

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Ciencias Naturales y Matemáticas

Definición de parámetros óptimos de producción para la elaboración de extruido a base de gritz de maíz nacional en un extrusor

INGE-2702

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Químico

Presentado por:

Thalía Sulay Chancay Rosel

Rogger Mauricio Vásquez Vera

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

A mi amada hija, Dulce Amelia, cuya sonrisa y alegría son mi mayor inspiración para superar cualquier desafío. Este proyecto es para ti, como un recordatorio de que los sueños se construyen con esfuerzo y dedicación.

A mi esposo, Leo Baggio, mi compañero de vida y el pilar que me sostiene en los momentos más difíciles. Gracias por tu amor, paciencia y apoyo incondicional que me han impulsado a alcanzar esta meta.

A ustedes, mi familia, dedico este logro con todo mi corazón.

Thalía Sulay Chancay Rosel

Dedicatoria

A mis padres, Vanessa Vera y Mauricio Vásconez, quienes, con su amor, sacrificio y enseñanzas, me han dado la fortaleza para poder seguir adelante todos estos años y ser mi fuente de inspiración para cumplir mis metas y ser la persona que soy.

A mi hermana Paola, por ser mi compañera de vida, con la que hemos compartido tantos momentos y etapas.

A mi Tía Shirley, mis abuelos Javier y Juana, y a toda la familia Vásconez Vera, quienes, con su apoyo incondicional, me han permitido terminar este capítulo de mi vida.

Rogger Mauricio Vásconez Vera

Agradecimientos

Primero, agradezco a Dios, por ser mi guía y fortaleza, brindándome la sabiduría y el valor para enfrentar los desafíos.

A mis padres, Soledad Rosel y Santos Chancay, quienes con su amor, sacrificio y enseñanzas me han mostrado la importancia del esfuerzo y la dedicación. Gracias por ser mi mayor ejemplo y apoyo incondicional.

Al MSc. Fabián Bermeo, mi tutor, por su paciencia, guía y valiosos aportes que fueron fundamentales para el desarrollo de este proyecto. También al Ing. Andrés Villa y a todo el equipo del Laboratorio de Soberanía Alimentaria, quienes con su conocimiento y apoyo hicieron posible la implementación de este trabajo.

A la ESPOL, por brindarme las herramientas y el espacio para crecer como profesional, y a mis amigos de la carrera, Mateo, Rogger, Jesús, Stephanie y José, por acompañarme en este camino con su amistad, motivación y compañerismo.

Thalía Sulay Chancay Rosel

Agradecimientos

A mis padres, Vanessa y Mauricio, y a toda mi familia por sus enseñanzas y valores inculcados que me definen y me impulsan a cumplir mis metas.

Al MSc. Fabián Bermeo, por darnos la confianza y por su guía para el desarrollo de este proyecto.

Al Ing. Diego Villa y al equipo del Laboratorio de Soberanía Alimentaria por su conocimiento y colaboración que hicieron posible la culminación de este trabajo.

A mis amigos Stephanie, Thalía, Jesús, Mateo y José, quienes me han acompañado durante toda la carrera y me han brindado su preciada amistad y momentos inolvidables.

A todas aquellas personas que me han acompañado y ayudado en este viaje de aprendizaje en mi vida personal y estudiantil

Rogger Mauricio Vásquez Vera

Declaración Expresa

Nosotros Thalía Chancay Rosel y Rogger Vásquez Vera acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 24 de enero del 2025.



Thalía Sulay Chancay Rosel



Rogger Mauricio Vásquez Vera

Evaluadores

María Verónica Ordoñez Pazmiño, MSc.

Profesor de Materia

Fabián Alexander Bermeo Figueroa, MSc.

Tutor de proyecto

Resumen

El presente proyecto optimiza el proceso de extrusión en el equipo del Laboratorio de Soberanía Alimentaria de ESPOL, enfocado en ajustar las variables de granulometría y humedad inicial del griz de maíz (*Zea mays* L.). El objetivo es garantizar la obtención eficiente de alimentos extruidos de alta calidad, contribuyendo al desarrollo agroalimentario ecuatoriano. Se plantea la hipótesis de que estos ajustes mejoran el flujo en el extrusor, evitan bloqueos y cumplen con la normativa NTE INEN 2561. Para ello, se utilizó un diseño factorial 2k con dos niveles de granulometría (<0.5 mm y >0.5 mm) y dos rangos de humedad inicial (10-15% y 16-20%). Se emplearon equipos como el extrusor y un secador de tambor, siguiendo normas técnicas para determinar el contenido de grasa y humedad. Los resultados muestran que la combinación de 0.6 mm y 19% de humedad inicial produjo un alimento extruido con textura crocante, expansión adecuada y cumplimiento de los estándares de calidad. El análisis económico confirmó la viabilidad del proceso, con un VAN positivo y un periodo de retorno inferior a cinco años. Se concluye que la propuesta es técnicamente viable, económicamente rentable y tiene el potencial de ser escalada a nivel industrial.

Palabras clave: Extrusión, granulometría, humedad inicial, análisis económico.

Abstract

*This project optimizes the extrusion process in the ESPOL Food Sovereignty Laboratory, focusing on adjusting the granulometry and initial moisture variables of maize grits (*Zea mays* L.). The objective is to ensure the efficient production of high-quality extruded foods, contributing to Ecuador's agri-food development. The hypothesis suggests that these adjustments improve the flow in the extruder, prevent blockages, and meet the NTE INEN 2561 standard. A 2k factorial design was implemented with two levels of granulometry (<0.5 mm and >0.5 mm) and two moisture ranges (10-15% and 16-20%). Equipment such as the extruder and a drum dryer were employed, following technical standards for fat and moisture determination. Results indicate that the combination of 0.6 mm and 19% initial moisture produced an extruded product with crunchy texture, proper expansion, and compliance with quality standards. The economic analysis confirmed the process's feasibility, with a positive NPV and a payback period of less than five years. It is concluded that the proposal is technically feasible, economically viable, and has the potential to scale to industrial levels.*

Keywords: *Extrusion, granulometry, initial moisture, economic analysis.*

Índice general

Evaluadores	7
Resumen	8
<i>Abstract</i>	9
Índice general	10
Abreviaturas	13
Simbología	14
Índice de figuras	15
Índice de tablas	15
Capítulo 1	16
1.1 Introducción.....	17
1.2 Descripción del Problema.....	17
1.3 Justificación del Problema.....	19
1.4 Objetivos.....	20
1.4.1 Objetivo general	20
1.4.2 Objetivos específicos.....	20
1.5 Marco teórico.....	20
1.5.1 Definición del proceso de extrusión.....	20
1.5.2 Principales variables de operación de la extrusión.....	22
1.5.2.1 Temperatura.....	22
1.5.2.2 Humedad.	22
1.5.2.3 Granulometría.....	22
1.5.2.4 Velocidad del tornillo.....	23
1.5.3 Extrusión de alimentos en la industria mundial y local	23
1.5.4 Requisitos de la Norma INEN 2561 para snacks de productos vegetales.....	24
Capítulo 2	26
2. Metodología.	27

2.1	Formulación de alternativas de solución	27
2.2	Diseño conceptual y metodología de diseño	28
2.3	Pruebas experimentales en el extrusor.....	29
2.3.1	Recolección de la materia prima	29
2.3.2	Ajuste de contenido de humedad inicial.....	30
2.3.3	Arranque del equipo	32
2.3.4	Condiciones de operación	33
2.3.5	Apagado del equipo y recolección de muestras	34
2.4	Análisis fisicoquímicos del producto	35
2.4.1	Contenido de humedad (Secado).....	35
2.4.2	Contenido de grasa (Extracción)	36
2.5	Análisis económico.....	37
Capítulo 3		38
3.	Resultados y análisis	39
3.1	Resultados obtenidos	39
3.2	Análisis de los resultados	40
3.2.1	Humedad final	40
3.2.2	Contenido graso.....	40
3.2.3	Aspecto y propiedades organolépticas	40
3.3	Discusión e interpretación de gráficos.....	41
3.4	Análisis de rentabilidad	45
3.5	Rendimiento del proceso	48
Capítulo 4		50
4.	Conclusiones y Recomendaciones	51
4.1	Conclusiones.....	51
4.2	Recomendaciones	52
Bibliografía.....		54

Apéndice A: Manual de Operación para prácticas de laboratorio.....	57
Apéndice B: Evidencias fotográficas de la experimentación.....	62
Apéndice C: Ficha técnica del gritz de maíz.....	65
Apéndice D: Análisis económico.....	67

Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
HTST	Altas Temperaturas Corto Tiempo
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
LOPU	Laboratorio de Operaciones Unitarias
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
PYMEs	Pequeñas y Medianas Empresas
VAN	Valor Actual Neto
TIR	Tasa Interna de Retorno
PBP	Tiempo de Retorno

Simbología

cm	Centímetro
ppb	Partes por billón
kg	Kilogramo
µg/kg	Microgramo por kilogramo
meq	Miliequivalentes
O ₂	Oxígeno
mm	milímetro

Índice de figuras

Figura 1. <i>Comparación de humedad en diferentes etapas del proceso</i>	41
Figura 2. <i>Relación entre Humedad Inicial y Porcentaje de Expansión</i>	42
Figura 3. <i>Porcentaje de expansión y textura</i>	42
Figura 4. <i>Contenido de grasa en el producto final</i>	44

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Requisitos bromatológicos para bocaditos de productos vegetales</i>	24
Tabla 2. <i>Combinaciones posibles de humedad inicial y granulometría para pruebas experimentales</i>	28
Tabla 3. <i>Requisitos fisicoquímicos para el gritz de maíz</i>	29
Tabla 4. <i>Humedad inicial ajustada para cada combinación</i>	31
Tabla 5. <i>Condiciones de operación constantes del extrusor</i>	34
Tabla 6. <i>Resultados obtenidos de las cuatro combinaciones</i>	39
Tabla 7. <i>Costos de los equipos y maquinaria necesaria para el proceso de extrusión</i>	46
Tabla 8. <i>Costos de producción</i>	46
Tabla 9. <i>Costos fijos</i>	47
Tabla 10. <i>Indicadores de rentabilidad del proyecto</i>	47
Tabla 11. <i>Flujo de caja efectivo</i>	48

CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

En la actualidad, la industria alimentaria enfrenta crecientes desafíos para satisfacer la demanda de productos saludables, nutritivos y convenientes, debido a la preocupación del consumidor por una alimentación equilibrada. Uno de los métodos más empleados para la producción de alimentos texturizados, como snacks y cereales, es la extrusión, que permite transformar materias primas, como el griz de maíz, en productos finales a través de procesos mecánicos y térmicos controlados. La extrusión, sin embargo, es un proceso complejo que requiere una precisión óptima en los parámetros operativos, como la granulometría de las materias primas y la humedad, para garantizar la eficiencia y calidad del producto.

En este contexto, el Laboratorio de Soberanía Alimentaria de ESPOL cuenta con un equipo extrusor que tiene el potencial de contribuir al desarrollo de productos alimenticios innovadores y de alto valor agregado. Sin embargo, se han presentado problemas en su operación debido a la falta de un procedimiento técnico adecuado que optimice las condiciones de extrusión. Esta investigación busca abordar esta problemática a través de la optimización de los parámetros operativos de la extrusora, centrándose en la granulometría del griz de maíz y humedad de la mezcla que entrará al extrusor.

El objetivo de este proyecto es mejorar la eficiencia y el desempeño del extrusor del laboratorio, así como desarrollar un manual de operación que permita su utilización en futuras investigaciones y proyectos con aplicaciones en la industria. Los resultados de este proyecto no solo beneficiarán a ESPOL en el ámbito académico, sino que también proporcionarán un modelo replicable para el sector alimentario de Ecuador, fomentando la transferencia de conocimiento y la colaboración con pequeñas y medianas empresas.

1.2 Descripción del Problema

El Laboratorio de Soberanía Alimentaria de ESPOL dispone de un extrusor de un solo tornillo marca MAPINPIANTI (Pavan S.A., Galliera Veneta (PD), Italia. modelo

Gelatinizzatoreg.55), con diámetro de tornillo de 5.57 cm y longitud de 110.7 cm. Cuenta con entradas de agua filtrada y entradas de aire comprimido que proviene del compresor del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOPU), manejado con un panel eléctrico de este laboratorio contiguo. Este equipo está diseñado para procesar alimentos como gritz de maíz, sin embargo, no ha alcanzado su máximo rendimiento debido a la ausencia de un procedimiento técnico detallado que permita operar bajo condiciones óptimas.

Los principales problemas incluyen obstrucciones en el tornillo de extrusión, resultado de una selección inadecuada de la granulometría del grano de maíz y de condiciones de humedad iniciales. lo que aumenta el riesgo de paradas no planificadas y daños en los componentes del equipo. Además, estos incidentes afectan la eficiencia del proceso, generando también el desgaste prematuro del equipo, reduciendo considerablemente la vida útil del equipo y aumentando la necesidad de realizar mantenimientos constantes en intervalos más cortos de tiempo al cual fue diseñado, elevando los costos de operación y limitando las oportunidades de desarrollo de productos innovadores, tanto para investigación académica como para transferencia tecnológica a la industria agroalimentaria ecuatoriana.

La optimización de estos parámetros es crucial, ya que afecta directamente la textura, el valor nutricional y la calidad general del producto extruido. Además, la falta de un procedimiento estandarizado afecta la posibilidad de realizar investigaciones replicables y limita las oportunidades de transferencia tecnológica hacia la industria local. La empresa/organización beneficiaria de este proyecto, el Laboratorio de Soberanía Alimentaria de ESPOL, tiene como objetivo desarrollar productos que puedan servir de ejemplo para pequeñas y medianas empresas del sector alimentario en Ecuador, promoviendo el desarrollo sostenible y competitivo de la industria alimentaria.

Para abordar esta problemática, este proyecto analizará los parámetros críticos del proceso de extrusión, estableciendo las condiciones óptimas de granulometría y humedad que

mejoren la eficiencia operativa del equipo. Se desarrollará un manual de operación para facilitar el uso del extrusor en futuras investigaciones y garantizar la obtención de productos extruidos con características de calidad consistentes, para productos en base de griz de maíz.

1.3 Justificación del Problema

La investigación sobre la optimización de los parámetros operativos del equipo extrusor MAPINPIANTI responde a la necesidad de mejorar la eficiencia en la producción de alimentos texturizados en el Laboratorio de Soberanía Alimentaria de ESPOL. Este equipo tiene un potencial estratégico para contribuir a la formación académica y a la innovación en el sector agroalimentario, pero su funcionamiento ineficiente actualmente limita su uso y reduce las oportunidades de desarrollo de productos innovadores.

El proyecto no solo permitirá resolver las dificultades técnicas relacionadas con la granulometría de las materias primas y las obstrucciones en el tornillo, sino que también facilitará la creación de un manual operativo estandarizado que garantice su uso eficiente en futuras investigaciones y colaboraciones industriales. La optimización del proceso permitirá al laboratorio posicionarse como un centro de referencia en la investigación y desarrollo de productos alimenticios de valor agregado, tales como snacks saludables y cereales funcionales, respondiendo a la creciente demanda de alimentos nutritivos y convenientes.

Desde una perspectiva más amplia, la investigación fortalece la relación entre la academia y la industria al facilitar la transferencia de conocimientos hacia pequeñas y medianas empresas (PYMEs) del sector alimentario, promoviendo así la competitividad y sostenibilidad de la producción local. Además, el desarrollo de este proyecto es coherente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el objetivo 4: garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos y el objetivo 12 que pretende garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. (Gil, 2018)

Es así como el éxito de esta investigación impactará en varios niveles: desde la formación de futuros profesionales en tecnologías alimentarias hasta la innovación en el sector productivo, contribuyendo al avance del conocimiento y a la creación de oportunidades de desarrollo comercial en Ecuador.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Optimizar el proceso de extrusión del equipo del Laboratorio de Soberanía Alimentaria de ESPOL mediante el ajuste de las variables operativas, con énfasis en la granulometría y humedad de las materias primas, para garantizar la obtención eficiente y continua de productos extruidos a base de gritz de maíz del tipo *Zea mayz L.*

1.4.2 Objetivos específicos

- Definir los valores de operación de la granulometría y humedad para el proceso de extrusión a partir de gritz de maíz del tipo *Zea mayz L.*
- Elaborar un manual de operación actualizado del extrusor para la elaboración de productos en base de gritz de maíz del tipo *Zea mayz L.*
- Obtener un producto en base de gritz de maíz del tipo *Zea mayz L* con un grado de humedad y grasa apto para el consumo humano siguiendo la NTE INEN 2561.
- Realizar un análisis económico integral que evalúe la viabilidad del proceso optimizado, considerando costos de operación y potenciales beneficios comerciales.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Definición del proceso de extrusión

La extrusión es un proceso de elaboración de alimentos el cual consiste en el empuje de una mezcla a través de un tornillo giratorio a cierta presión, la cual ayuda a la formación del alimento extruido. Durante el proceso, ocurre una mezcla uniforme de las proteínas y demás

componentes nutricionales de las corrientes de materia prima que se utilizan (Yadav et al., 2023). Las materias primas que principalmente son utilizadas para estos procesos son maíz, trigo, cebada, avena, entre otros, los cuales se utilizan para la elaboración de snacks, cereales y balanceados con un alto valor nutricional (Maskan & Altan, 2012).

La teoría de la extrusión se basa en los principios de la mecánica de fluidos y la transferencia de calor. La configuración del tornillo en una máquina de extrusión es importante para controlar la velocidad y la presión del material que se está extruyendo. La forma y el tamaño de los canales en el tornillo pueden afectar la calidad del producto final. Y según las características del tornillo se derivan otros tipos de extrusores como de tornillo simple, de doble tornillo y extrusores de tornillo gemelo, cada uno tiene diferentes aplicaciones. La extrusión se puede estudiar a diferentes escalas, pueden ser a escala molecular, escala de laboratorio, escala semi industrial e industrial. (Sun, 2012)

Los ingredientes en la extrusión deben ser similares a los que se utilizan para otros procesos alimenticios, es decir deben ser de buena calidad y en caso de contener aditivos, deben tener una pureza requerida. Si la fuente principal del producto está formada por proteínas como proteínas vegetales, se deben escoger otras fuentes de materias primas como las semillas oleaginosas (soya, semillas de girasol) o de proteínas de cereales como trigo o gluten (Guy, 1994). Por lo general, los materiales usados en la extrusión tienen harinas, almidones en mayor proporción siendo los componentes base de la mezcla. En otro grupo están las proteínas o fibras que forman las fases dispersas de la estructura principal del extruido. Por último, los plastificadores o lubricadores como el agua o aceite (Guy, 1994).

Durante el proceso de extrusión, se producen transformaciones importantes, como la gelatinización del almidón y la desnaturalización de proteínas, lo que mejora la digestibilidad y estabilidad de los productos. Además, la extrusión permite producir alimentos con baja densidad y alta expansión, características deseadas en snacks y cereales para desayuno (Asif, 2012). La

eficiencia energética del proceso también es una ventaja, ya que se ha demostrado que el consumo de energía en extrusores de un solo tornillo es competitivo frente a otros métodos convencionales de procesamiento térmico.

1.5.2 Principales variables de operación de la extrusión

1.5.2.1 Temperatura.

La temperatura juega un rol importante para la obtención de un producto con un buen color, sabor y textura, esta es necesario que se controle a lo largo de diferentes zonas de un extrusor (alimentación, compresión y dosificación), lo que permite adaptar las condiciones del proceso a las necesidades del material. Una temperatura adecuada asegura que el material alcance la viscosidad ideal para el flujo a través de la matriz. Si la temperatura es demasiado alta, puede causar degradación térmica del material; si es demasiado baja, podría resultar en un flujo ineficiente o una mezcla insuficiente (Singh, 2007).

1.5.2.2 Humedad.

La cantidad de agua presente en la materia prima influye en la viscosidad y la capacidad de flujo del material dentro del extrusor. Un adecuado contenido de humedad facilita la homogenización del material, lo que mejora la expansión y la textura del producto extruido. Un exceso de humedad puede provocar problemas de consistencia en el producto final, mientras que muy poca humedad puede dificultar el flujo del material, aumentando la fricción en el equipo (Mosciki, 2011).

1.5.2.3 Granulometría.

La selección adecuada del tamaño de partícula es fundamental para evitar obstrucciones en el tornillo del extrusor y asegurar una mezcla uniforme. Las partículas más pequeñas aumentan la superficie de contacto con el barril del extrusor, promoviendo una transferencia eficiente de calor y corte, pero un tamaño inadecuado puede generar mayor fricción y dañar el equipo (Asif, 2012).

1.5.2.4 Velocidad del tornillo.

La tasa en la que gira el tornillo afecta al tiempo de residencia que tendrá el material dentro del cilindro. Velocidades de tornillo más altas tienden a aumentar la producción, pero pueden causar un calentamiento excesivo debido a la fricción, lo que podría afectar la calidad del producto. Velocidades más bajas aumentan el tiempo de residencia, lo que puede ser beneficioso para el mezclado, pero puede reducir la eficiencia del proceso (Yadav et al., 2023).

1.5.3 Extrusión de alimentos en la industria mundial y local

La extrusión es una técnica consolidada a nivel mundial en la industria alimentaria, utilizada para la producción de cereales, snacks y alimentos funcionales debido a su capacidad para transformar materias primas mediante corte, presión y temperatura en tiempos cortos (HTST). Esta tecnología permite mejorar la digestibilidad de las materias primas, preservar nutrientes y generar alimentos con mayor valor agregado. En el contexto global, la creciente demanda de alimentos saludables y nutritivos impulsa la adopción de tecnologías como la extrusión para desarrollar productos innovadores que respondan a las exigencias del mercado (Mosciki, 2011).

En Ecuador, la producción agroalimentaria tiene un potencial significativo, especialmente con materias primas locales como el maíz, pero la falta de investigación aplicada limita la adopción eficiente de tecnologías de procesamiento a escala piloto e industrial. Los proyectos orientados a la optimización de procesos en entornos académicos, como los laboratorios de investigación, permiten cerrar la brecha entre la academia y la industria, promoviendo la transferencia tecnológica hacia pequeñas y medianas empresas del sector alimentario. El país enfrenta una seria vulnerabilidad en su seguridad alimentaria y economía debido a su dependencia en la importación de griz de maíz. Esto lo hace susceptible a fluctuaciones en precios internacionales y posibles interrupciones en la cadena de suministro global (Baca, 2016).

En este contexto, surge la necesidad de explorar otras alternativas de cereales producidos localmente que sean sostenibles y nutritivos, lo cual permitiría diversificar las fuentes de materia prima y reducir la dependencia externa. Aunque este proyecto se centra en el maíz, también busca sentar una línea base de referencia para futuras investigaciones en los próximos semestres, permitiendo innovar con otros cereales ecuatorianos y potenciar la soberanía alimentaria.

1.5.4 Requisitos de la Norma INEN 2561 para snacks de productos vegetales

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2561:2010 establece los requisitos de calidad que deben cumplir los bocaditos o snacks elaborados a partir de productos vegetales, incluyendo aquellos a base de cereales como el griz de maíz. Estos requisitos abordan especificaciones tanto bromatológicas como microbiológicas, que garantizan la seguridad, calidad y valor nutricional del producto final (NTE INEN 2561).

Entre los requisitos bromatológicos especificados por la norma, se encuentran los siguientes:

Tabla 1

Requisitos bromatológicos para bocaditos de productos vegetales

Requisito	Máximo	Método de ensayo
Humedad, %	5	NTE INEN 518
Grasa, %	40	NTE INEN 523
Índice de peróxidos meq O₂/kg (en la grasa extraída)	10	NTE INEN 277
Colorantes	Permitido en NTE INEN 2074	

Nota. Datos tomados de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2561:2010

La norma también establece límites específicos para contaminantes y aditivos:
 Aflatoxinas: Para productos a base de maíz, el contenido máximo permitido de aflatoxinas es de 20 µg/kg, protegiendo así la salud del consumidor.

Colorantes y aditivos: Solo se permite el uso de aquellos colorantes y aditivos establecidos en la NTE INEN 2074, garantizando que los ingredientes añadidos cumplen con los estándares de seguridad (NTE INEN 2561).

Estos parámetros son esenciales en el proceso de optimización del producto en este proyecto, ya que garantizan que el producto final cumpla con la normativa vigente y que sea seguro para el consumo humano. Al desarrollar un procedimiento de extrusión ajustado a estos requisitos, el proyecto no solo busca cumplir con la calidad esperada, sino también asegurar que los snacks producidos sean aptos para el mercado ecuatoriano e internacional, cumpliendo con las expectativas de los consumidores en términos de valor nutricional y seguridad alimentaria.

CAPÍTULO 2

2. Metodología.

El presente capítulo detalla la metodología empleada para abordar la optimización del proceso de extrusión del gritz de maíz en el Laboratorio de Soberanía Alimentaria de ESPOL. Se describe la formulación y selección de alternativas de solución, el diseño experimental aplicado, así como la recolección, preparación y análisis de la materia prima utilizada. Además, se explican los criterios técnicos, normativos y de diseño que guiaron el desarrollo del proyecto. Se detallarán las pruebas realizadas en el laboratorio, en las que se evaluaron combinaciones de dos granulometrías y dos niveles de humedad de la materia prima, siguiendo un diseño factorial, así como también el análisis económico.

2.1 Formulación de alternativas de solución

Se plantearon diferentes alternativas para abordar el problema identificado en el proceso de extrusión del equipo del Laboratorio de Soberanía Alimentaria de ESPOL:

1. Mejorar el proceso mediante ajustes empíricos de las variables operativas: Esta alternativa consistía en realizar pruebas exploratorias sin un diseño experimental formal, ajustando los parámetros sobre la marcha.
2. Realizar un diseño experimental sistemático para optimizar las variables críticas: Esta alternativa implicaba identificar y controlar las variables clave del proceso (granulometría y humedad) bajo un enfoque basado en un diseño factorial.
3. Implementar modificaciones técnicas en el extrusor para mejorar el flujo y evitar obstrucciones: Este enfoque consideraba cambios en componentes del equipo, como el tornillo y las matrices, para abordar las fallas mecánicas directamente.

Tras una evaluación técnica, económica y práctica, se seleccionó la segunda alternativa, ya que permite un análisis estructurado de las variables críticas sin incurrir en altos costos adicionales y proporciona resultados replicables para futuras investigaciones.

2.2 Diseño conceptual y metodología de diseño

El diseño conceptual se basó en un enfoque de optimización del proceso, empleando un diseño factorial 2^k , que permitió analizar la interacción entre las variables independientes del proceso (granulometría y humedad) y su impacto en la calidad del producto final. Este enfoque fue seleccionado por su capacidad para identificar combinaciones óptimas de parámetros y su aplicabilidad en procesos complejos como la extrusión.

Para la variable de granulometría, se definieron dos niveles experimentales: partículas menores a 0.5 mm y mayores a 0.5 mm. Este rango se fundamentó en investigaciones previas que destacan que partículas pequeñas (<0.5 mm) mejoran la transferencia de calor y corte dentro del extrusor, promoviendo una mezcla uniforme y una extrusión eficiente (Karun. 2023). Por otro lado, se incluyeron partículas mayores (>0.5 mm) para evaluar su impacto en la fricción del tornillo y la textura del producto final, alineado con la metodología empleada en otros estudios de extrusión (Allai, 2022).

En cuanto a la humedad, se seleccionaron dos rangos representativos de contenido de agua: 10-15 % y 16-20 %. El rango de 10-15 % fue elegido el estándar recomendado para garantizar la viscosidad adecuada del material y una expansión óptima del producto, respaldado por estudios que analizan las condiciones ideales para cereales y snacks extruidos (Yadav, 2023). El rango de 16-20 % permitió evaluar escenarios con mayor contenido de agua, considerando su influencia en la textura del producto y en el flujo dentro del extrusor, aunque estudios previos advierten que humedades más altas podrían comprometer la expansión y densidad del producto final (Karun. 2023).

Tabla 2

Combinaciones posibles de humedad inicial y granulometría para pruebas experimentales

Pruebas por duplicado	Humedad	Granulometría
Combinación 1 (C1)	10-15 %	<0.5 mm
Combinación 2 (C2)	16-20 %.	<0.5 mm

Combinación 3 (C3)	10-15 %	>0.5 mm
Combinación 4 (C4)	16-20 %.	>0.5 mm

El diseño experimental permitió identificar combinaciones óptimas de granulometría y humedad para garantizar un flujo eficiente en el extrusor y cumplir con los estándares de calidad especificados en la norma NTE INEN 2561, incluyendo humedad máxima del producto final de 5 % y características sensoriales específicas.

2.3 Pruebas experimentales en el extrusor

2.3.1 Recolección de la materia prima

La materia prima utilizada en este proyecto fue dos tipos de gritz de maíz (diferenciados por su tamaño de partícula) proporcionado por el proveedor Grupo SIMA, ubicado en Riobamba, Ecuador. Este gritz se obtuvo a partir de granos de maíz *Zea mays* L., seleccionados por su madurez comercial y calidad. El producto cumple con las siguientes especificaciones técnicas de acuerdo con la ficha técnica proporcionada:

- Humedad máxima: 14 %
- Proteína mínima (base seca): 8 %
- Grasa máxima (base seca): 2 %
- Aflatoxinas: < 10 ppb

Además, el gritz de maíz cumple con los requisitos establecidos en la NTE INEN 2051:2013, que regula las condiciones para el maíz molido y derivados como la sémola, la harina y el gritz. Según esta normativa:

Tabla 3

Requisitos fisicoquímicos para el gritz de maíz

Requisito	Mínima	Máxima	Método de ensayo
Humedad, %	-	14.0	-
Proteína, %	8.0	-	NTE INEN 519
Grasa, %	-	2.0	NTE INEN 523

Cenizas, %	-	1.0	NTE INEN 520
-------------------	---	-----	--------------

Nota. Datos tomados de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2051:2013

La materia prima se transportó en sacos de polipropileno bajo condiciones sanitarias adecuadas, asegurando su integridad durante el traslado y almacenamiento. En el laboratorio, el griz fue tamizado en el equipo de tamizador (Advantech, Dura Tap, Nro de serie 62828) dando para la muestra de griz de maíz con tamaño de partícula mayor una granulometría de 0.6 mm y para la de tamaño de partícula menor, 0.4 mm.

2.3.2 Ajuste de contenido de humedad inicial

El ajuste del contenido de humedad inicial del griz de maíz es un paso crítico para garantizar la uniformidad y calidad del proceso de extrusión. Para ello, se utilizó una termobalanza Kern, modelo MLS-50-3, Nro. de Serie 2433, que permitió determinar de manera precisa la humedad inicial del material antes del ajuste.

Para modificar la humedad del griz de maíz al nivel deseado, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Agua a añadir (g)} = \text{Peso inicial (g)} \times \frac{\text{Humedad final deseada (\%)} - \text{Humedad inicial (\%)}}{100 - \text{Humedad final deseada (\%)}}$$

Por cada kilogramo de materia prima, se calculó la cantidad exacta de agua a añadir para alcanzar el rango de humedad objetivo.

Una vez calculada la cantidad de agua, esta se roció uniformemente sobre el kilogramo de griz de maíz pesado en una balanza (Marca Kern modelo FKB 36KO.5A) seguido de una mezcla constante para asegurar que el agua se distribuyera homogéneamente en todo el material. Este proceso minimizó la variabilidad de humedad entre las diferentes partes de la muestra. Para garantizar que el material alcanzara la humedad deseada, se realizaron mediciones utilizando la termobalanza (KERN MLS 50-3C con una precisión de lectura de 1 mg, carcasa de 206×333×192 mm con capacidad máxima de 50g y luz infrarroja de 400W). Se pesa una parte de la muestra a analizar (1 g aproximadamente) en un platillo metálico de muestra y se deja secar a

156°C. Las lecturas se tomaron por triplicado, recolectando muestras de tres puntos distintos: superior, medio e inferior del lote de un kilogramo. Este procedimiento permitió identificar discrepancias en la distribución de la humedad.

Cada lectura de humedad se registró cuidadosamente, indicando la ubicación específica de la muestra (superior, medio o inferior). Se consideró aceptable una variación máxima de ± 0.5 % entre las lecturas por la cantidad de muestra (1 kg), lo que asegura un nivel uniforme de humedad en todo el material. Las lecturas obtenidas se promediaron para obtener una estimación representativa del contenido de humedad total del kilogramo de gritz. Este valor se utilizó como referencia para confirmar que el material estaba listo para las siguientes etapas del proceso de extrusión.

Tabla 4

Humedad inicial ajustada para cada combinación

#	Humedad inicial gritz de maíz (%)	Agua a añadir (ml)	Humedad final por triplicado (%)		Humedad promedio ajustada (%)
C1	12.79	25	Superior	14.99	15
			Medio	14.93	
			Inferior	15.08	
C2	13.06	80	Superior	19.05	19.02
			Medio	18.88	
			Inferior	19.12	
C3	13.05	22	Superior	14.95	15.03
			Medio	15.02	
			Inferior	15.11	
C4	12.85	82	Superior	19.43	19.32
			Medio	19.21	
			Inferior	19.32	

Este enfoque metódico garantizó que cada corrida de un kilogramo de mezcla tuviera un contenido de humedad uniforme y controlado, optimizando la consistencia y calidad del proceso experimental.

2.3.3 Arranque del equipo

El arranque del extrusor (Mapinpianti, Gelatinizzatore G55), se inició con la preparación de sus sistemas principales. Este equipo, diseñado para la extrusión de alimentos, cuenta con un tornillo de 5,57 cm de diámetro y 110,7 cm de longitud. Además, dispone de entradas de agua filtrada y de aire comprimido, las cuales son gestionadas a través de un compresor ubicado en un laboratorio contiguo y un panel eléctrico.

El primer paso consistió en abrir las válvulas correspondientes a las líneas de agua identificadas como 1, 3 y 4. La línea 4, utilizada para el suministro de agua fría, y la línea 5, destinada al agua de calentamiento, se configuraron para mantener una temperatura inicial de 20 °C. Los respectivos intercambiadores de calor se encargaron de alcanzar las temperaturas requeridas durante el proceso. Posteriormente, se subió el compresor para asegurar un flujo constante de aire comprimido hacia las electroválvulas. La presión del agua y del aire fue monitoreada mediante manómetros para garantizar que los niveles fueran adecuados antes de continuar con la operación, el agua trabajó con un rango de 1.5-3 bares y el aire a 6-8 bares. Se engrasaron el tornillo principal y el de la alimentación forzada con grasa comestible y se selló el cabezal con 4 pernos procurando que no existan espacios para obtener una presión adecuada en la expansión del producto.

Seguidamente, se activó el sistema eléctrico del extrusor siguiendo las instrucciones descritas en el manual del equipo. Las resistencias se encendieron con una anticipación de 30 minutos para permitir que cada zona del extrusor alcance su temperatura de trabajo, asegurando la estabilización térmica antes de iniciar el proceso de extrusión. Una vez alcanzadas las condiciones de operación, se colocó manualmente un kilogramo de mezcla en la bandeja del pre-mezclador. Dado que el sistema automatizado de la tolva y el pre-mezclador estaban dañados, se utilizó un embudo que permitió un flujo constante de 14,3 kg/hora. Por esta razón, se realizó el

ajuste manual de la humedad de la materia prima antes de su ingreso al equipo, garantizando que cumpliera con los rangos establecidos en el diseño experimental.

Durante todo el arranque, se llevaron a cabo inspecciones continuas para verificar el funcionamiento del sistema de calefacción y enfriamiento, así como la estabilidad del flujo de material y la rotación del tornillo.

2.3.4 Condiciones de operación

El extrusor operó bajo condiciones estandarizadas durante todas las pruebas, sin modificaciones entre las combinaciones experimentales como se puede observar en la Tabla 5. Esto permitió enfocar el análisis exclusivamente en las variables independientes: granulometría y humedad inicial. Las condiciones se ajustaron cuidadosamente para garantizar un proceso estable y replicable, calculadas en el manual del equipo y en referencias científicas relacionadas con la extrusión de cereales.

Las temperaturas se distribuyeron en cuatro zonas principales del extrusor, cada una con un propósito específico en el procesamiento del grano de maíz. En la zona de alimentación, se inició una temperatura de 85 °C, suficiente para evitar la formación de grumos y facilitar el transporte del material, alineado con lo indicado por Karun (2023). En la zona de transición, la temperatura aumentó a 135 °C, favoreciendo la gelatinización parcial del almidón y la homogeneización inicial del material (Yadav, 2023). La zona de fusión, con una temperatura de 155 °C, alcanzó la máxima viscosidad y presión del material, condiciones necesarias para garantizar una buena expansión del producto final, como señalan estudios previos (Moscicki, 2011). Finalmente, la zona de compresión, con una temperatura de 165 °C, preparó el material para su extrusión en el cabezal, donde la temperatura se estabilizó en 140 °C durante la operación, suficiente para mantener la calidad del producto según el manual del equipo.

La presión operativa y las velocidades configuradas en el tornillo, el cortador y el sistema de alimentación forzada aseguraron un flujo constante y homogéneo del material. Estas

condiciones fueron seleccionadas en función de su efectividad reportada en investigaciones previas y alineadas con las especificaciones del equipo (Karun, 2023; Moscicki, 2011). En conjunto, estos ajustes garantizaron que el proceso cumpliera con los estándares de calidad establecidos y que las diferencias en los resultados fueran atribuibles exclusivamente a las variaciones de las variables experimentales, proporcionando una base sólida para la interpretación de los resultados experimentales.

Tabla 5

Condiciones de operación constantes del extrusor

Condiciones	Valores	
Temperaturas (°C)	T1	85
	T2	135
	T3	155
	T4	165
	Zona enfriamiento	90
	Cabezal	140
Velocidad de tornillo (RPM)	150-200	
Alimentación forzada (Hz)	20	
Velocidad del cortador (Hz)	25	

2.3.5 Apagado del equipo y recolección de muestras

Una vez finalizada la alimentación de la mezcla, se procedió a inyectar aceite al sistema para facilitar la expulsión de los residuos de material que permanecían en el tornillo; paso esencial para prevenir bloqueos y una limpieza eficiente del equipo, tal como se recomienda en el manual del extrusor.

Cuando todo el material fue expulsado, se inició el apagado del equipo. Primero, se detuvo la rotación del tornillo, seguido del sistema de alimentación forzada y del cabezal. A continuación, se apagaron las resistencias de las distintas zonas de temperatura, permitiendo que el sistema se enfríe de manera controlada antes de realizar cualquier intervención adicional.

Finalmente, se abrió el cabezal para verificar visualmente que no quedaran residuos en las cámaras de compresión o salida del material.

El producto extruido se recolectó en bandejas de malla colocadas estratégicamente bajo la salida del cortador. Estas bandejas facilitaron la manipulación del producto y garantizaron que se mantuviera en condiciones adecuadas para las etapas posteriores del proceso. De inmediato, se tomó una muestra representativa del producto final para medir su contenido de humedad utilizando la termobalanza (Kern, modelo MLS-50-3). Según estudios previos, la humedad del producto al salir del extrusor debe situarse entre 7-16 %, dependiendo de la humedad inicial de la mezcla y las condiciones de extrusión (Santacruz, 2022). Este rango asegura que el producto esté en condiciones óptimas para el secado posterior.

2.4 Análisis fisicoquímicos del producto

2.4.1 Contenido de humedad (Secado)

Para la reducción del contenido de humedad del producto extruido, se utilizó un secador de tambor modelo CP ESS de la marca PAVAN Mapimpianti. Este equipo fue seleccionado por su capacidad para controlar de manera precisa la temperatura y el tiempo de secado, evitando un procesamiento excesivo que pudiera alterar la textura y calidad del producto final. Siguiendo el procedimiento descrito por Santacruz (2022), el secador de tambor se ajustó a una temperatura de 80 °C y un tiempo de operación de 30 minutos, condiciones óptimas en cantidades bajas de producto (1-3 kg) para lograr una disminución controlada de la humedad sin afectar las propiedades organolépticas del producto.

Todo el contenido extruido obtenido de las pruebas realizadas en el extrusor fue transferido al secador de tambor previamente limpiado. Las condiciones establecidas durante el secado permitieron que el contenido de humedad del producto final alcanzara niveles inferiores al 5 %, tal como exige la NTE INEN 2561.

Posterior al proceso de secado, se retiraron las muestras del equipo y se seleccionaron tres muestras representativas del lote. Estas muestras fueron evaluadas utilizando una termobalanza (Kern MLS 50-3C) para medir el contenido de humedad por triplicado, tomando muestras de las partes superior, media e inferior de la masa extruida. Los valores de humedad obtenidos se promediaron para obtener una estimación precisa y representativa del lote completo. Se consideró un margen de error de ± 0.5 % en las mediciones, cumpliendo con los requisitos de precisión descritos en la normativa.

2.4.2 Contenido de grasa (Extracción)

La determinación del contenido de grasa en el producto extruido se realizó siguiendo el procedimiento especificado en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 523-1980, que establece el método oficial para medir el extracto etéreo en harinas de origen vegetal. Este método fue seleccionado para asegurar que el producto cumpliera con los requisitos de calidad y las especificaciones establecidas en la NTE INEN 2561, la cual define un máximo de 40% de grasa en el producto final.

El procedimiento consistió en extraer el contenido graso de la muestra utilizando un sistema Soxhlet con una plancha de calentamiento (Marca Thermolyne modelo SP46925) y éter anhidro como solvente orgánico. La muestra fue acondicionada previamente en un recipiente hermético para preservar su representatividad y evitar la pérdida de componentes grasos. Se pesaron en una balanza analítica (Ohaus, modelo PA2416, Nro de Serie 92116) con precisión 2,35 g de muestra triturada con un mortero y se la colocó en un dedal de Soxhlet junto con 2 g de arena purificada, asegurando una mezcla homogénea. Este dedal se colocó en el extractor Soxhlet, y el éter anhidro se usó como solvente de extracción durante 4 horas, con una velocidad de condensación de 5 a 6 gotas por segundo.

Una vez concluida la extracción, el solvente fue recuperado mediante destilación, y el residuo graso restante se secó en una estufa (Memmert modelo UM 400 alemán) a 100 ± 5 °C

durante 30 minutos. El proceso de secado y pesaje se repitió hasta que la diferencia entre dos mediciones consecutivas no excediera de 0,2 mg, tal como lo establece la norma.

Para garantizar la confiabilidad de los resultados, la determinación se realizó por duplicado. Según la NTE INEN 523, si la diferencia entre ambas mediciones superaba el 0,2%, se repetía el análisis. Finalmente, el contenido de grasa se calculó y se reportó como el promedio aritmético de las dos determinaciones.

2.5 Análisis económico

El análisis económico del proyecto se llevó a cabo para determinar la viabilidad financiera del proceso de extrusión y evaluar su rentabilidad. En primer lugar, se identificó la cantidad de materia prima necesaria para la producción, considerando las combinaciones experimentales y la capacidad operativa del extrusor. Los costos asociados a la materia prima fueron cotizados en base a precios locales, garantizando la alineación con las condiciones del mercado ecuatoriano.

Posteriormente, se estimaron los costos de transformación, los cuales incluyeron factores clave como el consumo de energía eléctrica durante el funcionamiento del extrusor, los costos de mantenimiento preventivo y correctivo del equipo, y la mano de obra involucrada en las distintas etapas del proceso. Además, se calcularon los costos relacionados con el control de calidad, que abarcó análisis de humedad y grasa en el producto final, así como los costos del envasado, necesarios para garantizar la presentación adecuada del producto extruido.

Con toda esta información, se consideró el costo unitario total del producto extruido. Este valor sirvió como base para comparar los ingresos proyectados por ventas, por lo que permitió calcular indicadores de rentabilidad como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Tiempo de Retorno (PBP).

CAPÍTULO 3

3. Resultados y análisis

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de la experimentación llevada a cabo con distintas combinaciones de humedad inicial y granulometría en la formulación del producto, así como su análisis detallado. Los datos recolectados incluyen mediciones de humedad, contenido graso y descripción de las propiedades organolépticas del producto final. Además, se analizan las diferencias observadas entre las distintas muestras para identificar patrones y relacionarlos con las variables de operación estudiadas.

3.1 Resultados obtenidos

Se llevaron a cabo pruebas con cuatro combinaciones de granulometría y humedad inicial. A continuación, se presentan los resultados en la tabla 6:

Tabla 6

Resultados obtenidos de las cuatro combinaciones

Combinación	Humedad salida extrusor (%)	Humedad post-secado (%)	Grasa (%)	Aspecto final
C1	6.1	2.5	6.4	Muy duro, sabor ahumado, pocas celdas de expansión, forma de anillo en muy poco producto
C2	6.9	3.3	0.5	Suave pero crocante, buen sabor, celdas de expansión, forma de anillo en 1/4 del producto.
C3	7.5	4.1	3.2	Falta de dureza, buen sabor, celdas de expansión, pero sin forma de anillo.
C4	7.7	4.5	1.0	Crocante y de buen sabor, más de la mitad con forma de anillos, celdas visibles al partirlo.

3.2 Análisis de los resultados

3.2.1 Humedad final

Se observa que la humedad del producto disminuye progresivamente durante el proceso de extrusión y secado. En general, las muestras con menor granulometría (0.4 mm) presentan una mayor reducción de humedad, alcanzando valores más bajos tras el secado en comparación con las de granulometría de 0.6 mm. Este comportamiento podría explicarse por la mayor área de superficie expuesta al calor en partículas más finas.

Las combinaciones con 19% de humedad inicial (C2 y C4) también tienden a conservar una mayor humedad comparado con las otras combinaciones que poseen su misma granulometría (C1 con C2 y C3 con C4) tras el proceso de secado, lo cual sugiere que la cantidad inicial de agua afecta significativamente la eficiencia de remoción de humedad durante el secado.

3.2.2 Contenido graso

El contenido graso del producto también varió entre las muestras, con valores más altos en las combinaciones de humedad inicial de 15% (C1 y C3). La muestra C1 mostró el contenido graso más alto (6.4%), lo cual podría estar relacionado con una menor retención de humedad y una mayor concentración de compuestos lipofílicos.

Por otro lado, la muestra C2 presentó el menor contenido graso (0.5%), posiblemente debido a su alta dureza y baja formación de celdas de expansión, lo cual podría haber dificultado la integración de componentes grasos en la estructura del producto.

3.2.3 Aspecto y propiedades organolépticas

El aspecto del producto final varió considerablemente entre las muestras. La combinación C4 destacó por su textura crocante y su forma de anillos en más de la mitad del lote, lo cual sugiere que una granulometría de 0.6 mm y una humedad inicial de 19% son óptimas para lograr

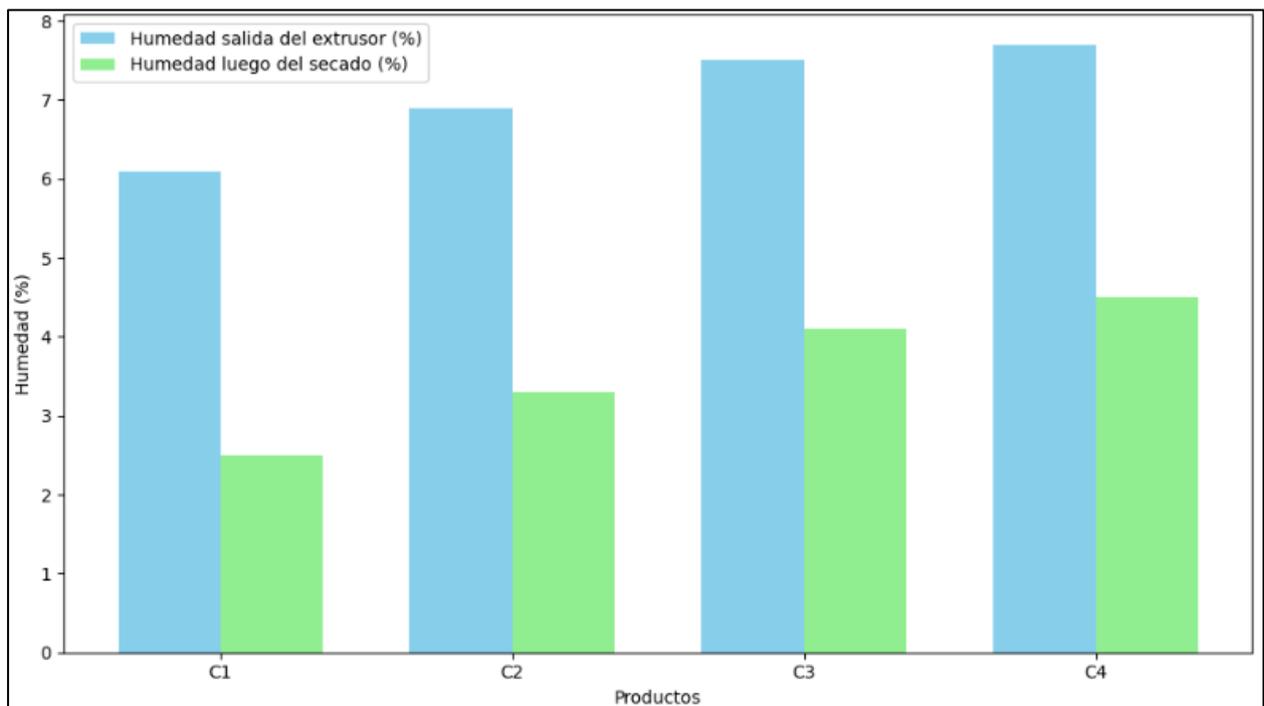
un producto visualmente atractivo y con buena textura. Por el contrario, la muestra C1 fue la menos favorable, ya que su alta dureza y pocas celdas de expansión afectaron negativamente su aceptación.

3.3 Discusión e interpretación de gráficos

El análisis de los resultados obtenidos a partir de las cuatro combinaciones experimentales revela patrones claros que permiten comprender el impacto de las variables granulometría y humedad inicial en las propiedades del producto final. Estas relaciones se analizaron mediante gráficos que destacan la interacción de estas variables con la humedad final, el contenido de grasa y la expansión del producto.

Figura 1

Comparación de humedad en diferentes etapas del proceso

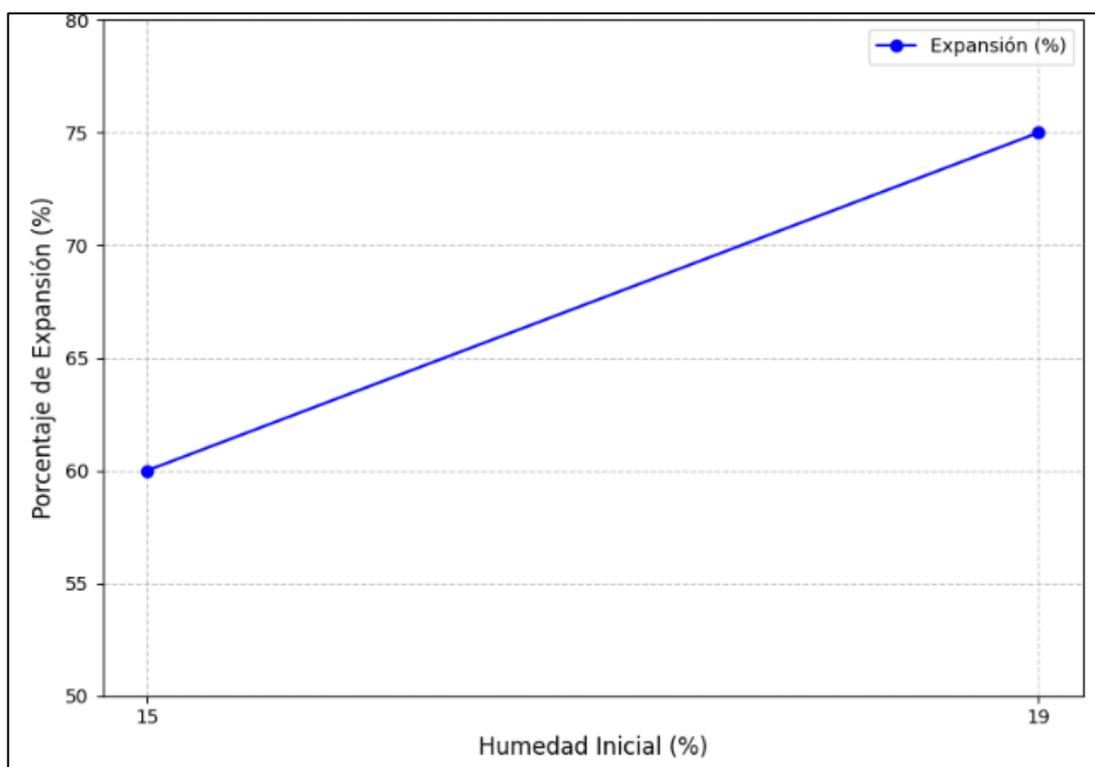


El primer gráfico muestra que una mayor humedad inicial resulta en valores más altos de humedad al salir del extrusor y después del secado con su contraparte que poseen granulometría distinta. Esto es evidente en las muestras C2 y C4, que comenzaron con una humedad inicial de 19%, mostrando humedades finales de 3.3% y 4.5%, respectivamente. Este comportamiento

puede explicarse por el efecto plastificante del agua en el proceso de extrusión, que dificulta la eliminación completa de la humedad en muestras con mayor contenido inicial. Por el contrario, las muestras con una humedad inicial más baja (C1 y C3) presentaron humedades finales inferiores, como el caso de C1 (2.5%). Este resultado se relaciona con una mayor transferencia de calor en granulometrías más finas (0,4 mm), que facilita la evaporación del agua durante el secado.

Figura 2

Relación entre Humedad Inicial y Porcentaje de Expansión

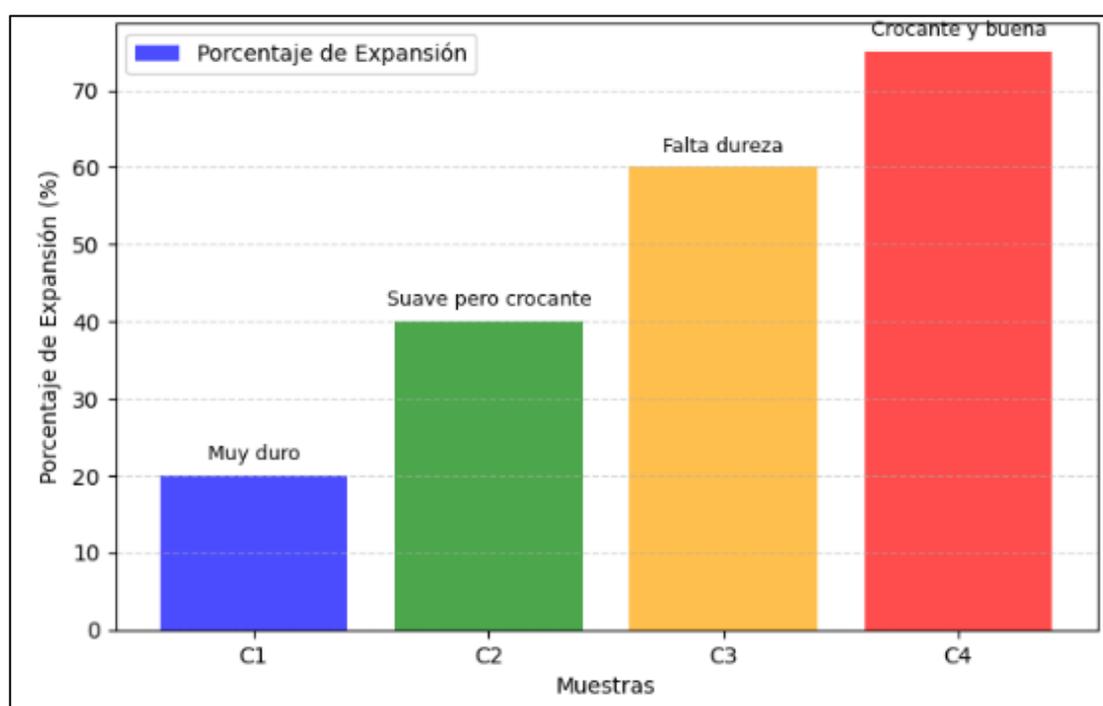


La figura 2 demuestra que al incrementar la humedad inicial de la materia prima de 15% a 19%, el porcentaje de expansión del producto aumenta de 60% a 75%, evidenciando que un mayor contenido de agua favorece las transformaciones necesarias para una mayor expansión. Durante la extrusión, el agua actúa como plastificante, facilitando la gelatinización del almidón y mejorando la retención de los gases generados por la alta temperatura y presión. Este comportamiento permite que, al salir por la matriz, el producto experimente una expansión significativa, creando una

estructura celular ligera y crocante, características deseadas en snacks y cereales. Sin embargo, un exceso de humedad podría comprometer la estabilidad estructural o causar bloqueos en el extrusor. Los valores obtenidos coinciden con estudios previos, como los de Moscicki (2011), reafirmando que un contenido de humedad cercano al 19% es óptimo para maximizar la expansión sin afectar la calidad final, consolidando este rango como ideal para el proceso.

Figura 3

Porcentaje de expansión y textura

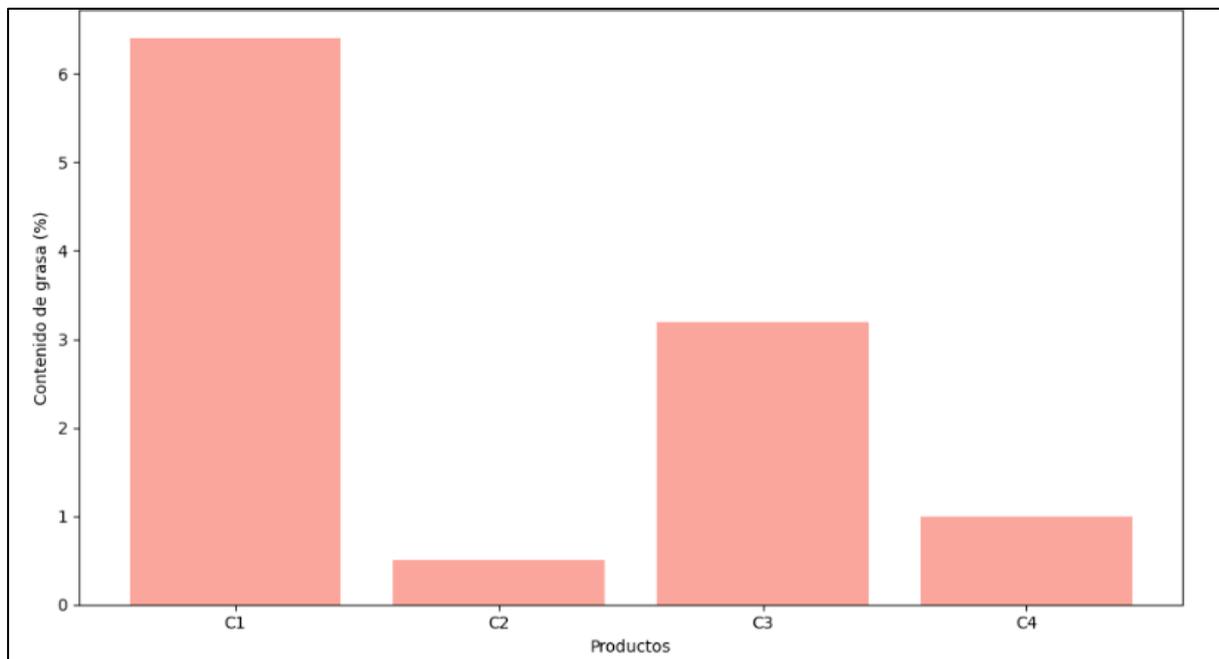


El tercer gráfico analiza el porcentaje de expansión y su relación con la textura del producto. Las muestras con granulometría gruesa (0,6 mm) y mayor humedad inicial (C4) mostraron el mayor porcentaje de expansión (75%), lo que se tradujo en una textura crocante y celdas bien formadas. Por otro lado, las muestras C1 y C2, con granulometría más fina y menor expansión (20% y 40%, respectivamente), presentaron texturas más densas y duras. Este comportamiento puede explicarse por el equilibrio entre la formación de vapor y la resistencia de la matriz durante la extrusión. La granulometría más gruesa permite una distribución uniforme

del vapor, promoviendo una expansión óptima, mientras que las granulometrías finas tienden a compactarse, limitando la formación de celdas expansivas.

Figura 4

Contenido de grasa en el producto final



El cuarto gráfico muestra que el contenido de grasa en el producto final varía significativamente dependiendo de la granulometría y la humedad inicial de la materia prima. La muestra C1, con granulometría fina (0,4 mm) y una humedad inicial del 15%, exhibe el mayor contenido de grasa retenida (6,4%). Este resultado puede estar relacionado con la mayor compactación de la matriz en granulometrías finas, que reduce la liberación de grasa durante el proceso de extrusión.

Por otro lado, la muestra C2, también con granulometría fina, pero con una mayor humedad inicial (19%), presentó un contenido de grasa considerablemente menor (0,5%). Este comportamiento podría explicarse por la mayor densidad estructural del producto, lo que dificulta la retención de grasa. En contraste, las muestras con granulometría más gruesa (C3 y C4) retuvieron menos grasa en general (3,2% y 1%, respectivamente). Esto puede atribuirse a que una matriz más porosa facilita la expulsión de grasa durante la extrusión.

Estos resultados pueden interpretarse mediante principios fundamentales de la extrusión, como la gelatinización del almidón y la dinámica del flujo en el extrusor. La gelatinización, promovida por el calor y la humedad, mejora la plasticidad del material, lo que facilita la formación de celdas expansivas. Sin embargo, un exceso de agua puede desestabilizar las celdas de vapor, limitando la expansión. Por otro lado, la dinámica del flujo en el extrusor depende de la granulometría, donde partículas más finas forman un flujo más homogéneo, pero menos expansivo, mientras que partículas más grandes generan un flujo discontinuo que favorece la expansión estructural.

Otro fundamento es la dinámica del flujo dentro del extrusor, la combinación de granulometría y contenido de humedad afecta cómo se comporta el material bajo presión. Granulometrías más finas tienden a formar un flujo más homogéneo, mientras que las más gruesas favorecen un flujo discontinuo que puede impactar negativamente la calidad.

Y por último tenemos la expansión del producto, el principio físico que rige la expansión es la rápida liberación de vapor al salir del extrusor. Esto crea burbujas de aire en la matriz, formando celdas. La falta de equilibrio entre la humedad y la temperatura afecta directamente la expansión, como se evidencia en los productos menos aireados (C2 y C3).

En conclusión, el análisis de los gráficos destaca la importancia de optimizar tanto la granulometría como la humedad inicial para lograr un producto final con características óptimas. El equilibrio entre estas variables es para maximizar la expansión, asegurar texturas esenciales crocantes y mantener niveles adecuados de humedad y grasa, lo que cumple con las expectativas sensoriales y normativas del mercado.

3.4 Análisis de rentabilidad

Se realizó el análisis económico para estudiar la factibilidad de un proceso de extrusión de gritz de maíz nacional para una producción de alrededor de aproximadamente 6000 kg/año.

En la Tabla 7 se muestran en primer lugar, la lista de los equipos necesarios para la implementación del proyecto.

Tabla 7

Costos de los equipos y maquinaria necesaria para el proceso de extrusión

Equipo	Detalle	Precio Final
Extrusor	Extrusor de tornillo simple, semi-industrial G55 M0113	\$ 9,200.00
Materiales de Laboratorio	Equipos de laboratorio para las mediciones	\$ 556.60
Secador	CP ESS de la marca PAVAN Mapimpianti	\$ 2,300.00
Balanza analítica	Balanza OHASUS PIONEER PA214	\$ 287.50
Sistema Soxhlet	Biomed Instruments	\$ 232.30
Plancha de calentamiento	Thermolyne modelo SP46925	\$ 171.35
Sorbona	Extractor de gases	\$ 1,380.00
Selladora	Selladora de pedal SDP 400	\$ 547.40
Termobalanza	KERN MLS_C Versión 3.0	\$ 1,897.50
Estufa	Estufa de secado Memmert UM 400	\$ 1,552.50
TOTAL	\$ 18,125.15	

Luego se procedió a realizar la cotización de materia prima con proveedores nacionales, para la estimación de costos de producción, así como los gastos de administración de personal y de mantenimiento del lugar de trabajo, los cuales se presentan en la Tabla 8 y 9 respectivamente.

Tabla 8

Costos de producción

Material	Cantidad mensual	Unidad	Costo	Mensual	Anual
Gritz	625	Kg	\$ 0.80	\$ 500.00	\$ 6,000.00
Sal	25	Kg	\$ 0.55	\$ 13.75	\$ 165.00
Fundas	3571	Unidades	\$ 0.05	\$ 178.57	\$ 2,142.86
Éter anhidro	5	Litros	\$ 20.32	\$ 91.44	\$ 1,097.28
Agua	78	Litros	\$ 0.30	\$ 23.44	\$ 281.25

Cajas	25	Unidades	\$ 1.61	\$ 40.25	\$ 483.00
TOTAL				\$ 847.45	\$ 10,169.39

Tabla 9

Costos fijos

Descripción	Mensual	Anual
Suministro de limpieza	\$40.66	\$487.97
Suministro de oficina	\$64.10	\$769.21
Sueldos y salarios	\$2,316.00	\$27,792.00
Servicios básicos	\$ 400.00	\$4,800.00
Costos totales de producción	\$3668.23	\$44,018.77

Para estimar los criterios de rentabilidad para el proyecto, se analizó el mercado actual con productos similares al obtenido por el equipo utilizado para este proyecto, en el cual se observó que no hay una gran variedad de productos de las características de las cuales se presentan en este proyecto, de esta manera, junto a la demanda de producción estimada, se determinó un precio de venta base de producto extruido obtenido de \$8.00 por cada kilogramo, con el respectivo análisis realizado que cumple con la normativa nacional.

Con esta base de costos de producción para el primer año, se consideró un aumento de la producción anual en un 5% por un periodo de 10 años, contemplando el crecimiento poblacional, la capacidad de producción y aumento de la demanda del producto. A partir de aquí, se realizó una proyección de costos e ingresos, contemplando la variación de inflación en el país a lo largo de los años de vida del proyecto y se procedió a evaluar los indicadores de rentabilidad para determinar la viabilidad del proyecto, como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Tiempo de Retorno (PBP), a partir del Flujo de Caja generado por el proyecto, que se muestra en la Tabla 11, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 10

Indicadores de rentabilidad del proyecto

Indicador	Valor
VAN	\$ 25,273.12
TIR	21 %
PBP	1.19

Tabla 11

Flujo de caja efectivo

Años	Recuperación de Inversión
0	\$ (28,663.38)
1	\$ (491.27)
2	\$ 156.45
3	\$ 1,039.99
4	\$ 2,660.17
5	\$ 4,312.80
6	\$ 6,030.23
7	\$ 8,770.32
8	\$ 11,774.42
9	\$ 14,992.07
10	\$ 38,252.05

Así como se muestra en la Tabla 10 los indicadores muestran un VAN con un valor positivo de \$25,273.12, lo que evidencia que la implementación y puesta en marcha del proyecto a escala piloto será económicamente rentable. Además, se observa que el TIR fue del 21% que, comparado a la tasa de descuento de Ecuador el cual es del 12%, indica que el proyecto es rentable y generará grandes beneficios al término de la vida útil estipulada. Por último, el periodo de retorno se determinó que será en 1.19 años, lo que indica el punto en el cual se alcanza el equilibrio, recuperando rápidamente lo invertido inicialmente, el proyecto empieza a ver las ganancias obtenidas.

3.5 Rendimiento del proceso

El rendimiento del proceso de extrusión se evaluó considerando la relación entre la cantidad de materia prima utilizada y el peso del producto final obtenido. Durante las pruebas experimentales, se utilizó un kilogramo de griz de maíz como insumo en cada combinación experimental. Tras la extrusión y recolección del producto, se obtuvo un peso promedio de 700 g, lo que indica un rendimiento del 70%.

El 30% restante se atribuye a pérdidas inevitables en el proceso, como residuos retenidos en el tornillo del extrusor, partículas no extruidas y material adherido a las paredes del equipo. Estas pérdidas son consistentes con los valores reportados en estudios previos de extrusión industrial, donde el rendimiento oscila entre el 65% y el 75%, dependiendo de la configuración del equipo y las propiedades del material procesado

El rendimiento se mantiene dentro de parámetros aceptables para un proceso de extrusión a escala piloto. Este indicador respalda la viabilidad del proyecto y demuestra que el proceso es eficiente para la producción continua de productos extruidos. Sin embargo, en futuras implementaciones a nivel industrial, se podrían realizar ajustes en el diseño del tornillo y las condiciones operativas para minimizar las pérdidas y mejorar el rendimiento general.

CAPÍTULO 4

4. Conclusiones y Recomendaciones

4.1 Conclusiones

Tras la ejecución del proyecto y considerando los objetivos planteados, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- La optimización del proceso de extrusión fue alcanzada mediante el ajuste sistemático de las variables operativas principales: granulometría y humedad inicial de la materia prima. Los resultados mostraron que la combinación de una granulometría de 0,6 mm y un rango de humedad inicial de 19% permitió un flujo eficiente y continuo del material en el extrusor, reduciendo bloqueos y garantizando la estabilidad del proceso. Este ajuste logró un producto extruido con características óptimas, como alta expansión, textura crocante y uniformidad estructural, evidenciando que el enfoque metodológico empleado es adecuado para garantizar la eficiencia operativa y la calidad del producto final.
- Se identifican los valores de granulometría y humedad que generan mejores resultados en el proceso de extrusión del grano de maíz. La granulometría óptima para este estudio fue de 0,6 mm, ya que permitió una mayor expansión y formación de celdas en el producto. En cuanto a la humedad inicial, el rango de 19% favoreció una plastificación adecuada del material y un flujo uniforme dentro del extrusor. Estos parámetros son consistentes con estudios previos que destacan la importancia de estas variables en la calidad del producto final y su eficiencia de producción.
- Como parte del proyecto, se desarrolló un manual de operación que detalla las condiciones ideales del proceso, incluyendo la configuración del equipo, las temperaturas por zona, las velocidades de tornillo y cortador, y las recomendaciones para el encendido y apagado del extrusor. Este manual, diseñado con base en los resultados experimentales, proporciona una guía clara y estandarizada que asegura un uso eficiente y seguro del equipo.

Su implementación es clave para futuras investigaciones y actividades de producción en el Laboratorio de Soberanía Alimentaria de ESPOL.

- El producto obtenido en el proceso cumplió con los estándares fisicoquímicos presentes en la norma NTE INEN 2561 de la humedad y la grasa del producto final, alcanzando un contenido de humedad final inferior al 5% (4.5%) y niveles de grasa ajustados según la normativa que es inferior a 40% (1%). Estos resultados garantizan que el producto es apto para el consumo humano, cumple con los estándares de calidad y es competitivo en el mercado. Además, las propiedades sensoriales del producto, como su textura crocante y buen sabor, refuerzan su viabilidad como una opción alimentaria innovadora y saludable.

- El análisis económico integral demuestra que el proyecto es financieramente viable. Con un VAN positivo de \$ 25,273.12, una TIR de 21% (superando ampliamente la tasa de descuento del 12%) y un periodo de recuperación de inversión (PBP) de 1.19 años, se concluye que el proceso optimizado tiene potencial para ser rentable en un escenario comercial. Los costos de producción fueron manejables, y los ingresos proyectados, basados en el precio promedio del mercado para productos similares, evidencian que el proyecto puede generar beneficios sostenibles a largo plazo. Estos resultados confirman la posibilidad de escalar el proceso a nivel industrial y aprovechar las oportunidades del mercado de alimentos extruidos en Ecuador.

4.2 Recomendaciones

Tras culminar el proyecto propuesto, se identificaron áreas de oportunidad que pueden ser exploradas en futuros estudios para mejorar y ampliar los resultados obtenidos. A continuación, se presentan las principales recomendaciones basadas en las limitaciones y potenciales aplicaciones del trabajo desarrollado:

- Se recomienda realizar estudios que incluyan variables adicionales, como la velocidad del tornillo y del cortador, así como las temperaturas de cada zona del extrusor.

Esto permitiría un análisis más completo del impacto de estas condiciones en las propiedades físicas y sensoriales del producto final, optimizando aún más el proceso para obtener productos de mayor calidad.

- Aunque el presente trabajo se enfocó en rangos específicos de granulometría (0.4 mm y 0.6 mm) y humedad inicial (10-15% y 16-20%), se sugiere incluir valores intermedios y extremos en estudios futuros. Esto ayudaría a determinar si existen ajustes adicionales que puedan mejorar la eficiencia del proceso y la calidad del producto, especialmente en términos de expansión, textura y retención de grasa.
- Se recomienda investigar la incorporación de ingredientes funcionales, como proteínas vegetales, fibras o micronutrientes, para desarrollar productos extruidos con un mayor valor nutricional. Esto abriría nuevas oportunidades de mercado y respondería a la creciente demanda de alimentos funcionales y saludables.
- Es fundamental realizar pruebas en equipos de escala industrial para validar la viabilidad técnica y económica del proceso optimizado. Asimismo, se sugiere evaluar el impacto ambiental del proyecto, considerando el consumo energético del extrusor y el secador, así como el manejo de los residuos generados, con el objetivo de proponer estrategias que minimicen su huella ecológica.

Bibliografía

- Ačkar, Đ., Jozinović, A., Babić, J., Miličević, B., Panak Balentić, J., & Šubarić, D. (2018). Resolving the problem of poor expansion in corn extrudates enriched with food industry by-products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 47(2017), 517–524. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.05.004>
- Allai, F. M., Azad, Z. R. A. A., Dar, B. N., Gul, K., & Jabeen, A. (2022). *Breakfast cereals from whole grain and Indian horse chestnut flours obtained through extrusion: Physical, mechanical and functional characteristics*. *Applied Food Research*, 2(2), 100137.
- Asif, M. (2011). *Chemical and physical properties of breakfast cereals and snacks made from specialty sorghums and sorghum bran using twin screw extruder*. Texas A&M University. <http://oaktrust.library.tamu.edu/handle/1969.1/ETD-TAMU-2011-12-10521>
- Baca, L. (2016). *La producción de maíz amarillo en el Ecuador y su relación con la soberanía alimentaria*. Pontificia Universidad Católica Del Ecuador, 28. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/34213>
- Chevanan, N., Rosentrater, K. A., & Muthukumarappan, K. (2008). Effect of DDGS, moisture content, and screw speed on physical properties of extrudates in single-screw extrusion. *Cereal Chemistry*, 85(2), 132-139.
- Egal, A., & Oldewage-Theron, W. (2020). *Extruded food products and their potential impact on food and nutrition security*. *South African Journal of Clinical Nutrition*, 33(4), 142–143. <https://doi.org/10.1080/16070658.2019.1583043>
- Gil, C. G. (2018). *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): una revisión crítica*. *Papeles de relaciones eco sociales y cambio global*, (140), 107-118.
- He, Y., Allen, J., & Huang, H. (2023). *Food By-Products Valorization Technologies: Brewer's Spent Grain*. *Sustainable Food Science - A Comprehensive Approach*, 447–463. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823960-5.00091-3>

- INEN, NTE 2561 (2010). *Bocaditos de productos vegetales. Requisitos*. Quito.
- INEN, NTE 523 (1980). *Harinas de origen vegetal: Determinación de grasa*. Quito.
- INEN, NTE 2051 (2013). *Cereales y leguminosas. Maíz molido, sémola, harina, gritz. Requisitos*. Quito.
- Karun, G., Sukumar, A., Nagamianiammai, G., & Preetha, R. (2023). *Development of multigrain ready-to-eat extruded snack and process parameter optimization using response surface methodology*. *Journal of Food Science and Technology*, 60(3), 947-957.
- Medina-Rendon, E. A., Guatemala-Morales, G. M., Padilla-Camberos, E., Corona-González, R. I., Arriola-Guevara, E., & García-Fajardo, J. A. (2021). *Production of Extrudate Food with Mango By-Products (Mangifera indica): Analysis of Physical, Chemical, and Sensorial Properties*. *Processes* 2021, (Vol. 9, 1660) <https://doi.org/10.3390/PR9091660>
- Mensah-Agyapong, J., & Horner, W. F. (1992). Nixtamalisation of maize (*Zea mays* L) using a single screw cook-extrusion process on lime-treated grits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 60(4), 509-514.
- Moscicki, L. (Ed.). (2011). *Extrusion-cooking techniques: applications, theory and sustainability*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9783527634088>
- Sandrin, R., Caon, T., Zibetti, A. W., & De Francisco, A. (2018). *Effect of extrusion temperature and screw speed on properties of oat and rice flour extrudates*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(9), 3427-3436. <https://doi.org/10.1002/JSFA.8855>
- Santacruz, S., Cadena, C., & Yáñez, S. (2022). *Elaboración de un snack salado extruido expandido a base de chocho (Lupinus mutabilis) y maíz*. Espamciencia. https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v13i1.223
- Sharifi, S., Majzoobi, M., & Farahnaky, A. (2021). Effects of particle size and moisture content of maize grits on physical properties of expanded snacks. *Journal of Texture Studies*, 52(1), 110-123.

Singh, S., Gamlath, S., & Wakeling, L. (2007). *Nutritional aspects of food extrusion: a review*. International Journal of Food Science & Technology, 42(8), 916-929.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01309.x>

Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & Ibanoglu, S. (2008). *The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology*. Journal of Cereal Science, 47(3), 469–479. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2007.05.016>

Sun, P. D.-W. (2012). *Advances in Food Extrusion Technology*. Advances in Food Extrusion Technology.

Yadav, K. C., Karhale, H. B., & Singh, M. (2023). *Food Extrusion: A Highly Popular Technology to Process*. Indian Journal of Food Engineering (IJFE), 2(3), 1-8.

<https://doi.org/10.54105/ijfe.c1005.062323>

Apéndice A: Manual de Operación para prácticas de laboratorio

1. Objetivo General:

Demostrar el proceso de extrusión del gritz de maíz bajo condiciones óptimas de operación mediante técnicas experimentales y análisis fisicoquímicos para la evaluación de la calidad del producto final, como su contenido de humedad, grasa y textura.

2. Materiales y Equipos

Reactivos:

- Gritz de maíz (grano de 0.6 mm).
- Agua destilada
- Aceite grado alimenticio
- Arena
- Éter anhidro

Materiales:

- Mortero
- Brocha de cocina
- Embudo
- Pinza metálica
- Vidrio reloj
- Soporte universal
- Balón de fondo plano
- Equipo de extracción Soxhlet

- Cristalizador

- Probeta de 250 mL \pm 0.5 mL.

Equipos:

- Extrusor de tornillo simple (Marca MAPINPIANTI, modelo Gelatinizzatore G55).
- Termobalanza (KERN MLS-50-3).
- Secador de tambor (PAVAN, modelo CP ESS).
- Balanza analítica (Ohaus Pioneer PA214) \pm 0.001g.
- Plancha de calentamiento (Marca Thermolyne modelo SP46925)
- Sorbona

3. Procedimiento

a. Preparación de la Materia Prima

1. Tamizar el griz de maíz para obtener partículas de 0.6 mm de granulometría.
2. Determinar la humedad inicial del griz utilizando la termobalanza.
3. Calcular la cantidad de agua necesaria para alcanzar el 19% de humedad inicial
4. Rociar el agua calculada sobre el griz y mezclar uniformemente.
5. Verificar la humedad ajustada en tres puntos (superior, medio, inferior) del lote y registrar el promedio.

b. Configuración del Extrusor

1. Limpiar el extrusor y verificar que no queden residuos de corridas anteriores.
2. Engrasar el tornillo principal y el de la alimentación forzada con grasa de grado alimenticio con ayuda de una brocha de cocina.
3. Abrir las válvulas correspondientes a las líneas de agua fría y de calentamiento 4 y 5
4. Encender el compresor y ajustar la presión de aire comprimido a 6 bares para alimentar las electroválvulas del sistema de control (o aproximadamente 45° de apertura de la válvula).
5. Ajustar las temperaturas del extrusor:
 - Zona 1 (Alimentación): 85 °C.
 - Zona 2 (Transición): 135 °C.
 - Zona 3 (Fusión): 155 °C.
 - Zona 4 (Compresión): 165 °C.
 - Cabezal: 140 °C.
6. Configurar la velocidad del tornillo a 150 RPM, la alimentación forzada a 20 Hz y el cortador a 25 Hz.

Nota: Encender las resistencias 30-45 minutos antes del inicio de la práctica para estabilizar las temperaturas.

c. Extrusión del Producto

1. Operar el extrusor prendiendo los tornillos y monitorear siempre las condiciones de operación (temperaturas, presión y flujo constante).
2. Alimentar 1 kg de la mezcla con 19% de humedad inicial por la bandeja del pre-mezclador con ayuda de un embudo manteniendo un flujo constante para toda la mezcla.
3. Recolectar el producto extruido en bandejas de malla ubicadas a la salida del cortador.
4. Inyectar aceite con un flujo mínimo en el tornillo del extrusor para remover residuos.
5. Apagar el tornillo, la alimentación forzada y las resistencias; en ese orden.
6. Abrir el cabezal del extrusor para limpieza final.
7. Pesar todo el producto extruido y anotar su valor.
8. Tomar una muestra representativa del producto para medir la humedad a la salida del extrusor (debe estar entre 7-8%)

d. Secado del Producto

1. Transferir el producto extruido al secador de tambor ajustado a 80 °C por 30 minutos.
2. Retirar el producto del secador y tomar una muestra para determinar el contenido de humedad final del producto (menor al 5%) utilizando una termobalanza. Anotar su valor.

e. Contenido de grasa

1. Seleccionar una muestra representativa del producto extruido seco.
2. Pesar en un vidrio reloj aproximadamente 2.35 g de muestra triturada anteriormente con un mortero en la balanza analítica con una precisión mínima de 0.0001 g.
3. Mezclar la muestra con 2 g de arena purificada y colocarla en un dedal de celulosa.
4. Introducir el dedal con la muestra dentro del sistema de extracción Soxhlet.
5. Secar un balón de fondo plano y pesarlo. Anotar su valor.
6. Llenar el balón con 150 ml de éter anhidro (o suficiente para permitir una extracción continua).

7. Conectar el extractor Soxhlet al balón y montar el condensador en la parte superior del sistema. Ajustar todo el sistema con pinzas en las uniones con ayuda de un soporte universal.
8. Encender la plancha de calentamiento y ajustar a una temperatura que permita una velocidad de condensación de 5-6 gotas por segundo en el condensador.
9. Dejar que el sistema funcione durante 4 horas, asegurando una extracción completa del contenido graso.
10. Una vez finalizada la extracción, retirar el dedal de Soxhlet con una pinza metálica.
11. Proceder con la recuperación del solvente realizando una destilación del simple dejando únicamente el residuo graso.
12. Dentro de una sorbona realizar un baño María para eliminar residuos del solvente con un cristalizador y la plancha de calentamiento sosteniendo el balón con una pinza metálica.
13. Secar el residuo graso restante en una estufa a 100 ± 5 °C durante 30 minutos.
14. Enfriar el balón con el residuo graso en un desecador por 15 minutos.
15. Pesar el balón con el residuo graso utilizando una balanza analítica.
16. Repetir el proceso de secado y pesaje hasta obtener un peso constante (diferencia menor a 0.2 mg entre dos mediciones consecutivas).

4. Cálculos

Cantidad de agua para alcanzar la humedad inicial:

$$\text{Agua a añadir (g)} = \text{Peso inicial (g)} \times \frac{\text{Humedad final deseada (\%)} - \text{Humedad inicial (\%)}}{100 - \text{Humedad final deseada (\%)}}$$

Peso del residuo graso:

$$\text{Residuo graso (g)} = \text{Peso del balón con residuo graso (g)} - \text{Peso del balón vacío (g)}$$

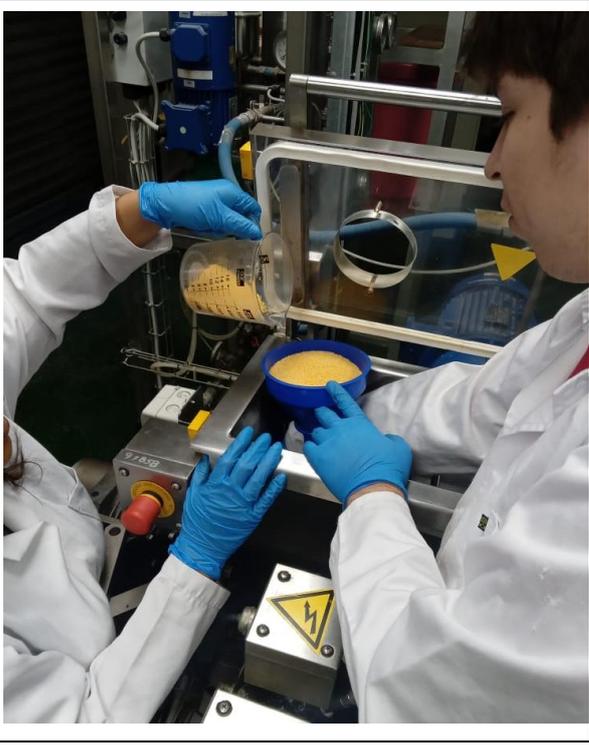
Contenido de Grasa:

$$\text{Grasa (\%)} = \frac{\text{Peso del residuo graso (g)}}{\text{Peso inicial de la muestra (g)}} * 100$$

Rendimiento del proceso

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Peso del producto extruído (g)}}{\text{Peso inicial de la mezcla(g)}} * 100$$

Apéndice B: Evidencias fotográficas de la experimentación

<p>Ajuste de humedad inicial, preparación de mezcla</p>	<p>Lectura de la humedad inicial por triplicado en la termobalanza</p>
	
<p>Engrasado del tornillo de extrusión con grasa comestible</p>	<p>Alimentación de la mezcla con un embudo a flujo constante</p>
	

Inyección de aceite para remoción de residuos



Recolección de producto extruido a la salida del extrusor



Almacenamiento de la muestra del producto extruido para lectura de la humedad a la salida del extrudor



Secado del producto extruido en el secador de tambor



Lectura de la humedad final del producto extruido secado por triplicado



Trituración del extruido secado en un mortero para el contenido de grasa



Montaje del sistema de extracción Soxhlet



Acumulación de la grasa en el fondo del balón luego del secado en la estufa



Apéndice C: Ficha técnica del griz de maíz

Proveedor	Grupo SIMA
Información general	
Descripción	Se obtienen de granos de maíz <i>Zea mays</i> L., con madurez comercial, en buen estado, sanos, exentos de impurezas, moho, semillas de malas hierbas, y otros cereales, mediante el proceso de molienda, en el que se pulveriza el grano hasta obtener un grado de finura. Obteniendo así un producto de calidad, uniforme, de color amarillo y granulometría específica.
Descomposición	100% maíz amarillo
Uso	Materia prima para la elaboración de snacks, o mezclas con otros ingredientes. Como ingrediente que se puede precocer y se muele parcialmente para elaborar cereales para desayunos, snacks, aperitivos y alimentos infantiles.
Parámetros fisicoquímicos	
Humedad (Máx)	14.00%
Proteína B.S. (F=6.25) (Mín)	8.00%
Grasa B.S. (Máx)	2.00%
Contaminantes	
Plomo	< 0.20 mg/kg
Aflatoxinas	< 10 ppb
Parámetros microbiológicos	
Mohos y Levaduras	< 10 ⁵ UPM/g
Parámetros sensoriales	
Color	Amarillo
Olor	Característico, libre de olores a moho, agroquímicos, fermento o cualquier otro olor que se considere objetable.
Sabor	Característico
Granulometría	
De acuerdo a la especificación del cliente.	
Empaque y almacenamiento	
Empaque	Sacos de polipropileno
Presentación	25 kg, 50 kg, o según requiera el cliente

Almacenamiento	Se almacena en pallets en buen estado, en un lugar que impida cualquier contaminación fisicoquímica o biológica, libre de humedad y a temperatura menor a 25 °C.
Vida útil	Seis meses en las condiciones de almacenamiento mencionadas.
Transporte	Apto para el transporte de alimentos, libre de material contaminante, exclusivo para el transporte del producto.

Apéndice D: Análisis económico

Flujo de caja de inversión de proyecto

DETALLE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VENTAS		\$ 48,000.00	\$ 51,387.84	\$ 54,669.47	\$ 58,103.26	\$ 61,752.72	\$ 65,631.41	\$ 69,753.72	\$ 74,134.95	\$ 78,791.37	\$ 83,740.25
Costos Variables		\$ 28,758.79	\$ 30,788.58	\$ 32,125.09	\$ 33,698.05	\$ 35,382.95	\$ 37,152.10	\$ 39,009.71	\$ 40,960.19	\$ 43,008.20	\$ 45,158.61
MARGEN DE CONTRIBUCION		\$ 19,241.21	\$ 20,599.26	\$ 22,544.38	\$ 24,405.20	\$ 26,369.77	\$ 28,479.31	\$ 30,744.01	\$ 33,174.76	\$ 35,783.16	\$ 38,581.64
Costos Fijos		\$ 15,259.98	\$ 15,559.08	\$ 15,764.46	\$ 15,956.78	\$ 16,151.45	\$ 16,348.50	\$ 16,547.95	\$ 16,749.84	\$ 16,954.19	\$ 17,161.03
Depreciación		\$ 2,118.61	\$ 2,118.61	\$ 2,118.61	\$ 2,118.61	\$ 2,118.61	\$ 2,118.61	\$ 2,118.61	\$ 2,118.61	\$ 2,118.61	\$ 2,118.61
Amortización de activos diferidos		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
UTILIDAD OPERATIVA		\$ 1,862.63	\$ 2,921.58	\$ 4,661.32	\$ 6,329.82	\$ 8,099.71	\$ 10,012.20	\$ 12,077.45	\$ 14,306.31	\$ 16,710.37	\$ 19,302.01
Gastos Financieros (Intereses)		\$ 812.30	\$ 724.42	\$ 628.49	\$ 523.79	\$ 409.51	\$ 284.77	\$ 148.61			
UTILIDAD ANTES DE PARTICIPACION		\$ 1,050.32	\$ 2,197.16	\$ 4,032.82	\$ 5,806.03	\$ 7,690.20	\$ 9,727.43	\$ 11,928.84	\$ 14,306.31	\$ 16,710.37	\$ 19,302.01
15% TRABAJADORES		\$ 157.55	\$ 329.57	\$ 604.92	\$ 870.90	\$ 1,153.53	\$ 1,459.12	\$ 1,789.33	\$ 2,145.95	\$ 2,506.56	\$ 2,895.30
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS		\$ 892.78	\$ 1,867.58	\$ 3,427.90	\$ 4,935.12	\$ 6,536.67	\$ 8,268.32	\$ 10,139.51	\$ 12,160.37	\$ 14,203.82	\$ 16,406.70
25% IMPUESTOS		\$ 223.19	\$ 466.90	\$ 856.98	\$ 1,233.78	\$ 1,634.17	\$ 2,067.08	\$ 2,534.88	\$ 3,040.09	\$ 3,550.95	\$ 4,101.68
UTILIDAD NETA		\$ 669.58	\$ 1,400.69	\$ 2,570.93	\$ 3,701.34	\$ 4,902.50	\$ 6,201.24	\$ 7,604.64	\$ 9,120.27	\$ 10,652.86	\$ 12,305.03
Amortización Deuda		\$ 1,772.79	\$ 1,772.79	\$ 1,772.79	\$ 1,772.79	\$ 1,772.79	\$ 1,772.79	\$ 1,772.79	\$ 1,772.79	\$ 1,772.79	\$ 1,772.79
Depreciación		\$ 2,118.61	\$ 2,118.61	\$ 2,118.61	\$ 2,118.61	\$ 2,118.61	\$ 2,118.61	\$ 2,118.61	\$ 2,118.61	\$ 2,118.61	\$ 2,118.61
Amortización de diferidos		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión	\$ (19,785.76)										
Capital de trabajo	\$ (8,877.61)										
Prestamo	\$ 8,877.61										
Valor de Liquidación de Capital de trabajo											\$ 8,877.61
Reinversión de Activos Fijos				\$ 626.51			\$ 626.51			\$ 626.51	
Valor de descho de Activos Fijos				\$ 313.25			\$ 313.25			\$ 313.25	\$ 9,872.55
FLUJO DE CAJA NETO	\$ (19,785.76)	\$ 1,015.40	\$ 1,746.51	\$ 2,603.49	\$ 4,047.16	\$ 5,248.32	\$ 6,233.81	\$ 7,950.46	\$ 9,466.10	\$ 10,685.43	\$ 31,401.01
TMAR	16.97%										
TIR	21%										
VAN	\$ 25,273.12										

Proyección de costos de producción y de ingresos totales

Precio de venta	\$8 .00 por Kg		
Crecimiento	5% anual		
Año	Producción	Costos totales	Ingresos estimados
1	6000	\$ 44,018.77	\$ 48,000.00
2	6300	\$ 46,347.66	\$ 51,387.84
3	6615	\$ 47,889.54	\$ 54,669.47
4	6946	\$ 49,654.83	\$ 58,103.26
5	7293	\$ 51,534.41	\$ 61,752.72
6	7658	\$ 53,500.60	\$ 65,631.41
7	8041	\$ 55,557.66	\$ 69,753.72
8	8443	\$ 57,710.03	\$ 74,134.95
9	8865	\$ 59,962.39	\$ 78,791.37
10	9308	\$ 62,319.64	\$ 83,740.25