas por la cizalla mecánica y la restricción del dado (Figura 3) (**Ek & Ganjyal, 2020**). Es esencial monitorear continuamente el proceso para ajustar las variables clave y garantizar la uniformidad del producto. Estos parámetros incluyen el flujo de alimentación, la temperatura y la presión en distintas zonas de extrusión, así como la expansibilidad y humedad (**Alam & Aslam, 2021**).

La calidad de los snacks extruidos está ligada a las características de la materia prima, la formulación utilizada y los parámetros de procesamiento. En cuanto a la materia prima, factores como la humedad, cenizas, distribución del tamaño de partícula (granulometría), daño del almidón y el color desempeñan roles fundamentales (**Bao & Bergman, 2018**). En el caso de los almidones, los análisis viscoamilográficos son útiles para predecir comportamientos como la gelatinización, retrogradación y otras funcionalidades del almidón. Para las grasas, aspectos como la estabilidad, acidez y ácidos grasos son consideraciones importantes. Además, el contenido de humedad en la materia prima también ejerce un papel crucial (**Serna-Saldivar, 2012**). Todos estos factores contribuyen de manera determinante a la calidad final de los snacks extruidos.

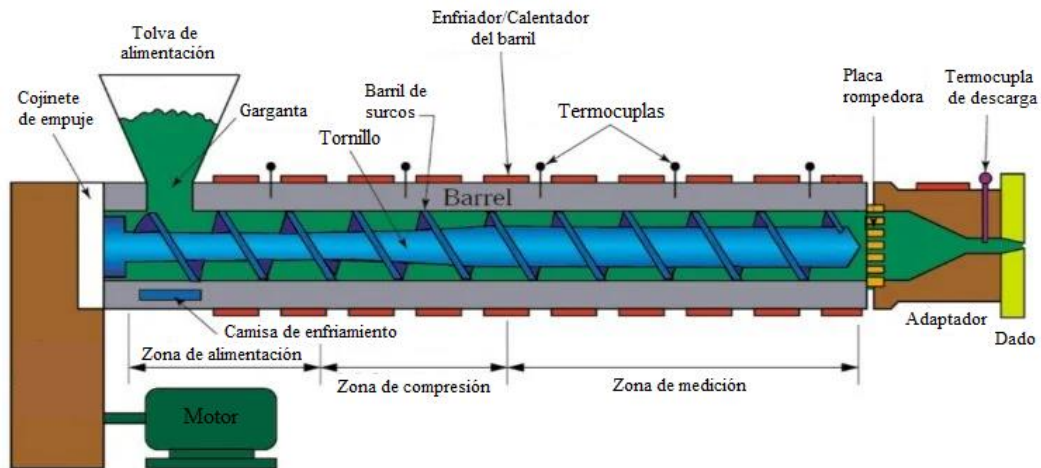


Figura 3. Partes en un extrusor termoplástico

Modificado de: (Kristiawan, Imaduddin, Ariawan, Ubaidillah, & Arifin, 2021)

1.1.5.1. Parámetros de control en la extrusión

Para asegurar la producción de productos competitivos en el mercado, los snacks extruidos requieren un control de varios parámetros que influyen de manera directa e indirecta en su aceptación por parte del consumidor. Las características finales del producto son, en parte, resultado de parámetros críticos específicos inducidos por las propiedades de la materia prima (Anton & Luciano, 2007).

Los parámetros críticos que afectarán parcialmente la humedad, expansión, solubilidad, absorción, color, sabor y textura del producto final incluyen: la humedad, el aporte de energía térmica, el aporte de energía mecánica y el tiempo de retención. La humedad de la materia prima influirá en la humedad del producto final o extruido. El aporte de energía térmica se refiere al calor de los fluidos térmicos, vapor o electricidad. El aporte de energía mecánica es el calor disipado al extruido causado por la cizalla y el bombeo en el cilindro del extrusor. El tiempo de retención es el tiempo total que el producto permanece en cualquier zona específica del proceso de extrusión (Alam & Aslam, 2021; Anton & Luciano, 2007).

Además, existen otros parámetros que se toman en cuenta para la calidad final de los productos. El control del flujo de alimentación, la velocidad de rotación de los tornillos, la temperatura y la presión de barril, cuando se combinan, se convierten en parámetros críticos que determinarán la crocancia, dureza y otras características que influirán el éxito del producto **(Anton & Luciano, 2007)**.

1.1.5.2. Efecto de la extrusión en macronutrientes

Al trabajar con temperaturas elevadas, existe el riesgo de un deterioro significativo de la calidad nutricional, especialmente con métodos tradicionales de cocina. La extrusión se destaca como una tecnología que conserva de manera significativa los nutrientes, debido a las temperaturas y cortos tiempos empleados. No obstante, la extrusión de diversas matrices alimentarias y la interacción entre estas constituyen un área extensa de investigación **(Singh, Sharma, & Sharma, 2017)**.

En los carbohidratos, que forman la principal materia prima de los extruidos, el proceso de extrusión contribuye a la gelatinización de los almidones, haciéndolos más digeribles para los seres humanos. Durante este proceso, las moléculas de almidón se degradan a mono y disacáridos, que son más fácilmente digeribles. También, debido a la estructura ramificada de la amilopectina, se produce una reducción en el peso molecular. En consecuencia, la extrusión tiene la capacidad de generar carbohidratos de cadena corta, como dextrinas **(Singh et al., 2017)**.

La presencia de azúcares en la extrusión contribuye a la unión de otros ingredientes, al desarrollo de sabores y al pardeamiento no enzimático. Aunque la incorporación de azúcares puede reducir la expansión, tiende a aumentar la densidad, la fuerza mecánica y el número de células por área, entre otros efectos. En el transcurso de la extrusión, los azúcares se transforman en hexosas y pentosas debido a las altas temperaturas y humedad limitada, con una pérdida de sacarosa **(Singh et al., 2017)**.

Tras un proceso de extrusión, se ha observado un aumento de la fibra dietética, específicamente en harinas de cebada. Este fenómeno se atribuye al cambio de la fibra dietética durante la extrusión, así como a la formación de almidón resistente no digerible y glucanos no digeribles resistentes a enzimas, resultado de procesos de transglicosidación (Singh et al., 2017).

Las proteínas experimentan varios procesos durante la extrusión. Las fuerzas de cizallamiento generadas en el extrusor provocan la ruptura de las proteínas de alto peso molecular a proteínas con un menor peso molecular. La adición de proteína provoca una pérdida de elasticidad en la masa a extruir, lo que significa que la masa pierde su estabilidad para la formación de burbujas que aportan crocancia al producto. Las altas temperaturas no tienen un efecto negativo en la digestibilidad de la proteína. El aumento de la velocidad del tornillo mejora la digestibilidad de la proteína al facilitar la hidrólisis enzimática (Singh et al., 2017).

Las grasas tienen tres papeles importantes en el proceso de extrusión: son una fuente de ácidos grasos esenciales, transportan vitaminas solubles en grasas y modifican las cualidades del producto final. Las grasas funcionan como un lubricante en la extrusión, ya que se dispersan en pequeñas gotas en los polímeros por la acción del cizallamiento en el tornillo. No se recomienda utilizar materias con alto contenido de grasa en la extrusión. Al tener la materia prima un contenido superior al 6% de grasa se puede afectar el rendimiento, pues se reduce el efecto de cizalla y la energía mecánica. La cocción durante la extrusión previene la liberación de ácidos grasos libres al desnaturalizar las enzimas hidrolíticas y la oxidación de lípidos es menos probable debido al corto tiempo de residencia. Aún se requiere más investigación sobre otros cambios nutricionales de las grasas en el proceso de extrusión (Singh et al., 2017).

1.2. Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un snack de maíz enriquecido con sémola de fréjol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) germinado.

Objetivos Específicos

- Analizar el efecto de las formulaciones en el índice de expansión, viscosidad y textura de los snacks obtenidos.
- Definir sensorialmente la mejor formulación mediante un análisis de aceptabilidad.
- Determinar la composición proximal de la formulación definida como mejor tratamiento en el análisis de aceptabilidad.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Materiales

La tabla 2, muestra la lista de materiales y reactivos utilizados para llevar a cabo la experimentación.

Tabla 2
Recursos materiales

Material	Cantidad
Materia prima	
Polenta	1 kg
Harina de maíz precocida	2 kg
Frejol negro	5 kg
Reactivos	
Ácido sulfúrico	10 mL
Hidróxido de sodio	10 g
Éter de petróleo	200 mL
Equipos	
Balanza analítica	1
Mufla	1
Estufa	1
Extractor de grasas (“Velp Scientifica”)	1
Extractor de fibra (“Velp Scientifica”)	1
Dumas Nitrogen Analyzer (“Velp NDA 701”)	
Balanza infrarrojo “Mettler Toledo”	1
RVA (“Rapid Visco Analyzer”)	1
Texturómetro (PRO CT3 “BROKFIELD”)	1
Tamizador	1
Molino de rodillos	1
Molino de piedra	1

Materiales	
Crisol	1
Pinzas	1
Espátula	1
Dedal de extracción	1
Pie de rey	1
Papel filtro	1

Elaboración propia

2.2 Métodos

Análisis del efecto de las formulaciones en el índice de expansión, viscosidad y textura de los snacks obtenidos.

Para investigar el efecto de las formulaciones se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, donde se estudió el efecto de un factor de interés, en este caso la formulación utilizada, sin tomar en cuenta otros factores por nulificación para la comparación.

Las formulaciones tomadas en cuenta para el diseño experimental se indican en la Tabla 3.

La hipótesis del diseño experimental estuvo dada por:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = 0$$

$$H_A: \mu_i \neq 0 \text{ para algún } i$$

La hipótesis nula afirma que la respuesta media poblacional lograda con cada tratamiento es la misma para todos los tratamientos, y la hipótesis alternativa quiere afirmar que todos los efectos de tratamiento sobre la variable de respuesta son nulos. La hipótesis se prueba con un análisis de varianza con dos criterios de clasificación, análisis sensorial y de textura.

Tabla 3

Formulaciones para la materia prima.

Ingredientes	Harina de maíz precocida (%)	Polenta (%)	Sémola de fréjol (%)
F1	50	35	15
F2	50	20	30
F3	50	0	50

Elaboración propia

2.2.1. Obtención de la materia prima

El fréjol negro se compró en el mercado Mayorista de Ambato. La harina de maíz y polenta se compró del supermercado “Megamaxi”.

2.2.2. Germinación de la leguminosa

La germinación de la leguminosa se basó en la **INEN 1 557, (1987)** con modificaciones de acuerdo con la metodología propuesta por **Huaraca, Kari, Tapia, & Alvarez, (2021)**, para lo cual se trabajó con una humedad promedio de 50% para la leguminosa y temperatura menores a 21°C, el fréjol fue previamente sumergido en agua por un periodo de 20-24 horas. La germinación se realizó sin luz solar, en un espacio ventilado, durante 2 días.

2.2.3. Obtención de la sémola de fréjol

Para obtener la sémola de la leguminosa germinada se siguió la metodología propuesta por **Bravo, Reyna, Gómez, & Huapaya, (2013)**. Se realizó un secado en estufa a una temperatura entre 50-55°C durante 6 horas. Tras este proceso se realizó una molienda y un tamizado en un tamiz No. 14 mesh.

2.2.4. Elaboración del snack

El snack se realizó en base a las 3 formulaciones mencionadas en la Tabla 3. Los ingredientes fueron mezclados previamente y pasaron por un extrusor *BRABENDER* modelo 825602 dotado de un barril de 1.9 cm de diámetro, con un tornillo simple y tres zonas de calentamiento con controles individuales (120 – 140 -160°C), con una velocidad de giro de tornillo de 140 rpm.

2.2.5. Análisis de dureza y crocancia

Se determinó la textura de los expandidos obtenidos, mediante la metodología establecida en el manual del equipo *TEXTURÓMETRO PRO CT3 (BROKFIELD)*. La textura se analizó según parámetros de dureza y crocancia del producto final de cada tratamiento (**BROOKFIELD AMATEK, 2019**).

2.2.6. Índice de expansión

En base a la metodología establecida por **Delgado et al., (2020)**, el índice de expansión se definió como la relación entre el diámetro del producto extruido dividido entre el diámetro del dado de salida, utilizando un pie de rey para mayor precisión. Se aplicó la ecuación 1.

$$I.E. = \frac{\text{Diámetro del extruido}}{\text{Diámetro del dado de salida}}$$

(Ecuación 1)

2.2.7. Análisis rápido de viscosidad (RVA)

En base en la metodología para productos extruidos establecida por **Crosbie & Ross, (2007)** en el manual para el uso del equipo *RVA*, se determinaron los parámetros de pasta. Se utilizó una muestra de 4-5 g, con 25 ml de agua destilada. Previamente, la muestra fue molida o pulverizada para un mejor análisis. La muestra se mezcló en el viscosímetro y se agitó para evitar la formación de grumos. Se procedió a elevar la temperatura inicial a 25°C y se incrementó gradualmente hasta alcanzar los 95°C, con una velocidad de agitación de 160 rpm. La temperatura se mantuvo a 95°C durante 10 minutos y luego se redujo nuevamente a 25°C.

El grado de cocción se determinó teniendo en cuenta el perfil de temperaturas, la viscosidad en frío, los puntos de transición y la viscosidad final del producto analizado.

Definición sensorial para obtención de la mejor formulación mediante un análisis de aceptabilidad.

2.2.8. Análisis sensorial

Para determinar la muestra de mayor aprobación por el consumidor, se realizó un análisis de aceptabilidad de las tres formulaciones. Se utilizó una hoja de cata con una escala hedónica de 5 puntos y se aplicó a un panel sensorial de 25 catadores entrenados. Se evaluaron los siguientes atributos sensoriales: aroma, color, textura, sabor y aceptabilidad. La evaluación fue realizada en la tarde de 3pm a 5 pm (**Anzaldúa, 2019; Espinosa, 2018**).

Cada catador fue colocado en una cabina individual de evaluación sensorial. Se entregaron tres muestras individuales del producto, identificadas con dígitos aleatorios y un vaso con agua. El catador contó con una hoja de evaluación donde pudo añadir sus respuestas para la evaluación hedónica (Anzaldúa, 2019; Espinosa, 2018)

Evaluación de la composición proximal de la formulación definida como mejor tratamiento en el análisis de aceptabilidad.

2.2.9. Determinación de cenizas

En base a la Norma Técnica Ecuatoriana, **INEN 520, (2013)** ,se utilizó un método gravimétrico, basado en la calcinación de materia orgánica por vía seca en una mufla a 550°C. Las muestras se calcinaron hasta que tomen un tono gris o el peso sea constante. Inicialmente se calcinaron los crisoles vacíos a 550°C por 30 minutos y se enfriaron en un desecador por 30 minutos, para poder tomar el peso inicial. Utilizando una balanza analítica se pesaron 5 gramos de muestra y se los llevó a la mufla hasta obtener cenizas de un color gris claro, revisando el estado de la muestra cada 15 minutos. Una vez la muestra se enfrió en un desecador, se pesaron los crisoles y se registró su peso final. El resultado se expresó como porcentaje de cenizas:

$$\%C = \frac{100(m_2 - m)}{(100 - H)(m_1 - m)}$$

(Ecuación 2)

Donde:

$\%C$ = Contenido de ceniza en %

m = Masa del crisol vacío (g)

m_1 = Masa del crisol con la muestra (g)

m_2 = Masa del crisol con la muestra incinerada (g)

2.2.10. Determinación de humedad

La determinación de humedad se realizó en base a la norma **INEN 1 513, (1987)** para lo cual se colocaron 3 g de muestra en una cápsula pesada con antelación, y poniendo en una balanza Mettler Toledo a una temperatura de 130°C aproximadamente por 30 min.

2.2.11. Determinación de grasa

En base al método **AOAC 2003.06, (2003)** y junto con la metodología mencionada por **Solís, (2018)** con ajustes. Se utilizó el extractor Soxhlet de la marca *Velp Scientifica*. Se pesaron 3 gramos de muestra en un papel filtro el cual se ubicó en el dedal de celulosa, se colocó el dedal en el equipo con los vasos de extracción con 60 mL en las placas de calentamiento del equipo. Se encendió el equipo de extracción, con una configuración de temperatura a 130 °C. Una vez que inició la ebullición del disolvente se sumergieron los dedales por 60 min, luego se levantaron para permitir la recirculación del disolvente por 90 min. Tras este tiempo se abrieron las válvulas de la cámara de recuperación y se procedió a recoger el disolvente por 30 min. Por último, se colocaron los vasos con la muestra obtenida de grasa por una hora a 96°C en una estufa para eliminar el disolvente. Se enfrió a temperatura ambiente en un desecador y se pesó en una balanza analítica.

Una vez obtenidos los datos necesarios se calculó la grasa mediante la siguiente fórmula:

$$\%grasa = \frac{(\text{peso del vaso con grasa tras extracción} - \text{peso del vaso vacío})}{\text{Peso de la muestra antes de la extracción}} * 100$$

(Ecuación 3)

2.2.12. Determinación de fibra dietética.

Para la determinación de fibra dietética total se utilizó el método gravimétrico-enzimático **AOAC 985.29, (2019)** para lo cual se pesó 1 g de muestra. Se añadió 25 mL de agua destilada y se incubó a 37°C por 90 minutos para solubilizar azúcares y otros componentes solubles en agua. Se taparon los vasos con papel aluminio, posterior a ello los componentes de fibra solubles en agua se precipitaron con etanol. El residuo se lavó secuencialmente con etanol al 78%, etanol al 95% y acetona para un secado a 105°C. La fibra dietética total se calculó como el peso de los residuos menos el peso de las proteínas y las cenizas. El análisis se realizó en el Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos (LACONAL) de la FCIAB-UTA.

2.2.13. Determinación de proteínas

La determinación de proteínas se realizó basándose en el método de Dumas propuesto en la norma AOAC 990.03 (2005). Donde se pesaron 50 mg de muestra en cápsulas de papel aluminio y se analizó el contenido de proteína mediante combustión y detección de conductividad térmica con la ayuda del equipo de *Dumas Nitrogen Analyzer (Velp NDA 701)*. Previo al análisis de proteína se calibró con un patrón blanco sin proteína. El experimento se ejecutó por triplicado, utilizando un factor de conversión de 6.25 para el cálculo del valor de proteína (%) (**Lanza, Churión, & Gómez, 2016**).

En un contenedor con un flujo de gas, usualmente helio, las muestras empacadas se sometieron a un proceso de combustión con oxígeno puro. Se utilizaron catalizadores para acelerar la combustión y eliminar la formación de CO. El óxido de nitrógeno se reduce a nitrógeno elemental. Se separa el agua y dióxido de carbono utilizando un absorbente. El porcentaje de nitrógeno contenido en las muestras se calcula con un

software de evaluación basado en la determinación cuantitativa del contenido de nitrógeno obtenido en el detector de conductividad térmica. El procedimiento es rápido, tiene un bajo costo, además tiene un sistema de acondicionamiento sencillo con fácil mantenimiento (**Richards, 2018**).

2.2.14. Determinación de Carbohidratos

La determinación de carbohidratos se realizó mediante un cálculo usando la siguiente ecuación:

$$\text{Carbohidratos} = 100\% - (\%grasa + \%humedad + \%proteína + \%fibra + \%cenizas)$$

(Ecuación 4)

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de resultados

Efectos de las formulaciones en el índice de expansión, viscosidad y textura de los snacks obtenidos.

En la figura 4 se observan los snacks resultantes tras la extrusión de las tres formulaciones. Destaca el cambio de color, donde las formulaciones con mayor sémola de fréjol son las que presentan un tono más oscuro, mientras que la formulación con menor cantidad de frejol no muestra cambios significativos en comparación con marcas comerciales. Al observar el corte transversal de los snacks se resalta la variación en la porosidad de cada formulación, así como el grosor de las capas expandidas. Por último, se pueden apreciar diferencias visuales en la expansión de las tres formulaciones.

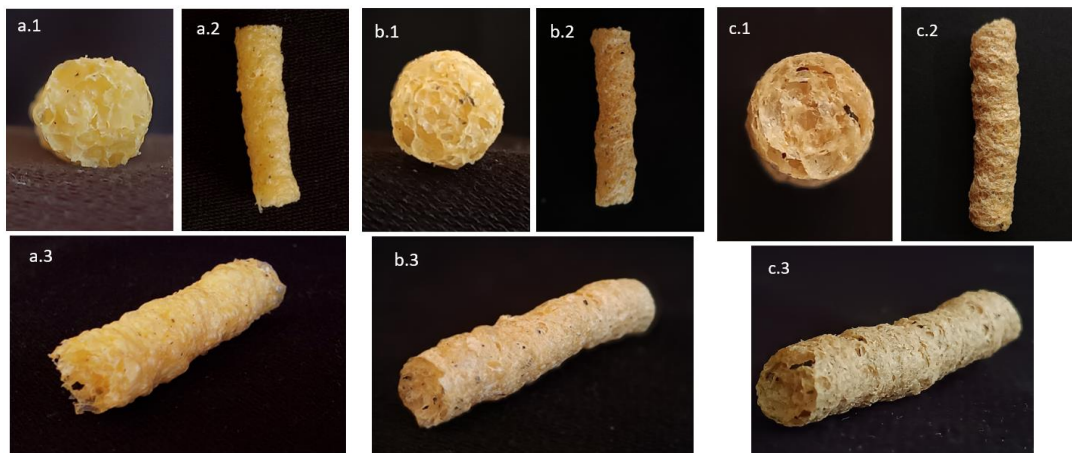


Figura 4. Tres formulaciones de snacks extruidos.

Se observa el snack en un corte transversal (1), vista superior (2) y vista lateral (3) del snack para las tres formulaciones. Formulación I (a) Formulación II (b) Formulación (III)

En la Tabla 4, se presentan los resultados obtenidos en el análisis de textura, donde se recopilieron valores de dureza y crocancia. Se realizaron 10 mediciones para cada formulación, luego se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de $p < 0.05$, seguido por un análisis de Tukey para determinar la existencia de diferencias significativas. En cuanto a dureza y crocancia, no se observaron diferencias significativas entre las formulaciones II y III. Numéricamente, la formulación III exhibe la dureza más aceptable, mientras que la mejor crocancia se obtuvo con la formulación I.

Tabla 4
Dureza y crocancia de las muestras extruidas.

Tratamiento	Reemplazo	Dureza (gf)	Crocancia (mm)
I	15%	1874.5 ± 91.4^b	4.11 ± 2.32^b
II	30%	1135.8 ± 30.3^a	2.59 ± 0.26^a
III	50%	937.8 ± 36.4^a	1.90 ± 0.31^a

Elaboración propia

Nota: Letras iguales representan que no existen diferencias significativas entre las formulaciones.

Todas las formulaciones muestran una mayor dureza a la esperada, esto usualmente es atribuido al porcentaje de reemplazo, sin embargo, este no es el caso. El peso molecular bajo en los extruidos, así como, una mayor proporción de amilosa y amilopectina en el maíz pueden haber comprometido de viscosidad de la masa, así como la formación de más burbujas que ayudan en la expansión y textura suave de los snacks (Gomes, Berwian, Tiepo, & Colla, 2023).

El aumento de otros materiales al almidón causa una interacción entre la fibra y el almidón que resulta en productos menos expandidos y más densos que requieren una mayor fuerza para romper el extruido (Anton & Luciano, 2007).

Aussanasuwannakul et al., (2022) señala que la fibra tiene un efecto negativo en la extrusión debido a los cambios de las propiedades mecánicas y en el índice de expansión. **Valderrama-Amasifuen, Arteaga, Flores, Obregón, & Barraza-Jáuregui, (2021)** explica que esto se da principalmente por su capacidad de retención de agua en la matriz durante la cocción, reduciendo la generación de vapor. Las fibras inertes tienden a ser más rígidas en comparación a otras matrices con mayor almidón. Sin embargo, debido a que la materia prima fue sometida a un proceso de germinación con una disminución de la fibra insoluble, esto resulta en una mejora de la dureza del snack (**Díaz et al., 2017**).

Otros factores que pueden afectar la dureza en la extrusión, según **Hernández-Santos et al., (2021)** son la humedad y la temperatura de extrusión. En el proceso de extrusión el aumento de temperatura disminuye la viscosidad, lo que aumenta la presión de vapor, favoreciendo el crecimiento de burbujas que es la fuerza promotora para la expansión, ya que lleva a productos con una menor densidad y dureza (**Saeleaw, Dürrschmid, & Schleining, 2012**). **Anton & Luciano, (2007)** señala que al tener una menor humedad en la materia prima se presenta una menor resistencia mecánica y una mayor estructura de forma que el extruido presenta una menor dureza, por otro lado, con una mayor humedad el extruido presenta una mayor dureza.

En el estudio “Snacks extruidos de proteína de materiales de vegetales crudos” llevado a cabo por **Gomes, Berwian, Tiepo, & Colla, (2023)** se realizó una comparación entre un blanco cuya formulación consistió únicamente en maíz, la cual presentó una dureza entre 5-6 N, es decir 509-611 gf. Los resultados obtenidos en esta investigación indicaron que la formulación III logró una mejor dureza, seguida por la II, mientras que la formulación I mostró la peor dureza con diferencias significativas en comparación con las otras formulaciones (Tabla 4), lo cual indica que la incorporación de sémola de fréjol permitió obtener mejores valores de dureza.

Martin et al., (2022) resalta el efecto negativo de las proteínas en la extrusión. Esto debido a la reducción del tamaño de la célula, junto con un aumento del número de células que se atribuye a la capacidad espumante de las proteínas (**Aussanasuwannakul et al., 2022**). Por otro lado, el proceso de germinación disminuye esta propiedad (**Díaz et al., 2017**), de forma que los extruidos con sémola de fréjol germinado no tienen diferencias significativas hasta un 30%, a diferencia de lo reportado por **Aussanasuwannakul et al., (2022)** que en un reemplazo de 29% ya se encuentran diferencias significativas fuera de rango en la textura de los extruidos.

La dureza y crocancia están estrechamente relacionadas, debido a que la relación entre los tamaños de los poros y la ruptura de las bolsas de aire desempeñan un papel fundamental en la crocancia. Los snacks que son menos crujientes tienden a tener un menor tamaño de poros (**Paula & Conti-Silva, 2014**). En la Figura 4 se puede observar la diferencia en tamaño y cantidad de poros en las tres diferentes formulaciones, donde la formulación con un mayor tamaño de poros es la más crocante y viceversa (Tabla 4). Se observa, además, una estructura más compacta y bolsillos de aire más densos en aquellos extruidos con mayor cantidad de sémola, lo que puede resultar en una menor crocancia según las observaciones de **Aussanasuwannakul et al., (2022)**.

En la Figura 5, se presentan los resultados gráficos del análisis de textura. Se destaca la diferencia en la cantidad de picos entre formulaciones, siendo la formulación I la que muestra una mayor cantidad de picos en comparación con las otras dos muestras. Esto indica una mayor formación de burbujas en la formulación I, lo que contribuyó a una mejor crocancia en relación con las otras formulaciones.

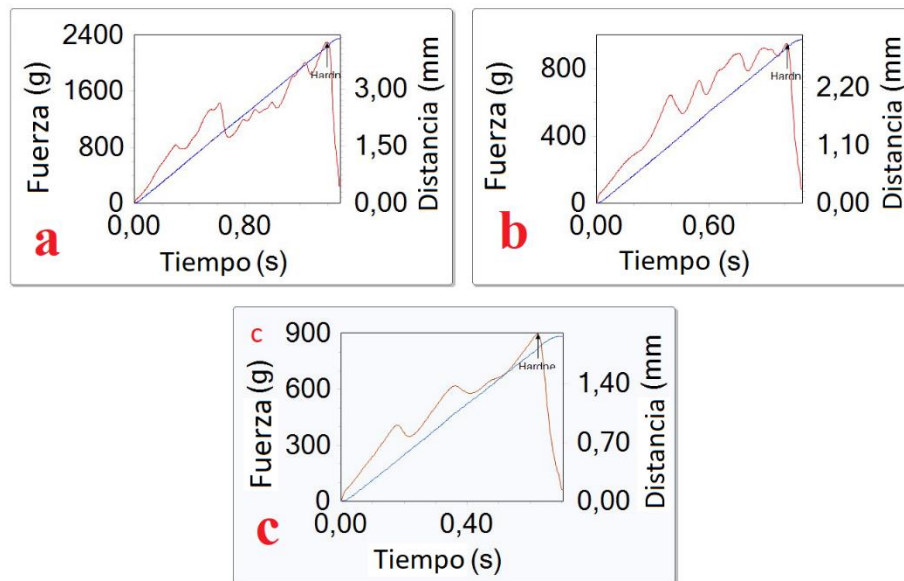


Figura 5. Textura de las tres formulaciones extruidas, a) Formulación I (15% sémola de fréjol) b) Formulación II (30% sémola de fréjol) c) Formulación III (50% sémola de fréjol). Curva roja, relación entre fuerza (gf) y tiempo (s). Recta azul, relación entre la distancia del émbolo (mm) y el tiempo (s)

El estudio de **Aussanasuwannakul et al., (2022)** expresa que la crocancia se evalúa considerando los picos de fractura para indicar la porosidad y fracturabilidad del extruido. Un extruido se considera crocante cuando es propenso a fracturarse bajo estrés, mostrando una tendencia a deformarse antes de la fractura. La crocancia está directamente relacionada con la expansión del producto, ya que a una mayor expansión se reduce el grosor de la capa de las moléculas de almidón que rodean las celdas de aire. En consecuencia, se requiere menos fuerza para romper la muestra, lo que afecta positivamente la crocancia (**Valderrama-Amasifuen et al., 2021**).

La crocancia es un factor importante en los snacks, ya que se suele relacionar con la calidad del producto. La crocancia puede ser alterada por la manipulación de las condiciones de extrusión como la humedad, condiciones de almacenamiento y actividad de agua (**Paula & Conti-Silva, 2014**).

Anton & Luciano, (2007) indican que la crocancia depende de las propiedades estructurales de los alimentos. La crocancia se percibe mediante una combinación de sensaciones táctiles, cinestésicas, visuales y auditivas. Así mismo, la crocancia está relacionada con la caída rápida de fuerza durante la masticación, atributo que se basa en la propagación de fracturas en materiales frágiles (**Anton & Luciano, 2007**).

En un estudio por **Gomes et al., (2023)** donde se realizaron reemplazos de 40% de soya y 7.5% de lenteja, se observó que aquellas formulaciones con menor contenido de maíz resultaban en una reducción de la crocancia. Las tasas de reemplazo altas contenían un menor contenido de almidón en las formulaciones y un aumento de proteína, lo cual afecta la expansión y textura. Sin embargo, la incorporación de estas sémolas de leguminosas puede aumentar la crocancia, debido al alto porcentaje de carbohidratos y los cambios generados por la germinación, haciendo que las formulaciones demuestren una crocancia aceptable.

Índice de expansión

En la Tabla 5 se presentan los resultados del índice de expansión para las tres formulaciones. Estos datos representan el promedio de diez mediciones, y se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de $p < 0.05$ para determinar si existían diferencias significativas entre las formulaciones. Posteriormente, se realizó una prueba de comparación de Tukey para identificar entre cuáles formulaciones existían diferencias significativas. Los valores obtenidos para el índice de expansión no mostraron diferencias significativas entre las formulaciones I y II, pero sí para la formulación III. Esto sugiere que la presencia de fréjol afectó el índice de expansión en esta formulación en particular.

Tabla 5

Valores de índice de expansibilidad de las muestras extruidas

Formulación	Expansibilidad
I	3.22 ± 0.003 ^a
II	3.04 ± 0.004 ^a
III	2.54 ± 0.007 ^b
Elaboración propia	

Nota. Las letras diferentes indican las diferencias significativas halladas en la prueba de Tukey.

Hernández-Santos et al., (2021) menciona que una humedad inicial de la materia prima alta lleva a un menor aporte de energía mecánica específica, lo que conduce a la menor transformación fisicoquímica del almidón ocasionando una menor expansión. Por lo tanto, una menor humedad y mayor temperatura favorecen la expansión de los extruidos, debido a los cambios estructurales de los biopolímeros, transiciones y transformaciones de fase que conducen a la formación de burbujas de aire dentro del almidón y conservándose luego de la salida del material del extrusor.

Otro factor que puede afectar negativamente la expansión son los azúcares, debido a que el contenido de azúcar causa una reducción en el crecimiento de las burbujas durante el proceso e incrementa el grado de contracción cuando salen del dado del extrusor (**Hernández-Santos et al., 2021**).

Las propiedades mecánicas de extrusión también tienen un impacto en la expansión de los extruidos. El aumento del índice de expansión con la temperatura de operación se atribuye al grado de gelatinización. Cuando la mezcla sale del dado el cambio brusco de presión causa que la humedad se evapore rápidamente, llevando a la formación de burbujas y la expansión del producto. Extruir a temperaturas altas, aumenta el grado de sobrecalentamiento del agua dentro del barril, facilitando así la formación de burbujas (**Hernández-Santos et al., 2021**).

Espinoza C., Roldan A., & Martínez O., (2021) menciona que el índice de expansión puede verse afectado por la velocidad de rotación de tornillo de manera directa, debido a que a una mayor velocidad de rotación se disminuye el tiempo de residencia, generando un menor grado de cocción. El tiempo de residencia también dependerá de las propiedades del material. La sémola de fréjol obtenida alteró estas propiedades en la masa de forma que permaneció un mayor tiempo en el barril donde obtuvo un sabor quemado, así como un menor índice de expansión. **Hernández-Santos et al., (2021)** explica que esto puede darse debido a que el producto produce una alta fricción dentro del cilindro, causando una mayor permanencia, aumentando la cocción del extruido y afectando el índice de expansión.

El índice de expansión superó las expectativas bibliográficas que mencionan una expansión de 1.4 a 4.0 ideal para snacks comerciales de maíz, el snack obtenido obtuvo valores altos en este rango. Usualmente los alimentos con un mayor contenido de proteína, fibra y grasa al del maíz obtienen un índice de expansión menor. Sin embargo, la sémola de leguminosa no afectó la expansión del producto de manera significativa, ya que aún se encuentra en parámetros aceptables (**Valderrama-Amasifuen et al., 2021**).

Valderrama-Amasifuen et al., (2021) realizó un producto similar con maíz morado, quinua y kiwicha, donde la expansión fue menor a la esperada, esto se lo atribuye al contenido de fibra y proteína. Lo que concuerda con lo expresado por **Hernández-Santos et al., (2021)**, la fibra afecta directamente el índice de expansión de extruidos debido a que su presencia rompe las paredes celulares y previene que las burbujas de gas se expanden a su potencial máximo, además de reducir la viscosidad de la masa en el extrusor. Sin embargo, también menciona que podrá ser afectado en diferente intensidad de acuerdo con el tipo de fibra.

Análisis Rápido de Viscosidad - RVA

La Tabla 6 presentan los resultados obtenidos tras el análisis de viscosidad de las tres formulaciones. No se observan diferencias significativas en los resultados obtenidos de las formulaciones II y III. El análisis de datos se llevó a cabo mediante un ANOVA ($p < 0.05$) y una prueba de comparación de Tukey. Las diferencias encontradas pueden atribuirse al reemplazo de fréjol, que generó disparidades en la composición nutricional, además de los tratamientos a los que fue sometido previo a su extrusión.

Tabla 6
Valores obtenido del RVA para las muestras extruidas

Formulación	Cold Peak Pico frío	Raw Peak Pico crudo	Hold Sostiene	Breakdown Descomposición
I	1980.5 ^a	1985.5 ^a	360.0 ^a	1625.5 ^a
II	1182.5 ^b	1184.5 ^b	262.5 ^b	922.0 ^b
III	952.0 ^b	946.5 ^b	252.5 ^b	694.0 ^b

Formulación	Final Visc Visc Final	Setback Retraso	Peak Time Tiempo pico	Cold Peak Area Area del pico frío
I	3305.0 ^a	2945.0 ^a	2.165 ^a	3620.5 ^a
II	2638.5 ^b	2376.0 ^b	2.170 ^a	2127.4 ^b
III	2215.5 ^c	1963.0 ^c	2.335 ^a	1734.2 ^b

Elaboración propia

Nota. Las letras diferentes indican las diferencias significativas halladas en la prueba de Tukey.

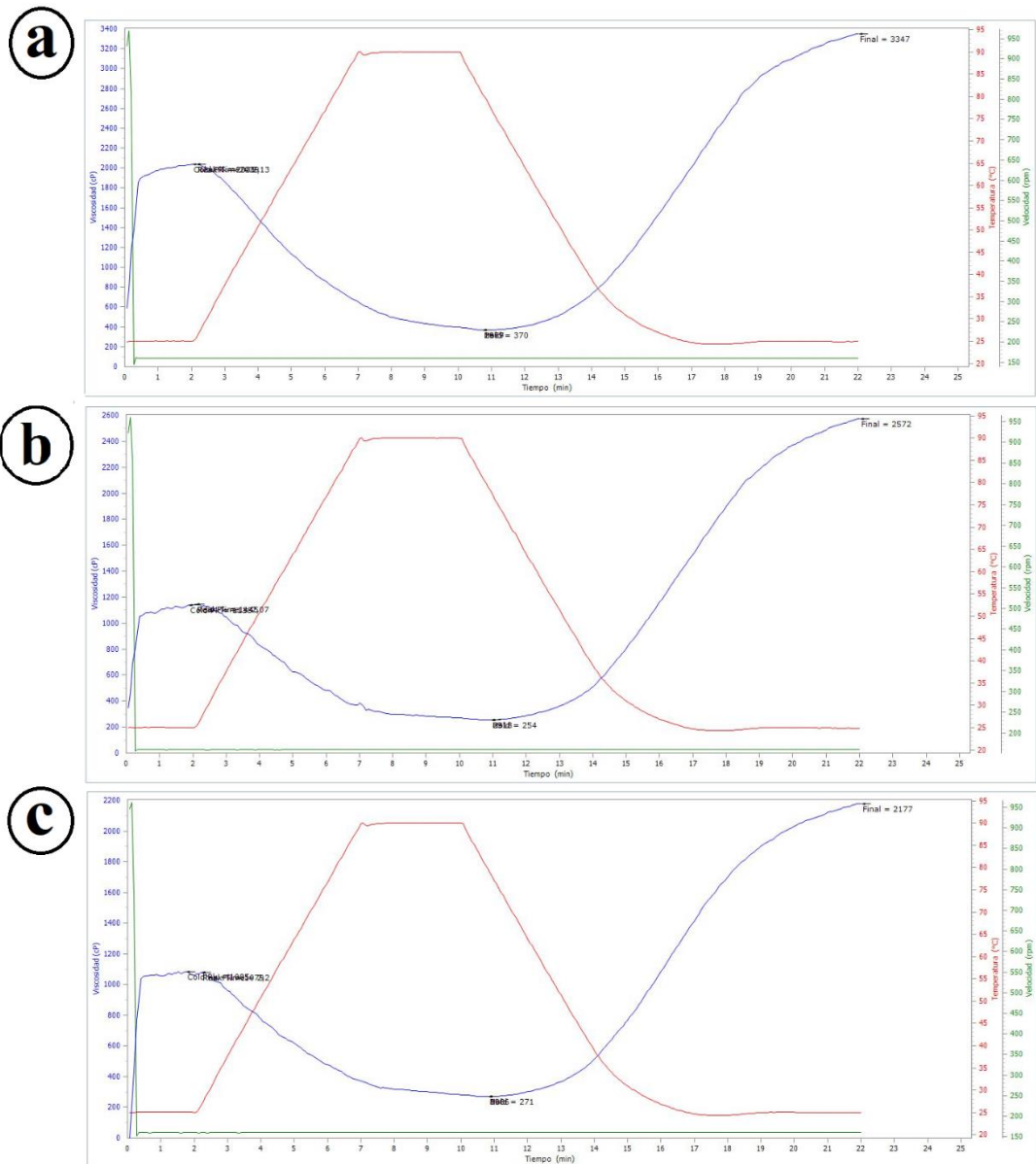


Figura 6. Curvas obtenidas de los extruidos.

a) Formulación I (15% sémola de fréjol) b) Formulación II (30% sémola de fréjol) c) Formulación III (50% sémola de fréjol). La curva azul es el cambio de viscosidad (cP) en base al tiempo (min), la recta roja es el cambio de temperatura (°C) en función al tiempo (min) que se mantuvo igual para cada tratamiento, la curva verde es la velocidad de rotación del émbolo (rpm) en función del tiempo (min).

La cocción de los almidones afecta la viscosidad obtenida, especialmente debido al grado de pregelatinización, lo que resulta en viscosidades más bajas. Este efecto se debe al remojo previo de los fréjoles, que absorben agua, contribuyendo a la gelatinización del almidón durante la cocción en la extrusión (**Bento et al., 2021**). Los extruidos con mayor proporción de maíz o polenta, cuyos granos no pasaron por un proceso de remojo, presentan viscosidades más elevadas. **Ozcan & Jackson, (2005)** señala que el proceso de extrusión disminuye significativamente los resultados de RVA, lo que se traduce en las lecturas de viscosidades bajas debido a la degradación molecular durante la extrusión.

No obstante, durante la cocción, el almidón del maíz, específicamente la harina de maíz precocida experimenta una pregelatinización, debido a su pre-cocción se hincha en agua fría, lo que muestra presencia de productos solubles a bajas temperaturas, como gránulos dañados, fragmentos de gránulos y quizá polímeros lixiviados (**Majzoubi & Farahnaky, 2010**).

Los valores bajos de viscosidad reflejan el grado de degradación de los almidones. Cuando únicamente existe una cocción del 50%, los valores de la viscosidad es máxima y desglose aumenta rápidamente, sugiriendo que los almidones extruidos afectan el comportamiento de la viscosidad de la mezcla hasta que los almidones crudos se gelatinicen totalmente (**Ozcan & Jackson, 2005**).

El breakdown es un rasgo característico de la susceptibilidad de los gránulos de almidón cocidos a desintegrarse durante la agitación y calentamiento continuo. Esto es una demostración de la estabilidad de la pasta durante la cocción. Las velocidades más altas de tornillos de extrusor aumentan significativamente el valor del “breakdown” (**Mitrus et al., 2020**).

El “setback” refleja el comportamiento de retrogradación de los geles de almidón. Un mayor “setback” indica una alta tendencia a retrogradación. Los fréjoles extruidos

suelen tener valores bajos de “setback”, debido a su procesamiento. El proceso de extrusión reduce la tendencia a retrogradar de la pasta de fréjol debido a la degradación de almidón que ocurre durante su proceso (Mitrus et al., 2020). Esto concuerda con los valores mencionados en la Tabla 6.

La viscosidad “setback” es mayor en los almidones menos degradados, este parámetro y la viscosidad caliente disminuyen según el grado de cocción. Las mezclas extremadamente cocinadas no presentan un pico crudo y la viscosidad únicamente disminuye en el enfriamiento (Van der Sman, Vollebregt, Meinders, & Beri, 2018). Por lo tanto, ninguno de los extruidos pasó por una cocción extrema, (Figura 6) ninguna de las curvas obtenidas presento una disminución de la viscosidad en el enfriamiento.

Valores bajos de breakdown y “setback” indican una mejor estabilidad de la pasta durante el proceso mecánico, lo que implica una menor tendencia a la retrogradación en el enfriamiento. Estas características las hacen adecuadas para varios sistemas alimenticios (Bento et al., 2021). Las formulaciones con mayor cantidad de fréjol muestran un menor valor de breakdown y setback, volviéndose las más adecuadas. Esto concuerda con lo notado por Mitrus et al., (2020) los fréjoles extruidos muestran características de viscosidad más estables durante la medición.

La viscosidad final y el “setback” aumentan directamente con el grado de cocción sugiriendo que el almidón crudo es el responsable del desarrollo de la viscosidad en el enfriamiento. Cuando el almidón extruido se mezcla con el almidón crudo los fragmentos de almidón crudo se dispersan rápidamente en el agua, cubriendo el exterior de los gránulos de almidón crudos y sobresaturando los poros en la superficie de los gránulos del almidón crudo (Ozcan & Jackson, 2005). En el enfriamiento, los almidones pueden reasociarse y causar el aumento de la viscosidad final. Las harinas pueden producir esta alta viscosidad final como resultado de la reasociación y cristalización de la amilosa (Majzoobi & Farahnaky, 2010).

Detectar los picos de viscosidad puede ser complicado en los perfiles del fréjol crudo y extruido. Este comportamiento puede ser debido al contenido básico de almidón y alto contenido de proteína en el fréjol comparado con materiales con mayor almidón. En el caso del fréjol los gránulos de almidón pueden estar rodeados por una matriz de proteína, que se relaciona a la hidratación limitada y la capacidad de hinchamiento de los gránulos de almidón (**Mitrus et al., 2020**).

Majzoobi & Farahnaky, (2010) de igual manera menciona que las propiedades de “adherido” resultantes de los cambios en el almidón durante la cocción, son una medida indirecta de la extensión de la conversión de los almidones. La baja viscosidad se observa en productos con sistemas de alto corte, la viscosidad cambia en base a la severidad de la extrusión. Es decir, los polímeros de los almidones se disocian, pero no sufren una gran pérdida de peso molecular en el proceso. Los resultados muestran que el aumento de fréjol causa que la viscosidad de los extruidos disminuya.

Los cambios en la viscosidad durante la etapa de calentamiento reflejan la capacidad del material, específicamente el almidón, para absorber agua e hincharse. El pico de viscosidad esta influenciado por varios factores, como el hinchamiento de los gránulos de almidón, el contenido de amilosa, la lixiviación del almidón, así como la presencia de otros componentes como proteína, lípidos y fibras (**Mitrus et al., 2020**).

Las viscosidades medidas siguieron una curva de cocción del 18%, según lo indicado por **Crosbie & Ross, (2007)**, debido a su cocción por extrusión a temperaturas de 140°C. No obstante, las viscosidades altas variaron en función del porcentaje de reemplazo de muestra. Se observa una relación inversa entre el reemplazo de fréjol y la viscosidad, en la cual una menor viscosidad refleja una dextrinización casi total del almidón del fréjol. Este fenómeno se atribuye a la cocción de la muestra, así como a la naturaleza de la sémola elaborada (**Van der Sman et al., 2018**).

Elección de la mejor formulación mediante los resultados obtenidos del análisis sensorial de aceptabilidad.

La Tabla 7 presenta los resultados del análisis sensorial, donde las muestras extruidas fueron evaluadas de manera significativa con una escala hedónica de 5 puntos, tomando en cuenta cinco atributos sensoriales. Cada atributo se analizó utilizando un diseño de bloques completos al azar con una diferencia significativa ($p < 0.05$). Los promedios para cada atributo sensorial de los extruidos se presentan en la Tabla 7. La Figura 7 ilustra estos resultados en un gráfico de telaraña, permitiendo una mejor observación de la similitud en aceptabilidad, sabor y aroma entre las tres formulaciones, así como las diferencias significativas en color y textura.

Tabla 7
Valores medios del análisis sensorial de las muestras extruidas.

Tratamiento	Aceptabilidad	Aroma	Color	Textura	Sabor
15%	3.80 ± 0.83^a	3.60 ± 0.58^a	4.40 ± 1.01^a	3.52 ± 1.01^b	3.52 ± 0.68^a
30%	3.72 ± 0.29^a	3.32 ± 0.56^a	3.44 ± 0.28^b	4.12 ± 0.28^a	3.48 ± 0.43^a
50%	3.36 ± 1.07^a	3.24 ± 0.27^a	3.00 ± 0.82^b	3.64 ± 0.82^{ab}	3.20 ± 1.0^a

Elaboración propia

Nota. Las letras diferentes indican las diferencias significativas halladas en la prueba de Tukey.

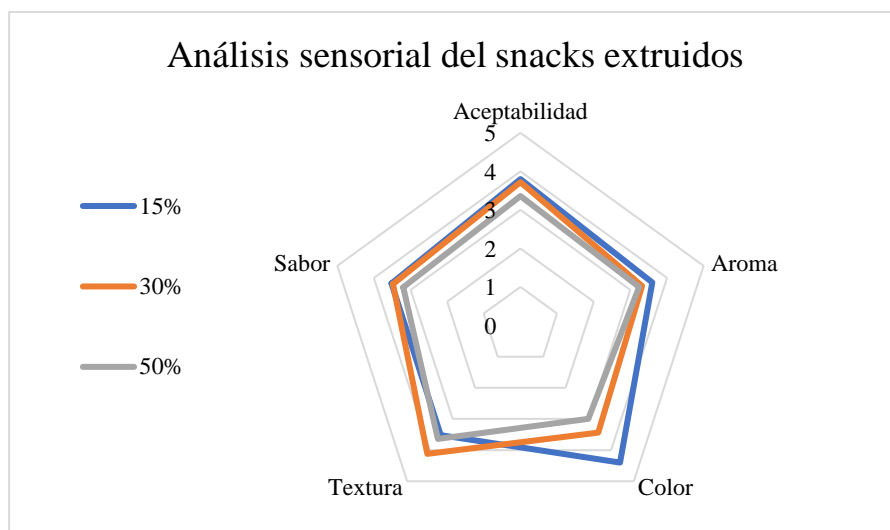


Figura 7. Promedios obtenidos del análisis sensorial en un gráfico de telaraña, la muestra que no existen diferencias significativas entre las muestras, en cuanto a la aceptabilidad

El aroma generalmente no es muy pronunciado en los snacks, sin embargo, el proceso de germinación puede generar compuestos aromáticos que podrían alterar este aspecto (Atudorei & Codină, 2020). No obstante, la extrusión eliminó gran parte del olor. Aunque no se encontraron diferencias significativas entre las tres formulaciones en cuanto al aroma, la tendencia general fue hacia un nivel de gusto neutro.

En relación al sabor, no se observaron diferencias significativas entre los tres tratamientos, aunque la formulación III numéricamente registró una menor aceptación. **Xu, Jin, Gu, Rao, & Chen, (2020)** señalan que el tiempo de germinación puede generar cambios no deseados en el perfil de sabor. Un mayor tiempo de germinación puede intensificar el sabor de la leguminosa, con la posibilidad que se desarrollen aromas indeseables. Además, se observa una disminución en la concentración de algunos compuestos con la prolongación del tiempo de germinación, lo que puede contribuir a la eliminación de los compuestos de sabor. El sabor predominante en los extruidos es un sabor astringente, atribuido a los compuestos fenólicos presentes en las muestras, parámetro que tiende a aumentar con el incremento en el reemplazo de fréjol (Atudorei & Codină, 2020; Xu et al., 2020).

La aceptabilidad de un snack está determinada por una combinación de todos los atributos sensoriales mencionados. En este estudio, las tres formulaciones no presentaron diferencias significativas. Es importante destacar que no se agregaron saborizantes ni potenciadores de aroma o sabor en este estudio. La consideración de añadir estos aditivos podría ser relevante para la comercialización a mayor escala, especialmente considerando que el mercado tiende a preferir olores familiares, como es el caso de los snacks con sabor a queso (**Menis-Henrique, Janzantti, Monteiro, & Conti-Silva, 2020**). Además, se observó por los catadores la ausencia de sal en los extruidos durante la evaluación sensorial.

El color es un factor significativo; especialmente al elegir fréjoles negros, que tienen un alto contenido de antocianinas responsables del color característico de su cáscara (**Mojica, Berhow, & Gonzalez de Mejia, 2017**). Se observó un impacto en el color de los snacks expandidos. Estos adquirieron tonalidades más oscuras con mayores niveles de reemplazo (Figura 4). Esto se atribuye a las antocianinas, que otorgan tonalidades azules, púrpuras y rojas a los granos. Sin embargo, el color pudo verse influenciado por la reacción de Maillard y la degradación de antocianinas y betalaínas durante el proceso de extrusión (**Martin et al., 2022**).

La formulación con menor sémola de fréjol muestra colores más claros, con tonos amarillos que resultan más familiares para los consumidores, lo que contribuye a su mayor aceptabilidad. Una alternativa para mejorar la aceptabilidad sin comprometer el valor nutricional del snack es recubrir el snack con algún aditivo que oculte los colores más oscuros o la adición de colorantes que no se vean afectados por las altas temperaturas durante el proceso de extrusión.

En cuanto a textura, se observa que la formulación II y III son aquellas con mayor aceptabilidad, sin diferencias significativas entre sí. Sin embargo, numéricamente la formulación II presenta un valor superior y muestra diferencias significativas con la

formulación I. Dado que, la textura es de los parámetros más significativos para la aceptabilidad de un snack, se seleccionó la formulación II, con un reemplazo del 30%, como la mejor formulación. En la evaluación de textura, los consumidores consideran aspectos como la dureza, la crocancia audible, la masticabilidad, entre otros, como más relevantes, debido a que se relacionan con la calidad y las propiedades fundamentales del alimento (Philipp, Buckow, Silcock, & Oey, 2017).

Valor nutricional de la formulación II con un 30% de sémola de fréjol.

La Tabla 8 presenta los datos obtenidos de los análisis proximales de la formulación II. Se destaca el alto valor de proteína y fibra dietética, además del bajo contenido de grasa del snack, lo que lo convierte en una alternativa más saludable en comparación con snacks similares ofrecidos actualmente. Esto se observa de manera gráfica en la figura 8.

Tabla 8

Análisis proximal de la mejor formulación

Nutriente	Porcentaje (%)
Carbohidratos	67.38
Proteína	12.24
Fibra dietética	9.29
Grasa	1.54
Humedad	8.21
Cenizas	1.55

Elaboración propia

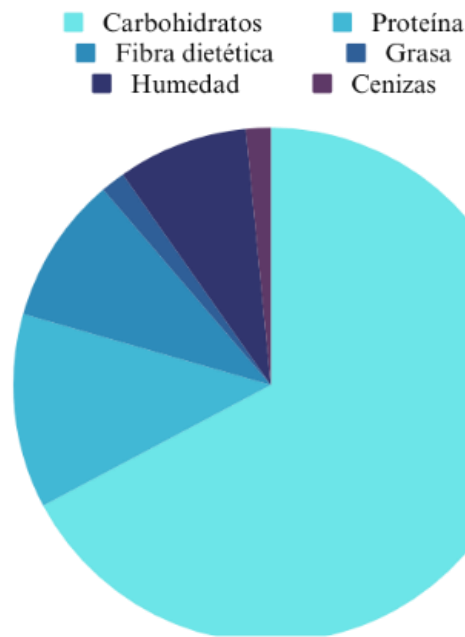


Figura 8. Análisis proximal obtenido de la formulación II

Espinoza C. et al., (2021) señala que la humedad en extruidos se utiliza como indicador de deterioro, debido a su aumento a lo largo del tiempo. Los snacks extruidos muestran una tendencia al incremento de la humedad, especialmente en condiciones de almacenamiento a diferentes temperaturas. A temperaturas más altas, la humedad tiende a aumentar en mayor proporción, ya que las moléculas de vapor se mueven más rápidamente, lo que resulta en una mayor permeación y, por ende, en una mayor ganancia de agua.

A pesar de que la normativa **INEN 2 561, (2010)** exige una humedad inferior al 5% en los snacks, se encontró una humedad de 8.2%. Esta variación se atribuye a la humedad inicial de la materia prima, que fue del 14%, aunque la temperatura de extrusión fue elevada, no alcanzó el 5% requerido. Por lo cual, se podría considerar la adición de un proceso térmico para reducir la humedad, mejorando así la vida útil del producto y su textura.

La germinación tiene un efecto positivo en los minerales, como a un aumento en hierro, zinc y calcio. Sin embargo, el efecto térmico durante la extrusión puede tener un impacto negativo, al degradar estos minerales. La magnitud de este impacto está relacionada con la estructura y composición química, además de otras variables ambientales (Alam & Aslam, 2021; Atudorei & Codină, 2020).

En la Tabla 9 se observa la comparación nutricional del snack con fréjol germinado en relación con dos marcas comerciales. Los valores obtenidos de las marcas comerciales se tomaron según lo reportado por estas marcas en sus etiquetas.

Tabla 9
Comparación valor nutricional snack con fréjol germinado y marcas comerciales

Nutriente	Formulación II	Marca Comercial	
		I	II
Carbohidratos	67.38	70	66.67
Proteína	12.24	6.67	<6.67
Fibra dietética	9.29	0	0
Grasa	1.54	20	26.67

Elaboración propia

Los carbohidratos constituyen el principal macronutriente en los extruidos. Dado que la calidad y aceptabilidad de estos depende de su expansión y esta se encuentra vinculada al contenido de almidón en la materia prima, se espera un alto contenido de carbohidratos. Las personas no pueden digerir almidón no gelatinizados de forma fácil, de manera que la extrusión aumenta la digestibilidad del almidón mediante la gelatinización parcial y la fragmentación del mismo, causadas por el efecto de cizallamiento mecánico del extrusor en los gránulos de almidón. Los snacks pueden considerarse altos en contenido glucémico (Brennan, Derbyshire, Tiwari, & Brennan, 2013). El porcentaje de carbohidratos es similar a otros productos de la misma naturaleza encontrados en el mercado actual (Figura 9).

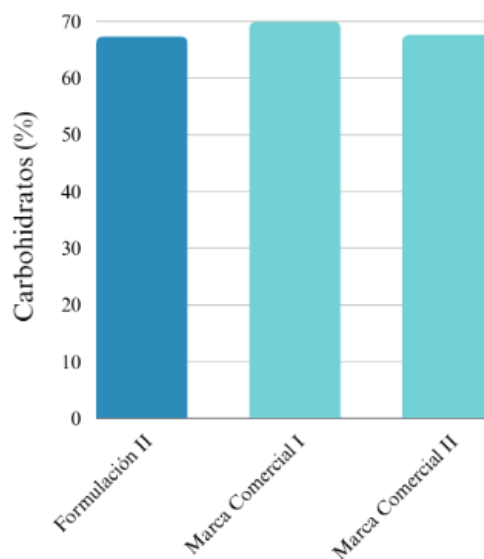


Figura 9. Comparación de carbohidratos con marcas comerciales

Atudorei & Codinã, (2020) señala que la germinación aumenta en contenido de aminoácidos libres, de esta forma contribuye al mejoramiento de las propiedades nutricionales de las semillas y sus productos. Por otro lado **Alam & Aslam, (2021)** mencionan que en la extrusión se produce una desnaturalización de las proteínas, así como una pérdida de proteínas por reacciones Maillard. Por lo tanto, no se aprovechan todos los beneficios de la germinación.

La proteína en los snacks expandidos tiende a ser baja en marcas comercializadas en Ecuador, pues contienen un 6% de proteína o menos (Figura 10). Estos valores no suelen aumentar significativamente en los extruidos, debido al efecto de la proteína en la expansión y textura- Sin embargo, la adición de sémola de fréjol germinado duplicó este valor (**Brennan et al., 2013**).

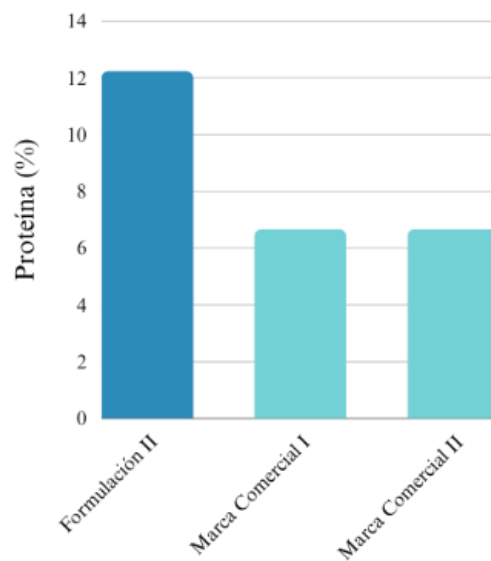


Figura 10. Comparación de proteína con marcas comerciales

El snack elaborado presenta un contenido de grasa de 1.54%, resultado de la ausencia de grasas adicionales aparte de las presentes en la materia prima. La polenta, la harina de maíz precocida y el fréjol, componentes principales, tienen un promedio combinado de grasa inferior al 6%. Este valor pudo reducirse en la extrusión debido a la oxidación de grasas, sin embargo, esta variación puede depender de la velocidad de tornillo del extrusor (Alam & Aslam, 2021). Atudorei & Codinã, (2020) mencionan que, durante la germinación, se produce una reducción de grasa por su uso como aporte energético para el proceso de germinación.

El contenido de grasa en los extruidos estudiados es mucho menor al reportado por otras marcas, esto podría atribuirse a los procesos térmicos posteriores como la fritura. Dado que la grasa limita la expansión de los extruidos, no se puede agregar durante el proceso de extrusión, de forma que debe incorporarse en algún proceso térmico posterior. Es común que los snacks disponibles en el mercado contengan hasta un 30% de grasa (Figura 11).

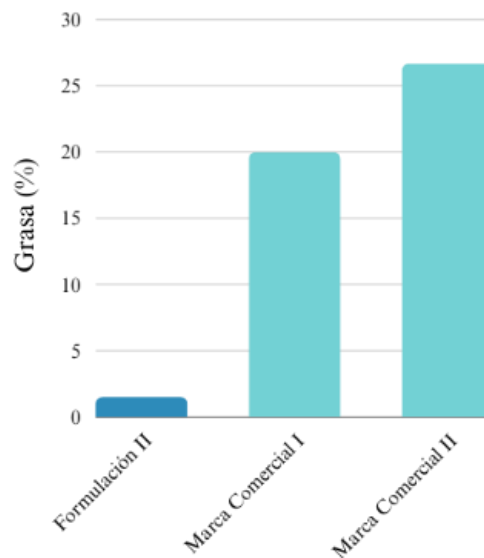


Figura 11. Comparación de grasa con marcas comerciales

En la germinación, según **Atudorei & Codină, (2020)**, se observa un aumento de la fibra dietética. No obstante, es importante destacar que este parámetro puede estar influenciado por las condiciones específicas de germinación. Además, el impacto del proceso de la extrusión en la fibra dietética puede variar según diversas variables del proceso, como la temperatura de barril, la velocidad del tornillo, la humedad de alimentación, entre otras (**Alam & Aslam, 2021**).

La fibra dietética del extruido es alta en comparación a varios alimentos de la misma naturaleza. De acuerdo con la **FAO & OMS, (2004)** se puede denominar alto en fibra debido a que contiene más del 6% de fibra dietética. Esta afirmación se sostiene considerando el contenido de fibra mencionado por **Serrano & Goñi, (2004)**, donde el frejol cocido negro contiene un 27% de fibra dietética, por lo tanto, la disminución se da principalmente a que la materia principal fue el maíz (Figura 12).

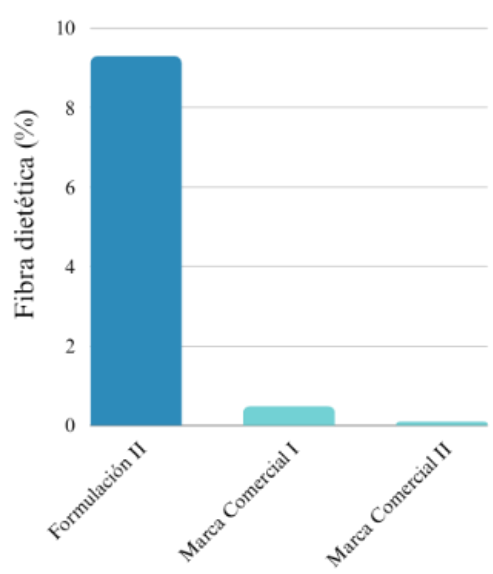


Figura 12. Comparación de fibra dietética con marcas comerciales

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La incorporación de la sémola de fréjol germinado afectó de manera significativa las tres formulaciones evaluadas. Se observó un aumento en la dureza del producto, acompañada de una mejora en la crocancia y el índice de expansión, sin embargo, estos cambios se mantuvieron dentro de rangos aceptables que no comprometieron la calidad del producto. Además, se registró una reducción en la viscosidad de la masa, atribuible al grado de cocción del extruido.
- La sémola de fréjol no influyó significativamente en la aceptabilidad sensorial, incluyendo aspectos como la aceptabilidad, el olor y el sabor. Sin embargo, se observaron impactos notables en el color y la textura, siendo el color principalmente causado por la materia prima utilizada.
- El valor nutricional del snack experimentó mejoras significativas con la adición del 30% de sémola de fréjol germinado, destacando un alto contenido de fibra dietética y proteína, así como un bajo contenido de grasa.

4.2 Recomendaciones

- Hacer un análisis previo de la sémola de fréjol germinado, tomando en cuenta el valor nutricional, propiedades de viscosidad, digestibilidad de los nutrientes, propiedades mecánicas, entre otros.
- Expandir en los análisis realizados en los extruidos, añadiendo, densidad aparente, actividad de agua, retención de agua y colorimetría.
- Realizar extruidos con un mayor reemplazo de sémola de fréjol negro germinado.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

Referencias Bibliográficas

- Alam, M. S., & Aslam, R. (2021). Extrusion for the Production of Functional Foods and Ingredients. In *Innovative Food Processing Technologies* (pp. 22–35). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.23041-2>
- Anton, M., & Luciano, A. A. ; (2007). Instrumental texture evaluation of extruded snack foods: a review. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5(4), 245–251. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72440501>
- Anzaldúa, A. (2019). *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica*. Editorial ACRIBIA, S.A.
- AOAC 985.29. (2019). *Total dietary fiber in foods. Enzymatic*.
- AOAC 2003.06. (2003). *Official Method 2003.06. Crude Fat, Hexanes Extraction, in Feed, Cereal Grain, and Forage*.
- Atudorei, D., & Codină, G. G. (2020). Perspectives on the Use of Germinated Legumes in the Bread Making Process, A Review. *Applied Sciences*, 10(18), 6244. <https://doi.org/10.3390/app10186244>
- Aussanasuwannakul, A., Teangpook, C., Treesuwan, W., Puntaburt, K., & Butsuwan, P. (2022). Effect of the Addition of Soybean Residue (Okara) on the Physicochemical, Tribological, Instrumental, and Sensory Texture Properties of Extruded Snacks. *Foods*, 11(19), 2967. <https://doi.org/10.3390/foods11192967>
- Bao, J., & Bergman, C. J. (2018). Rice Flour and Starch Functionality. In *Starch in Food* (pp. 373–419). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100868-3.00010-X>
- Baquerizo, M. (2021). *Efecto del proceso de germinado, extrusión y cocción en húmedo sobre el valor nutricional de la semilla de linaza (Linum usitatissimum L) cultivada en la provincia de Huancayo - Junín*.
- Bento, J. A. C., Bassinello, P. Z., Carvalho, R. N., Souza Neto, M. A. de, Caliari, M., & Soares Júnior, M. S. (2021). Functional and pasting properties of colorful bean

- (Phaseolus vulgaris L) flours: Influence of the cooking method. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(11). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15899>
- Bouvier, J.-Marie., & Campanella, O. H. (2014). *Extrusion Processing Technology : Food and Non-Food Biomaterials*. Wiley.
- Bravo, M., Reyna, J., Gómez, P., & Huapaya, H. (2013a). Estudio químico y nutricional de granos andinos de quinua (*Chenopodium Quinoa*) y Kiwicha (*Amarantus Caudatus*). *Rev. Per. Quím. Ing. Quím.*, 16(1), 54–60.
- Bravo, M., Reyna, J., Gómez, P., & Huapaya, M. (2013b). Estudio químico y nutricional de granos andinos germinados de quinua (*Chenopodium quinoa*) y kiwcha (*Amarantus Caudatus*). *Rev. Per. Quím. Ing. Quím.*, 16(1), 54–60.
- Brennan, M. A., Derbyshire, E., Tiwari, B. K., & Brennan, C. S. (2013). Ready-to-eat snack products: the role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International Journal of Food Science & Technology*, 48(5), 893–902. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12055>
- BROOKFIELD AMATEK. (2019). *CT3 Texture Analyzer*.
- Bueno, D. B., da Silva Júnior, S. I., Seriani Chiarotto, A. B., Cardoso, T. M., Neto, J. A., Lopes dos Reis, G. C., ... Tavano, O. L. (2020). The germination of soybeans increases the water-soluble components and could generate innovations in soy-based foods. *LWT*, 117, 108599. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108599>
- Carvajal, J. (2012). *Estudio de mercado y plan de marketing para determinar la factibilidad de comercialización de un producto que contenga papitas fritas, chifles y tocinetas, en la ciudad de Quito*. (Disertación de Grado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador., Quito.
- Crosbie, G., & Ross, A. (2007). *The RVA Handbook*. AACC International.
- Cruz, M. (2017). *Applications of the Quinoa Sprouted Seed (Chenopodium quinoa Willd) in the Nutritional Improvement of Food Preparations*.
- Davila, M., Sangronis, E., & Granito, M. (2003). Leguminosas germinadas o fermentadas: alimentos o ingredientes de alimentos funcionales. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 53(4), 348–354.

- De Ron, A. M., & Santalla, M. (2013). *Phaseolus vulgaris* (Beans). In *Brenner's Encyclopedia of Genetics: Second Edition* (pp. 290–292). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374984-0.01145-1>
- Delgado, E., Alvarado, Ó., Medrano, H., Rodríguez, J., Carrete, F., & Reyes, D. (2020). Efecto de la temperatura de extrusión, humedad y contenido del aceite de girasol sobre las propiedades funcionales y digestibilidad de alimentos para ganado bovino. *Abanico Veterinario*, *10*, 1–10.
- Díaz, M. F., Martín-Cabrejas, M. Á., Martínez, M., Savón, L. L., Aguilera, Y., Benítez, V., ... Herrera, Y. H. (2017). A temporary legume sprouts: An alternative for animal feeding 1 Germinados de leguminosas temporales: Una alternativa para la alimentación animal Award of the Ministry of Science, Technology and Environment of Cuba. *Cuban Journal of Agricultural Science*, *51*(3), 381–390.
- Ek, P., & Ganjyal, G. M. (2020). Basics of extrusion processing. In *Extrusion Cooking* (pp. 1–28). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815360-4.00001-8>
- Emily Ng, H. M., Xu, J., Liu, Q., & Rangan, A. (2022). Changes in Package Sizes of Savoury Snacks through Exploration of Euromonitor and Industry Perspectives. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(15). <https://doi.org/10.3390/ijerph19159359>
- Espinosa, J. (2018). *Análisis Sensorial*. Editorial Universitaria Félix Varela.
- Espinoza C., K., Roldan A., D., & Martínez O., N. (2021). Elaboración de snack extruido a partir de cereales y concentrado de proteína de pota (*Dosidicus gigas*) y determinación de su vida útil. *Anales Científicos*, *82*(1), 180. <https://doi.org/10.21704/ac.v82i1.1755>
- Espinoza, F. (2017). La estabilidad en el cultivo de fréjol.
- FAO, & OMS. (2004). Comité del Codex sobre nutrición y alimentos para regimenes especiales. *Programa Conjunto FAO/OMA Sobre Normas Alimentarias*, 1–3.
- Fellows, P. J. (2017). Extrusion cooking. In *Food Processing Technology* (pp. 753–780). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100522-4.00017-1>

- Gepts, P. (2001). *Phaseolus vulgaris* (Beans). In *Encyclopedia of Genetics* (pp. 1444–1445). Elsevier. <https://doi.org/10.1006/rwgn.2001.1749>
- 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>
- Guamán, R. N., Desiderio, T. X., Villavicencio, Á. F., Ulloa, S. M., & Romero, E. J. (2020). Adaptabilidad de cuatro variedades de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la parroquia Luz de América - Ecuador. *Siembra*, *7*(1), 001–011. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1908>
- Guerra, M., Granito, M., Paolini, M., & Olaizola, C. (2008). Uso de la leguminosa (*Vigna sinensis*) como complemento del pollo en una fórmula infantil. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, *58*(3), 292–297.
- Guy, R. (2001). Snack foods. In *Extrusion Cooking* (pp. 161–181). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781855736313.2.161>
- Hernández-Santos, B., Juárez-Barrientos, J. M., Torruco-Uco, J. G., Ramírez-Figueroa, E., Ramírez-Rivera, E. de J., A Bautista-Viazcan, V. O., & Rodríguez Miranda, J. (2021). Physicochemical properties of extruded ready-to-eat snack from unripe plantain blends, pineapple by-products and stevia. *Nova Scientia*, *13*(27). <https://doi.org/10.21640/ns.v13i27.2842>
- Herrera, J., Alizaga, R., Guevara, E., & Jiménez, V. (2006). *Germinación y Crecimiento de la Planta* (E. Villalobos, Ed.). San Jose, Costa Rica: Editorial Universidad de Costa Rica.
- Hinojosa, K., & Vinuesa, E. (2014). *Factibilidad de una microempresa de producción artesanal de snacks en el marco de una economía justa y solidaria el caso de los agricultores de la parroquia rural Urbina* (Tesis de pregrado). Universidad Internacional del Ecuador, Quito.
- Huaraca, R., Kari, A., Tapia, F., & Alvarez, C. (2021). Contenido mineral y proteína en germinados de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). *Revista Alfa*, *5*(15), 516–522. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i15.134>

- INEN 1 513. (1987). *Granos y Cereales. Maiz. Determinación del contenido de humedad.*
- INEN 1 557. (1987). *Granos y Cereales. Ensayo de Germinación.*
- INEN 2 561. (2010). *Bocaditos de Productos Vegetales. Requisitos.*
- INEN 520. (2013). *Harinas de origen vegetal. Determinación de la ceniza.*
- Ismaili, S. E., Maurady, A., Lachkar, M., Britel, M. R., & Bakali, A. H. (2023). Effect of temperature and different pre-treatments on seed germination of *Stachys mouretii* Batt. & Pit. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 32, 100438. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2022.100438>
- Jiménez, M., & Manosalvas, A. (2015). Consumo de snacks nutritivos en la ciudad de Quito. *Universidad Técnica Del Norte*, 364(3), 1--.
- Kartikeyan, A., Vasudevan, V., Peter, A. J., Krishnan, N., Velmurugan, D., Velusamy, P., ... Raman, P. (2022). Effect of incubation period on the glycosylated protein content in germinated and ungerminated seeds of mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *International Journal of Biological Macromolecules*, 217, 633–651. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.07.036>
- Kristiawan, R. B., Imaduddin, F., Ariawan, D., Ubaidillah, & Arifin, Z. (2021). A review on the fused deposition modeling (FDM) 3D printing: Filament processing, materials, and printing parameters. *Open Engineering*, 11(1), 639–649. <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0063>
- Lanza, J. G., Churión, P. C., & Gómez, N. (2016). Comparación entre el método Kjeldahl tradicional y el método Dumas automatizado (N cube) para la determinación de proteínas en distintas clases de alimentos. *Saber*, 28(2), 245–249.
- Majzoobi, M., & Farahnaky, A. (2010). Comparison of the Effects of Extrusion Cooking on Some Cereal Starches. *International Journal of Food Engineering*, 6(3). <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1456>

- Manley, D. (2011). Meals, grits, flours and starches (other than wheat). In *Manley's Technology of Biscuits, Crackers and Cookies* (pp. 134–142). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857093646.2.134>
- Martin, A., Schmidt, V., Osen, R., Bez, J., Ortner, E., & Mittermaier, S. (2022). Texture, sensory properties and functionality of extruded snacks from pulses and pseudocereal proteins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *102*(12), 5011–5021. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11041>
- Menis-Henrique, M. E. C., Janzantti, N. S., Monteiro, M., & Conti-Silva, A. C. (2020). Physical and sensory characteristics of cheese-flavored expanded snacks obtained using butyric acid and cysteine as aroma precursors: Effects of extrusion temperature and sunflower oil content. *LWT*, *122*, 109001. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.109001>
- Mitrus, M., Wójtowicz, A., Kocira, S., Kasprzycka, A., Szparaga, A., Oniszczyk, T., ... Matwijczuk, A. (2020). Effect of extrusion-cooking conditions on the pasting properties of extruded white and red bean seeds. *International Agrophysics*, *34*(1), 25–32. <https://doi.org/10.31545/intagr/116388>
- Mojica, L., Berhow, M., & Gonzalez de Mejia, E. (2017). Black bean anthocyanin-rich extracts as food colorants: Physicochemical stability and antidiabetes potential. *Food Chemistry*, *229*, 628–639. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.124>
- Morales, M., Peña, C., García, A., Aguilar, G., & Kohashi, J. (2017). Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, domesticado y su progenie. *Agrociencia*, *51*(1), 43–62. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000100043&lng=es&tlng=es.
- Nonogaki, M., & Nonogaki, H. (2017). Germination. In *Encyclopedia of Applied Plant Sciences* (pp. 509–512). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394807-6.00201-X>
- Núñez, M., & Navarro, C. (2013). *Guía Completa de Aditivos Alimentarios*. RBA Libros.

- Ohanenye, I. C., Tsopmo, A., Ejike, C. E. C. C., & Udenigwe, C. C. (2020). Germination as a bioprocess for enhancing the quality and nutritional prospects of legume proteins. *Trends in Food Science & Technology*, *101*, 213–222. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.003>
- Ozcan, S., & Jackson, D. S. (2005). Functionality behavior of raw and extruded corn starch mixtures. *Cereal Chemistry*, *82*(2), 223–227. <https://doi.org/10.1094/CC-82-0223>
- Paula, A. M., & Conti-Silva, A. C. (2014). Texture profile and correlation between sensory and instrumental analyses on extruded snacks. *Journal of Food Engineering*, *121*, 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.007>
- Phan, U. T. X. (2019). Meal and snack: Two different contexts for foods and drinks. In *Context* (pp. 169–189). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814495-4.00008-8>
- Philipp, C., Buckow, R., Silcock, P., & Oey, I. (2017). Instrumental and sensory properties of pea protein-fortified extruded rice snacks. *Food Research International*, *102*, 658–665. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.048>
- Richards, A. T. (2018). Food and Nutritional Analysis—Meat and Meat Products. In *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.14511-1>
- Saeleaw, M., Dürschmid, K., & Schleining, G. (2012). The effect of extrusion conditions on mechanical-sound and sensory evaluation of rye expanded snack. *Journal of Food Engineering*, *110*(4), 532–540. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.002>
- Saltmarsh, M. (2003). *Essential Guide to Food Additives*. The Royal Society of Chemistry.
- Santos, E., Marques, G., & Lino-Neto, T. (2020). Phaseolus vulgaris L. as a functional food for aging protection. In *Aging* (pp. 289–295). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818698-5.00029-8>

- Sathe, S. K., & Venkatachalam, M. (2004). Beans. In *Encyclopedia of Grain Science* (pp. 76–86). CAB International. <https://doi.org/10.1016/b0-12-765490-9/00016-1>
- Serna-Saldivar, S. O. (2012). *Cereal Grains : Laboratory Reference and Procedures Manual*. Bosa Roca, UNITED STATES: Taylor & Francis Group. Retrieved from <http://ebookcentral.proquest.com/lib/uta-ebooks/detail.action?docID=1449130>
- Serna-Saldivar, S. O., & Perez Carrillo, E. (2019). Food Uses of Whole Corn and Dry-Milled Fractions. In *Corn* (pp. 435–467). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00016-4>
- Serrano, J., & Goñi, I. (2004). Papel del frijol negro *Phaseolus vulgaris* en el estado nutricional de la población guatemalteca. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(1), 36–44. Retrieved from http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Singh, B., Sharma, C., & Sharma, S. (2017). Fundamentals of extrusion processing. In V. Nanda & S. Sharma (Eds.), *Novel Food Processing Technologies*. New Delhi: New India Publishing Agency.
- Smith, J., & Hong-Shum, L. (2003). *Food Additives Data Book*. Blackwell Publishing.
- Solís, M. (2018). *Extracción y microencapsulación de aceite de linaza (Linum Usitatissimum) para la adición en una matriz alimenticia* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato.
- Torres, E., Quisphe, D., Sánchez, A., Reyes, M., González, B., Torres, A., ... Haro, A. (2013). Caracterización de la producción de frijol en la provincia de Cotopaxi Ecuador: Caso Comuna Panyatug. *Ciencia y Tecnología*, 6(1), 23–31.
- Tovar-Hernández, C., Perafán-Gil, E., Enríquez-Collacos, M., Pismag-Portilla, Y., & Ceron-Fernandez, L. (2017). Evaluación del efecto del proceso de extrusión en harina de quinua (*chenopodium quinoa willd*) normal y germinada. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(2), 30–38. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(15\)30-38](https://doi.org/10.18684/bsaa(15)30-38)

- Valderrama-Amasifuen, F., Arteaga, H., Flores, A., Obregón, J., & Barraza-Jáuregui, G. (2021). Snacks based on purple corn, quinoa and kiwicha. Physical and sensory characteristics. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2021-July*. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.569>
- Van der Sman, R. G. M., Vollebregt, H. M., Meinders, M. B. J., & Beri, A. (2018). Effects of filler ingredients on the structure and texture of starchy, extruded snacks. *Food Structure*, 18, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2018.10.001>
- Vandenbossche, V., Candy, L., Evon, P., Rouilly, A., & Pontalier, P.-Y. (2019). Extrusion. In *Green Food Processing Techniques* (pp. 289–314). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815353-6.00010-0>
- VMABCC-Biodiversity. (2009). *Red Book Crop Wild Relatives Bolivia*. Plural editores.
- Xu, M., Jin, Z., Gu, Z., Rao, J., & Chen, B. (2020). Changes in odor characteristics of pulse protein isolates from germinated chickpea, lentil, and yellow pea: Role of lipoxygenase and free radicals. *Food Chemistry*, 314, 126184. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126184>
- Yáñez, R., Quijano, J., Bucio, M., Hernández, M., Arreguín, J., & Narro, J. (2012). Efecto de la temperatura y humedad relativa en la germinación de esporangios de *Bremia lactucae* Regel. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(5), 1139–1045. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263123214015>

Anexos

Anexo 1. Elaboración de la sémola del fréjol germinado



Selección del fréjol negro



Reposo del fréjol en agua



Frejol germinado



Secado del fréjol germinado



Frejol negro seco



Molienda del frejol



Diferente granulometría tras tamizado

Anexo 2. Snacks obtenidos tras extrusión



Formulación I



Formulación II



Formulación III

Anexo 3. Análisis realizados a la mejor formulación



Medición de humedad
del extruido



Cenizas obtenidas del
extruido



Medición de grasa del
extruido

Anexo 4. Certificado de análisis de fibra dietética



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
LABORATORIO DE CONTROL Y ANÁLISIS DE ALIMENTOS

01250

CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO

Certificado No: 23-251		R01-7.8.03				
Solicitud N°: 23-251		Pág.: 1 de 1				
Fecha recepción:	18 de diciembre de 2023	Fecha de ejecución de ensayos: 18 al 20 de diciembre de 2023				
Información del cliente:						
Empresa:	C.I./RUC: 1722901665					
Representante:	Salomen Sandoval					
Dirección:	Ambato	Email: lsandoval1665@uta.edu.ec				
Ciudad:	Ambato					
Descripción de las muestras:						
Producto:	cachitos con frejol	Peso: 10g				
Marca comercial:	n/a	Tipo de envase: funda plástica				
Lote:	n/a	No de muestras: una				
F. Elb.:	n/a	F. Exp.: n/a				
Conservación:	Ambiente: X Refrigeración: Congelación:	Almac. en Lab: 30 días				
Cierres seguridad:	Ninguno: X Intactos: Rotos:	Muestreo por el cliente: 18 de diciembre de 2023				
RESULTADOS OBTENIDOS						
Muestras	Código del laboratorio	Código cliente	Ensayos solicitados/Técnica	Métodos utilizados	Unidades	Resultados
Cachitos con frejol	25123486	Ninguno	Fibra dietética total, Gravimétrico-Enzimática	AOAC 985.29, Ed. 22, 2023	%	9,29
Conds. Ambientales: 22,7°C; 50,1%HR						
 Ing. Gilvays Risueño Directora de Calidad						
Autorización para transferencia electrónica de resultados: Si						
Fecha de emisión del certificado: 20 de diciembre de 2023						
Nota: La muestra fue suministrada por el cliente y los resultados se aplican a la muestra en las condiciones recibidas. El Laboratorio se responsabiliza exclusivamente de los resultados emitidos en base a la muestra entregada por el cliente. El Laboratorio no es responsable por el uso incorrecto de este certificado. No es un documento negociable. Sólo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente. "La información que se está enviando es confidencial, exclusivamente para su destinatario, y no puede ser vinculante. Si usted no es el destinatario de esta información recomendamos eliminarla inmediatamente. La distribución o copia del mismo está prohibida y será sancionada según el proceso legal pertinente".						



Dir.: Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi, Av. Los chasquis y Río Payamino
Edificio Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología / Ambato - Ecuador

(593) 3240987 ext. 5517; 5518 <http://laconal.uta.edu.ec> laconal@uta.edu.ec