



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS**  
**AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN**  
**CURRICULAR, MODALIDAD TESIS**

**TEMA:**

**“Evaluación de las Condiciones de Extrusión en las Características del  
Producto Extruido a Base de Maíz *Zea Mays*, Lenteja *Lens Culinaris* y Yuca  
*Manihot Esculenta Crantz.*”**

**Trabajo de titulación previa a la obtención del título de Ingeniera Agroindustrial**

**Línea de investigación: Gestión, producción, productividad, innovación y desarrollo  
socioeconómico.**

**Autora: Iralda Alexandra Ipiales Moreta.**

**Directora: Ing. Bélgica Normandi Bermeo Córdova, PhD**

**Ibarra-2024**



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

#### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la ley de educación superior, hago le entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003153499
APELLIDOS Y NOMBRES:	Ipiales Moreta Iralda Alexandra
DIRECCIÓN:	San Antonio
EMAIL:	<a href="mailto:iaipialesm@utn.edu.ec">iaipialesm@utn.edu.ec</a>
TELÉFONO MÓVIL:	0984020724
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"Evaluación de las Condiciones de Extrusión en las Características del Producto Extruido a Base de Maíz <i>Zea Mays</i> , Lenteja <i>Lens Culinaris</i> y Yuca <i>Manihot Esculenta Crantz</i> ."
AUTOR:	Ipiales Moreta Iralda Alexandra
FECHA:	23-02-2024
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO:	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera En Agroindustrias
ASESOR / DIRECTOR:	Ing. Bégica Normandi Bermeo Córdova, PhD

#### 2. CONSTANCIAS

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es la titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 23 días de febrero del 2024

LA AUTORA:

(Firma)

Iralda Alexandra Ipiales Moreta

**CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE  
INTERGRACIÓN CURRICULAR**

**Ibarra, 23 de febrero del 2024**

**Dra. Bélgica Bermeo**

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**CERTIFICA:**

**Haber revisado el informe final del trabajo de Integración Curricular, que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.**

**Ing. Bélgica Normandi Bermeo Córdova, PhD**

***C.C.: 1102325469***

### APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificador del trabajo de Integración Curricular “EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE EXTRUSIÓN EN LAS CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO EXTRUIDO A BASE DE MAÍZ *ZEA MAYS*, LENTEJA *LENS CULINARIS* Y YUCA *MANIHOT ESCULENTA CRANTZ*.” elaborado por la señorita **Iralda Alexandra Ipiales Moreta**, previo a la obtención del título de Ingeniero (a) Agroindustrial, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f):.....  
Dra. Bélgica Normandi Berneo Córdova, PhD  
C.C. 1102325469

(f):.....  
.....  
Msc. Armando Manosalvas  
C.C. 1001772134

## **DEDICATORIA**

A Dios, por darme fuerzas para superar los obstáculos y dificultades a lo largo de mi vida y darme la oportunidad de alcanzar esta meta.

A mi esposo Diego T y mis hijos Tomas, Francisco y Martin, por su amor, esfuerzo y comprensión para que este logro sirva de impulso y ejemplo para su futura formación profesional.

A mis padres Magdalena M, Marceliano I, por ser mi aliento y soporte durante estos años.

A mis hermanos Juan Carlos, Marcelo y Christian, por su cariño brindado.

## AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica del Norte, por haberme brindado la oportunidad de formarme profesionalmente y al Instituto Nacional de investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Santa Catalina (INIAP), especialmente al Departamento de Nutrición y Calidad que abrió las puertas para el desarrollo de la tesis.

Al Ing. Ángel Satama, por los conocimientos compartidos como catedrático y por ser la guía en la realización de esta tesis.

A la Ing. Elena Villacrés investigadora del INIAP, por el conocimiento compartido, apoyo y consejos brindados durante el trabajo de investigación.

Agradezco al Ing. Armando Manosalvas, por haber depositado en mi la confianza para la realización de este proyecto y a la vez compartido sus conocimientos.

A la Ing. Bélgica Bermeo por haberme brindado los conocimientos como catedrático, por su paciencia y comprensión por ser una fuente de inspiración y motivación.

A mis amig@s, hermanos y a todas las personas que me brindaron su apoyo para el desarrollo de la investigación.

## RESUMEN EJECUTIVO

Los snacks, gracias al avance en tecnología de extrusión y la combinación de cereales, leguminosas y tubérculos, se han convertido en alimentos de consumo popular con una composición diversa y un mayor contenido nutricional. Este estudio se centró en evaluar el impacto de las condiciones de extrusión en las características de un producto extruido a base de maíz, lenteja y yuca, empleando un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial  $A \times B \times C$  para investigar tres factores: los porcentajes de humedad de la mezcla (9% y 14%), la temperatura de la cámara de extrusión (170°C y 200°C), y la formulación de la mezcla (maíz 70% + lenteja 15% + yuca 15% y maíz 80% + lenteja 10% + yuca 10%). Los análisis estadísticos se realizaron mediante la prueba de Tukey al 5%, y adicionalmente, se efectuaron pruebas organolépticas con un panel de 10 estudiantes evaluando olor, color y sabor a través de una escala hedónica de 6 puntos, cuyos datos se analizaron con la prueba de Friedman al 5%. Los resultados indicaron que la mezcla con 70% maíz, 15% lenteja, y 15% yuca, con un 14% de humedad y a 170°C, alcanzó la mayor aceptabilidad, demostrando que la inclusión de leguminosas y tubérculos mejora significativamente el valor nutricional y la calidad del producto extruido.

## INDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	19
Problema .....	19
Justificación .....	20
Objetivos .....	21
Formulación de la hipótesis .....	21
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO .....	22
1.1. Descripción del Snack .....	22
1.1.1. Snack .....	22
1.1.1.1 Composición Nutricional del Snack .....	22
1.2. Descripción de Materias Primas .....	23
1.2.1. Yuca .....	24
1.2.1.1 Variedades de Yuca. ....	24
1.2.1.2 Composición Química de la Yuca. ....	25
1.2.1.3 Harina de Yuca. ....	26
1.2.2. Lenteja .....	26
1.2.2.1 Composición Química y Nutricional de la Lenteja. ....	27
1.2.2.2 Importancia y Producción .....	28
1.2.3. Maíz .....	28
1.2.3.1 Variedades. ....	29
1.2.3.2 Propiedades fisicoquímicas. ....	29
1.2.3.3 Características de Grits de Maíz .....	30
1.3. Características del Almidón .....	31

1.3.1. Almidón .....	31
1.3.2. Propiedades funcionales del almidón.....	32
1.4. Selección de Materias Primas para la Extrusión .....	32
1.4.1. Humedad .....	33
1.4.2. Tamaño de la Partícula.....	33
1.4.3. Estado Físico de la Mezcla.....	34
1.4.4. Composición Química.....	34
1.5. Extrusión .....	34
1.5.1. Proceso de Extrusión.....	35
1.5.1.1 Ventajas en el proceso de extrusión .....	36
1.6. Clasificación de Extrusores .....	36
1.6.1. Extrusores en Caliente .....	36
1.6.2. Extrusión en Frío.....	37
1.6.3. Extrusor de Tornillo Simple.....	37
1.6.4. Extrusor de Doble Tornillo .....	37
1.7. Componentes del Extrusor .....	38
1.7.1. Tolva de Recepción.....	38
1.7.2. Tornillo de Extrusión .....	39
1.7.3. Cilindro .....	39
1.7.4. Plato Rompedor.....	40
1.7.5. Cabezal y Boquilla .....	40
1.8. Condiciones de Operación Durante la Extrusión .....	41
1.8.1. Temperatura .....	41
1.8.2. Diámetro de Orificio de los Tornillos .....	42

	10
1.8.3. Velocidad de cizallada .....	42
1.9. Cambios Nutricionales Durante la Extrusión.....	42
1.9.1. Carbohidratos .....	42
1.9.2. Almidón .....	43
1.9.3. Retrogradación de los Almidones .....	43
1.9.4. Lípidos .....	43
1.9.5. Proteínas.....	43
1.9.6. Vitaminas .....	44
1.9.7. Fibra .....	44
1.10. Parámetros que Influyen en la Calidad del Producto Extruido. ....	45
1.10.1. Índice de Absorción de Agua (WAI) .....	45
1.10.2. Índice de Solubilidad en agua (WSI) .....	45
1.10.3. Índice de Expansión .....	45
1.10.4. Densidad Aparente.....	46
1.11. Textura en los Extruidos.....	46
1.12. Calidad Nutricional de los Extruidos.....	47
<b>CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>48</b>
2.1. Caracterización de Estudio.....	48
2.2. Materiales y Equipos .....	48
2.3. Descripción de la Metodología .....	49
2.4. Propiedades Físicoquímicas de las Materias Primas (grits) y Producto Extruido. ....	50
2.5. Efecto de la Temperatura de Extrusión, Humedad y Combinación de la Mezcla. ....	51
2.5.1. Factores en Estudio .....	51
2.5.2. Tratamientos.....	52

	11
2.6. Diseño Experimental .....	53
2.6.1. Análisis Estadístico .....	54
2.7. Aceptabilidad, Textura Instrumental y Sensorial del Snack. ....	55
2.7.1. Análisis de Aceptabilidad .....	55
2.7.2. Análisis de Textura Instrumental .....	56
2.7.3. Análisis de Textura Sensorial .....	56
2.8. Efecto del Proceso de Extrusión Sobre la Funcionalidad del Producto Extruido. ....	57
2.9. Manejo Especifico del Experimento .....	58
2.9.1. Diagrama de Flujo del Proceso de Extrusión.....	58
2.9.2. Descripción del Proceso de Extrusión .....	59
2.9.2.1    Pesado y Formulación de las Mezclas de Grits. ....	59
2.9.2.2    Mezclado de los grits.....	59
2.9.2.3    Acondicionado de Humedad de las Mezclas. ....	60
2.9.2.4    Extrusión.....	61
2.9.2.5    Envasado y almacenamiento. ....	62
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	63
3.1. Caracterización Físicoquímica de las Materias Primas.....	63
3.2. Variables Físico-Químicas en los Productos Extruidos .....	65
3.2.1. Humedad del Producto Extruido.....	68
3.2.2. Cenizas del Producto Extruido.....	70
3.2.3. Proteína del Producto Extruido .....	71
3.2.4. Extracto Etéreo del Producto Extruido. ....	72
3.2.5. Carbohidratos del Producto Extruido.....	75
3.2.6. Fibra .....	76

3.3. Evaluación de la Aceptabilidad Organoléptica e Instrumental de los Productos Extruidos .....	78
3.3.1. Evaluación de Aceptabilidad Sensorial de la Textura (Panel de Degustadores capacitados) .....	78
3.3.2. Evaluación de Aceptabilidad Organoléptica (Panel de Consumidores) .....	81
3.3.2.1. Color.....	82
3.3.2.2. Olor.....	83
3.3.2.3. Sabor.....	84
3.3.2.4. Textura .....	85
3.3.3. Textura Instrumental del Producto Extruido.....	87
3.4. Resultados Sobre la Funcionalidad del Producto Extruido .....	89
3.4.1. Índice de Solubilidad en Agua (ISA).....	90
3.4.2. Índice de Absorción del Agua (IAA).....	92
3.4.3. Índice de Expansión.....	94
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	97
BIBLIOGRAFÍA .....	99
ANEXOS .....	109

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Requerimiento nutricional para el producto extruido.....</i>	23
<i>Tabla 2. Variedades de yuca según su color de pulpa. ....</i>	25
<i>Tabla 3. Composición química de yuca en base húmeda y seca. ....</i>	25
<i>Tabla 4. Características fisicoquímicas de la harina de yuca.....</i>	26
<i>Tabla 5. Composición química de la lenteja. ....</i>	27
<i>Tabla 6. Composición química del maíz.....</i>	30
<i>Tabla 7. Requisitos de la sémola, harina, grits de maíz. ....</i>	30
<i>Tabla 8. Composición del almidón. ....</i>	32
<i>Tabla 9. Condiciones climatológicas de las áreas de estudio. ....</i>	48
<i>Tabla 10. Condiciones climatológicas de las áreas de estudio. ....</i>	49
<i>Tabla 11. Análisis fisicoquímico de la materia primas y producto extruido.....</i>	50
<i>Tabla 12. Factores de Diseño Experimental. ....</i>	52
<i>Tabla 13. Nomenclatura de tratamientos. ....</i>	53
<i>Tabla 14. Parámetros de extrusión modelo ASA-D3.....</i>	54
<i>Tabla 15. Análisis de varianza.....</i>	55
<i>Tabla 16. Análisis de textura instrumental. ....</i>	56
<i>Tabla 17. Análisis de textura sensorial.....</i>	57
<i>Tabla 18. Análisis funcional del producto extruido.....</i>	57
<i>Tabla 19. Análisis de humedad inicial de la formulación de las mezclas. ....</i>	60
<i>Tabla 20. Composición físico-química de las materias primas.....</i>	64
<i>Tabla 21. Análisis de varianza para la variable humedad del producto extruido. ....</i>	67

<i>Tabla 22. Análisis de Varianza de los Atributos de Textura Sensorial del Producto Extruido el Análisis de.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 23. Valores Promedios del Análisis de Textura Sensorial del Producto Extruido.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 24. Valores de Análisis de Aceptabilidad del producto extruido. ....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 24. Análisis de varianza para atributos de textura instrumentos del producto extruido. .</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 25. Valores promedios para atributos de textura instrumental del producto extruido. ....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 27. Análisis de varianza de variable funcionales para el producto extruido.....</i>	<i>90</i>

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Yuca</i> .....	24
<i>Figura 2. Lenteja</i> .....	27
<i>Figura 3. Maíz</i> .....	29
<i>Figura 4. Extrusor de doble tornillo ASA-D30</i> .....	38
<i>Figura 5. Tornillos gemelos</i> .....	39
<i>Figura 6. Sistema de calefacción</i> .....	40
<i>Figura 7. Sistema de corte</i> .....	41
<i>Figura 8. Pesado de materia prima</i> .....	59
<i>Figura 9. Acondicionado de las mezclas</i> .....	61
<i>Figura 10. Extrusión</i> .....	62
<i>Figura 11. Envasado y almacenamiento</i> .....	62
<i>Figura 12. Contenido de humedad (%) del producto extruido</i> .....	68
<i>Figura 13. Contenido de ceniza del producto extruido %</i> .....	70
<i>Figura 14. Contenido de proteína del producto extruido %</i> .....	72
<i>Figura 15. Extracto etéreo del producto extruido</i> .....	73
<i>Figura 16. Diagrama de pareto para extracto etéreo</i> .....	74
<i>Figura 17. Contenido de Carbohidratos del producto extruido (%)</i> .....	75
<i>Figura 18. Contenido de Fibra del Producto Extruido (%)</i> .....	77
<i>Figura 19. Diagrama de barras para la variable color</i> .....	82
<i>Figura 20. Diagrama de barras para la variable olor</i> .....	83
<i>Figura 21. Diagrama de barras para la variable sabor</i> .....	84

<i>Figura 22. Diagrama de barras para la variable textura .....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 23. Índice de solubilidad en agua en extruidos (%) .....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 24. Índice de absorción en agua en extruidos .....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 25. Índice de expansión en extruidos (%).....</i>	<i>95</i>

## INDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1. Métodos de análisis fisicoquímica de las materias primas y producto extruido.....</i>	109
<i>Anexo 2. Métodos de análisis de textura instrumental del producto extruido.....</i>	115
<i>Anexo 3. Métodos de análisis funcional del producto extruido.....</i>	115
<i>Anexo 4. Análisis de varianza para la variable humedad del producto extruido.....</i>	117
<i>Anexo 5. Desviación estándar para la variable humedad del producto extruido .....</i>	118
<i>Anexo 6. Valores promedios de humedad en el producto extruido por efecto de la interacción de la Humedad de la mezcla (A) x Temperatura de la cámara de extrusión (B). .....</i>	118
<i>Anexo 7. Análisis de varianza para la variable proteína del producto extruido.....</i>	119
<i>Anexo 8. Valores promedios de la ceniza en el producto extruido por efecto de la formulación de la mezcla.....</i>	119
<i>Anexo 9. Análisis de varianza para la variable proteína del producto extruido.....</i>	120
<i>Anexo 10 Valores promedios de extracto etéreo en el producto extruido por efecto de las interacciones AC.....</i>	120
<i>Anexo 11. Análisis de varianza para la variable extracto etéreo del producto extruido .....</i>	121
<i>Anexo 12. Valores promedios de proteína en el producto extruido por efecto de las interacciones .....</i>	122
<i>Anexo 13. Análisis de varianza para la variable fibra del producto extruido .....</i>	122
<i>Anexo 14. Valores promedios de fibra en el producto extruido por efecto de la interacción de la Humedad de la mezcla (A) x Temperatura de la cámara de extrusión (B). .....</i>	123
<i>Anexo 15. Análisis de varianza para la variable carbohidratos del producto extruido.....</i>	124

<i>Anexo 16. Análisis de varianza para la variable índice de solubilidad en agua del producto extruido .....</i>	<i>124</i>
<i>Anexo 17. Valores promedios de proteína en el producto extruido por efecto de las interacciones .....</i>	<i>125</i>
<i>Anexo 18. Análisis de varianza para la variable índice de absorción de agua del producto extruido .....</i>	<i>126</i>
<i>Anexo 19. Análisis de varianza para la variable índice de expansión del producto extruido ..</i>	<i>127</i>
<i>Anexo 20. Análisis de varianza para la variable índice de solubilidad en agua del producto extruido .....</i>	<i>127</i>
<i>Anexo 21. Resultados de los Análisis Proximales de las mezclas .....</i>	<i>128</i>
<i>Anexo 22. Resultados de los análisis funcionales de los productos extruidos .....</i>	<i>129</i>
<i>Anexo 23. Resultados de los análisis proximales de productos extruidos.....</i>	<i>130</i>
<i>Anexo 24. Ficha de Perfil de Textura Sensorial.....</i>	<i>131</i>
<i>Anexo 25. Ficha de Aceptabilidad del producto extruido .....</i>	<i>132</i>
<i>Anexo 26. Cantidad de harina y de agua según la humedad de la harina.....</i>	<i>133</i>
<i>Anexo 27. Especificaciones del Extrusor para Laboratorio.....</i>	<i>134</i>

## INTRODUCCIÓN

### PROBLEMA

Actualmente en Ecuador, la prevalencia de enfermedades relacionadas con la alimentación, tales como obesidad, sobrepeso y la desnutrición crónica, destacan como problemas de salud pública. Entre otras razones, esto se debe al alto consumo de dietas ricas en calorías, grasa saturada, grasas trans, sodio y azúcar agregada; con un porcentaje bajo en fibra, proteínas y micronutrientes (FAO, 2019). La Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT 2018) muestra un alarmante 70% de consumo de alimentos de alto valor energético y bajo aporte nutricional específicamente en niños, evidenciando una urgente necesidad de intervención nutricional (Mendoza et al., 2018).

Los snacks, predominantemente compuestos por granos de cereal, presentan una oportunidad significativa para mejora nutricional mediante la inclusión de ingredientes subutilizados con alto valor nutricional, como la lenteja (*Lens culinaris*) y la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). A pesar de sus conocidos beneficios, estos ingredientes raramente se incorporan en la producción de alimentos industrializados, limitando su potencial para mejorar la calidad nutricional de la dieta infantil (García, 2017). Este estudio busca explorar el aprovechamiento de estas materias primas locales en la elaboración de snacks nutritivos, ofreciendo una solución innovadora a los desafíos nutricionales actuales.

## JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, los cambios en los hábitos alimentarios hacia un mayor consumo de alimentos industrializados, especialmente los snacks —productos de fácil manejo, que vienen en porciones individuales y no requieren cocción (Sisú, 2021)—, representan un desafío nutricional significativo. Esta investigación se enfoca en el desarrollo de un snack extruido de alto valor nutritivo, utilizando una innovadora mezcla de grits de maíz, lenteja y yuca. Estos ingredientes se destacan por su rico contenido proteico, carbohidratos complejos, y un amplio espectro de vitaminas y minerales, con la lenteja (*Lens culinaris*) ofreciendo un 28% de proteínas y siendo baja en grasas, mientras que la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) aporta un alto contenido de almidón (E. Pérez & Herrera, 2023). A través de la técnica de extrusión, que preserva las propiedades químicas de las materias primas sin utilizar grasa y minimiza el consumo de insumos en comparación con otros métodos de procesamiento, se busca obtener un producto final de alta calidad, nutritivo, y accesible (Besarez, 2023). Este enfoque no solo promete enfrentar eficazmente el problema de la desnutrición, sino que también ofrece nuevas oportunidades comerciales en el mercado de snacks, aprovechando de manera óptima los recursos de las zonas altoandinas de nuestro país.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Evaluar las condiciones de extrusión en las características del producto extruido a base de maíz, lenteja y yuca.

### **Objetivos Específicos**

- Establecer las propiedades fisicoquímicas de las materias primas (grits) y producto extruido.
- Evaluar el efecto de la temperatura de extrusión, humedad y combinación de la mezcla sobre la aceptabilidad, textura instrumental y sensorial del snack.
- Analizar el efecto del proceso de extrusión sobre la funcionalidad del producto extruido.

## **FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

### **Hipótesis afirmativa**

**Hi:** El tipo de mezcla, temperatura de la cámara del extrusor y contenido de humedad de la mezcla influyen sobre el contenido de nutrientes, calidad sensorial y propiedades funcionales del producto extruido.

### **Hipótesis nula**

**Ho:** El tipo de mezcla, temperatura de la última cámara del extrusor y contenido de humedad de la mezcla no influyen sobre el contenido de nutrientes, calidad sensorial y propiedades funcionales del producto extruido.

# CAPÍTULO I.

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Descripción del Snack

#### 1.1.1. *Snack*

Los snacks, también conocidos como bocadillos, se caracterizan por su facilidad de consumo y manejo, presentándose en porciones únicas que no necesitan de preparación previa, ideales para saciar el hambre de manera temporal. Es recomendable que su aporte calórico no exceda el 10% del total diario necesario (M. Aguilar & Castillo, 2015).

Los snacks del Ecuador crean un impacto inclusivo debido a que, quienes proveen la materia prima principal para la elaboración de los mismos son pequeños productores que residen en los cantones menos favorecidos del país, permitiendo de esta manera incrementar el desarrollo del área donde habitan junto a sus familias (Bautista, 2016).

#### 1.1.1.1 **Composición Nutricional del Snack.**

Los bocadillos, muy consumidos, se fabrican con ingredientes como maíz, trigo, centeno y arroz. Con los avances en la tecnología de extrusión, es posible enriquecer estos snacks con una diversidad de materias primas, optimizando su perfil nutricional mediante la adición de proteínas, fibra dietética y compuestos bioactivos. Estos componentes no solo enriquecen el valor nutritivo, sino que también impactan positivamente en las características físicas y sensoriales de los productos extrusionados. Aunque el almidón de maíz es una base excelente para snacks extruidos debido a su aceptabilidad, su contribución nutricional es insuficiente para satisfacer las necesidades de los consumidores orientados a la salud, según señala (V. J. C. Morales, 2019). Este déficit nutricional subraya la importancia de revisar y ajustar los perfiles nutricionales de los

snacks, como se detalla en la Tabla 1, donde se presentan los valores nutricionales óptimos recomendados para estos productos extruidos.

**Tabla 1.**

*Requerimiento nutricional para el producto extruido.*

<b>Requisitos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Humedad (máximo)	%	4
Proteína N x 6,25 (mínimo)	%	3
Grasa(máximo)	%	50
Carbohidratos (máximo)	%	95

**Fuente:** Tomado de (Carvajal, 2018, p. 17).

Los snacks saludables emergen como la solución ideal para quienes buscan nutrirse de manera conveniente sin sacrificar tiempo, adaptándose perfectamente a la vida moderna gracias a su diseño para un consumo fácil y ágil en diversas situaciones (Quiñónez, 2017). Por otro lado, el auge de estos productos, frecuentemente asociados a la comida rápida, responde a los cambios en los estilos de vida contemporáneos, así como a las tendencias de moda y las demandas sociales, factores que han moldeado las preferencias alimenticias actuales (Restrepo, 2020).

## **1.2. Descripción de Materias Primas**

La selección de materias primas ya sea individualmente o en combinación, se basa en criterios de costo, disponibilidad y contenido proteico. Los alimentos ricos en almidón, provenientes de cereales, leguminosas y tubérculos, constituyen una parte significativa de la dieta humana, destacando por su aporte energético. Cereales y leguminosas son valorados por su alto contenido de proteínas y carbohidratos complejos, fundamentales en la nutrición (Valencia &

Montoya, 2021). La combinación de ambos ofrece proteínas de alta calidad con un perfil completo de aminoácidos esenciales, caracterizándose por ser una fuente vegetal de proteínas menos calórica, rica en fibra, libre de grasas y colesterol, y con un bajo índice glucémico (Castell, 2016).

### ***1.2.1. Yuca***

Esta planta perenne, con estructura leñosa y perteneciente a la familia Euforbiáceas, es notable por su capacidad para producir carbohidratos y su resistencia tanto a las plagas como a la sequía. Se cultiva en un amplio rango altitudinal, desde el nivel del mar hasta los 1620 metros, y se encuentra en las cuatro regiones naturales de Ecuador (Muñoz et al., 2017).

### **Figura 1.**

*Yuca*



#### **1.2.1.1 Variedades de Yuca.**

En Ecuador, se identifican diversas variedades de yuca, siendo importante seleccionar aquellas variedades que se ajusten óptimamente a las condiciones locales, incluyendo su tolerancia a plagas y enfermedades, así como su resistencia al deterioro. También es fundamental considerar el propósito específico del cultivo, ya sea para consumo directo o para aplicaciones industriales (Mendez & Muñoz, 2014).

**Tabla 2.**

*Variedades de yuca según su color de pulpa.*

<b>Color</b>	<b>Variedad</b>
Negro	Tres meses o prieta, Escancela, Morada, Mulata, Quevedeña
Blanco	Taureña, Espada y Blanca
Amarillo	Yema de Huevo, Crema y Amarilla

**Fuente:** Tomado de (Hinostroza et al., 2014, p. 5)

### 1.2.1.2 Composición Química de la Yuca.

La yuca, tanto en sus raíces como en hojas, es apta para el consumo. Sus raíces son una importante fuente de hidratos de carbono, mientras que las hojas proveen proteínas, minerales y vitaminas, destacándose por su contenido en carotenos y vitamina C. (Coral T. & Gallegos G., 2015), detallan que la composición nutricional de la yuca se presenta tanto en base húmeda como seca, lo que resalta su valor nutricional en diferentes estados de preparación.

**Tabla 3.**

*Composición química de yuca en base húmeda y seca.*

<b>COMPONENTES</b>	<b>Base Húmeda (%)</b>	<b>Base Seca (%)</b>
Humedad	61,7	-
Proteína	1,3	3,2
Grasa	0,4	1,1
Carbohidratos	35,3	92,3

COMPONENTES	Base Húmeda (%)	Base Seca (%)
Cenizas	1,3	3,4

**Fuente:** Tomado de (Avalos & Benites, 2022).

### 1.2.1.3 Harina de Yuca.

La harina de yuca se reconoce por su alto contenido en almidón, hasta el 80 % de su composición, lo que la convierte en una fuente esencial de energía en la dieta. Sin embargo, se identifican limitaciones nutricionales como su escaso aporte de proteínas, aminoácidos esenciales y ácidos grasos (Cardona et al., 2002). La Tabla 4 ilustrará la composición fisicoquímica de esta harina. Por otro lado, los derivados de la yuca, incluyendo harina, almidón y otros productos, han ganado popularidad y disponibilidad, agregando valor a la alimentación humana (Saac, 2023).

#### Tabla 4.

*Características fisicoquímicas de la harina de yuca.*

COMPONENTES	PORCENTAJES (%)
Humedad	14,20
Ceniza	2,60
Carbohidratos Totales	81
Grasa	0,50
Proteína	1,70

**Fuente:** Tomado de (Carrera et al., 2019, p. 3)

### 1.2.2. Lenteja

La lenteja (*Lens culinaris*), destacada en el ámbito de las legumbres por su riqueza nutricional, contiene entre un 19,8% y un 31,4% de proteínas y es baja en grasas, lo que subraya su valor dietético (Ramos, 2020). Sin embargo, existen limitadas opciones de preparación y procesamiento que aumenten su consumo y aprovechamiento. Por ello, es crucial desarrollar y

adoptar métodos innovadores que fomenten el uso de la lenteja y sus derivados en la alimentación (Coello, 2021).

## Figura 2.

*Lenteja*



### 1.2.2.1 Composición Química y Nutricional de la Lenteja.

La lenteja, destacada dentro del grupo de legumbres como los guisantes, frijoles y garbanzos, sobresale como una rica fuente de nutrientes esenciales. Su composición incluye principalmente hidratos de carbono, sobre todo almidón, y proteínas vegetales, ofreciendo un perfil nutricional equilibrado y beneficioso (Moreiras, 2017). La diversidad nutricional de la lenteja se detalla en la Tabla 5, proporcionando una visión completa de su aporte a la dieta.

#### Tabla 5.

*Composición química de la lenteja.*

Componente	Cantidad	Unidad
Agua	8,7	g
Energía	351	Kcal
Proteína	23,8	g
Grasas	0,8	G
HC	54	G
Fibra	11,7	G
Calcio	56	Mg

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Hierro	7,1	Mg
Magnesio	78	Mg
Zinc	3,1	Mg
Sodio	12	Mg
Potasio	737	Mg
Fosforo	40	Mg
Selenio	9,9	Ug

**Fuente:** Tomado de (Moreiras, 2017, p. 3).

### **1.2.2.2 Importancia y Producción.**

En el mercado nacional, existe una preferencia por las lentejas de grano grande, conocidas como lentejones. Sin embargo, la variedad INIAP 406, de grano medio, no logró una aceptación significativa. Buscan estrategias para fomentar la producción de lentejas de tamaño mediano para programas de seguridad alimentaria, como la alimentación escolar, donde el tamaño del grano no es prioritario (Peralta et al., 2015). Según datos de la FAO, el mercado global de lentejas disminuyó un 4,7 % en área sembrada y perdió un 8 % en la cosecha en 2011, comparado con el año anterior, alcanzando 4,2 millones de hectáreas sembradas y 4,4 millones de toneladas cosechadas, con un rendimiento promedio de 10,4 quintales por hectárea (Piazza, 2013).

### **1.2.3. Maíz**

Los cereales como el maíz (Figura 3) resaltan su importancia en la dieta de países en desarrollo, el maíz ha sido un pilar en la alimentación del continente americano durante siglos, nutriendo a humanos y animales por igual. Su versatilidad como materia prima permite la producción de diversos productos industriales, desde almidón y aceite hasta bebidas alcohólicas y edulcorantes (Rojas, 2011).

**Figura 3.***Maíz***1.2.3.1 Variedades.**

El INIAP ha desarrollado variedades de maíz adaptadas a la altitud, optimizando su cultivo y adaptación regional (Analuisa et al., 2022).

**1.2.3.2 Propiedades fisicoquímicas.**

Ecuador se distingue por su amplia variedad de maíces, adecuados a distintas condiciones ambientales, con 25 variedades oficialmente identificadas, contribuyendo significativamente a la colección global de CIMMYT con el 18% de sus muestras. Este patrimonio agrícola es cuidadosamente preservado en comunidades indígenas y campesinas, donde variedades autóctonas como el huandango, chulpi, mishca, y morocho se mantienen vivas. Además de sus aplicaciones culinarias, el almidón de maíz es valorado en la industria alimentaria por su funcionalidad como espesante y gelificante, gracias a su alta pureza y facilidad de digestión, lo que lo convierte en un recurso económico vital tanto para la alimentación humana como animal. (Ospina, 2015) resalta que estructuralmente, el endospermo y el germen son componentes clave del grano, aportando almidón, proteínas y aceite, además de azúcares y cenizas en menores cantidades, lo que subraya la riqueza nutricional del maíz.

**Tabla 6.***Composición química del maíz.*

<b>COMPONENTES</b>	<b>PORCENTAJES (%)</b>
Almidón	75
Proteína	7,68
Fibra	0,46
Grasas	5
Ceniza	1,65

**Fuente:** Tomado de (Taimal, 2019, p. 24)**1.2.3.3 Características de Grits de Maíz.**

Los productos derivados del maíz, como sémola, harina y grits, provienen de granos maduros y seleccionados de *Zea mays* L., libres de impurezas y otros contaminantes. A través de un meticuloso proceso de molienda, estos granos son finamente triturados, eliminando gran parte del salvado y germen, lo que define su textura y calidad. La clasificación de estos derivados, basada en su granulometría, está estipulada en la norma INEN-2051 (2013), y los criterios específicos para cada tipo de producto se especifican detalladamente en la tabla 7.

**Tabla 7.***Requisitos de la sémola, harina, grits de maíz.*

<b>Producto</b>	<b>Requisito</b>	<b>Porcentaje (%)</b>		
		Sémola	Harina	Grits de maíz
PROTEINA	% mínimo	7,0 *	7,0 *	8,0 *

<b>Producto</b>	<b>Requisito</b>	<b>Porcentaje (%)</b>		
CENIZA	% máximo	1,0*	1,0*	1,0*
GRASA	% máximo	2,25*	2,25*	2,0*

**Fuente:** Tomado de: (INEN-2051, 2013)

La distribución de la materia prima, esencial en la cadena de suministro para asegurar la eficiencia y seguridad en el movimiento de los insumos. INDUSTRIAL PRODEMESA CIA. LTDA., ubicada en Juan Vásquez n70-27 y Sebastián Moreno, sector Carcelén, Quito, Pichincha, se destaca por su rol en la producción de harinas o sémolas de maíz, entre otros productos. Contacto a través del email prodemsa@andinanet.net o al teléfono 2800230, facilita la adquisición de grits de maíz, un ingrediente clave en diversas aplicaciones culinarias y comerciales.

### **1.3. Características del Almidón**

#### **1.3.1. Almidón**

Los elementos fundamentales del almidón se componen de la amilosa y la amilopectina. Estos compuestos poliméricos difieren significativamente en su estructura: la amilosa adopta una forma lineal, mientras que la amilopectina presenta una estructura ramificada. Estos dos poseen estructuras distintas y son los responsables de otorgar las propiedades funcionales al almidón. La amilosa adquirió una textura quebradiza al producto extruido, mientras que la amilopectina provoca el hinchamiento de este. Las proporciones relativas de ambos componentes varían según la fuente del almidón y otras variables relacionadas (P. V. Aguilar & Villalobos, 2013). A continuación, observamos la composición de algunos cereales del almidón en la tabla 8.

**Tabla 8.***Composición del almidón.*

<b>Tipo</b>	<b>Amilopectina</b>	<b>Amilosa</b>
Almidón	%	%
Maíz	73	23
Papa	78	22
Arroz	83	17
Yuca	82	18
Oca	70	30
Mashua	73	27

**Fuente:** Tomado de (Barrera & Tapia, 2003, p. 18)

### **1.3.2. Propiedades funcionales del almidón**

La eficacia del almidón en aplicaciones alimentarias se define por la relación entre la amilosa y la amilopectina, que determina su solubilidad, retención de agua, capacidad de expansión, y otras propiedades clave como la viscosidad y la capacidad de formar geles estables. A lo largo de tratamientos térmicos, el almidón experimenta cambios estructurales significativos, atravesando fases de gelatinización, gelificación y retrogradación que afectan directamente su funcionalidad en productos alimenticios (Solarte Montúfar et al., 2019).

### **1.4. Selección de Materias Primas para la Extrusión**

Cereales, leguminosas y semillas oleaginosas constituyen las principales materias primas en la producción de alimentos extruidos, seleccionados por sus funciones nutricionales, coste económico y disponibilidad. La incorporación de leguminosas y semillas oleaginosas, ricas en proteínas, mejora el valor nutricional de los snacks extruidos, aprovechando sus propiedades

funcionales y la composición química para optimizar el proceso de extrusión (K. Pérez et al., 2017). Los elementos críticos de control son:

- Humedad
- Estado físico de los componentes
- Composición química

#### **1.4.1. Humedad**

La humedad juega un papel crucial en la viscosidad de los alimentos durante el procesamiento, afectando directamente la presión dentro de la matriz extrusora. Incrementos en la humedad pueden reducir significativamente esta presión, a diferencia de los efectos de la reducción de temperatura, que son menos pronunciados (Maskan & Altan, 2011). Un 27 % de humedad es ideal para lograr una óptima gelatinización, resultando en productos secos con alta capacidad de absorción de agua. Aunque es posible extruir con niveles de humedad tan bajos como 8 a 10%, esto puede llevar a la dextrinización del almidón, afectando la calidad final del producto (Carrasco y Saucedo, 2019).

#### **1.4.2. Tamaño de la Partícula**

El tamaño de las partículas tiene un papel crucial en la gelatinización durante el proceso de extrusión. Partículas grandes pueden retardar este proceso, mientras que las más pequeñas tienden a acelerarlo, afectando la viscosidad del producto final. Para ajustar la velocidad de gelatinización y obtener las características deseadas del producto, es posible modificar el contenido de humedad. Reducir la humedad permite ralentizar la gelatinización, un enfoque sugerido por (Carrasco & Saucedo, 2019), para controlar la textura del producto extruido.

#### **1.4.3. *Estado Físico de la Mezcla***

Una mezcla de cereales y legumbres en un lugar apropiado la proporción generalmente se extruye ya que los cereales son una fuente rica en carbohidratos, mientras que leguminosas de grano son una buena fuente de proteínas (Maskan & Altan, 2011).

#### **1.4.4. *Composición Química***

Una alta fracción de la energía alimentaria humana es como alimentos con almidón derivado de granos de cereales, leguminosas y cultivos de raíces amiláceas. El uso adecuado de tecnologías de cocción por extrusión es ideal para este propósito donde el tiempo requerido es bajo y mecánico la degradación también ocurre para hacer que este proceso sea más efectivo y útil. El criterio para seleccionar una materia prima particular o generalmente una mezcla depende de bajo costo, fácil disponibilidad y contenido de proteína (Maskan & Altan, 2011).

### **1.5. Extrusión**

La extrusión es una técnica integral en la producción alimentaria que permite la creación de una masa semisólida mediante la aplicación de presión. Este proceso multifacético abarca mezclado, amasado, cizallamiento, y secuencias de calentamiento y enfriamiento, llevando a la conformación y texturización del producto final. Destacada por su versatilidad, la extrusión facilita modificaciones fisicoquímicas significativas en los alimentos, optimizando sus cualidades organolépticas y nutritivas (Vega et al., 2023).

El procedimiento de cocción por extrusión, aunque complejo por los cambios químicos y físicos que implica, mejora la comprensión de la interrelación entre las propiedades del material y la calidad del producto. Transformaciones como la gelatinización y dextrinización del almidón

son cruciales, afectando directamente la textura, elasticidad, y otros atributos sensoriales del producto, esenciales para la aceptación del consumidor.

Este método engloba la gelatinización y fusión de almidón, procesos afectados por la baja humedad y que siguen principios comparables a los de los materiales termoplásticos. La interacción entre el agua y el almidón, especialmente en temperaturas bajas, desencadena etapas clave como el hinchamiento y ruptura de gránulos de almidón, culminando en la formación de un gel (M. Montalvo & Velazco, 2017).

### ***1.5.1. Proceso de Extrusión***

Durante el proceso de extrusión, la sinergia entre la cizalla mecánica y el calentamiento juega un papel crucial en la descomposición de los almidones y en la alteración de las estructuras proteicas. Esta interacción es esencial para promover la formación de enlaces, tanto covalentes como no covalentes, entre las macromoléculas. Investigaciones actuales sugieren que la composición aminoacídica de las proteínas puede influir significativamente en la retrogradación del almidón durante la extrusión, afectando así su digestibilidad. Este fenómeno subraya la importancia de comprender cómo los diferentes componentes interactúan bajo las condiciones específicas del proceso de extrusión (Vega et al., 2023).

En cuanto a la generación de energía durante la extrusión, existen dos fuentes principales: la energía mecánica derivada de la rotación de los tornillos y la energía térmica proporcionada por los calentadores situados a lo largo del cilindro. La combinación de estas fuentes de energía induce cambios significativos en la fase del material procesado, incluyendo la fusión de componentes sólidos y la posible evaporación del agua. Estos cambios son fundamentales para alcanzar las propiedades deseadas del producto extruido, demostrando la complejidad y la importancia de un control adecuado de las variables del proceso (Carrasco & Saucedo, 2019).

### **1.5.1.1 Ventajas en el proceso de extrusión**

Los extrusores de alimentos son herramientas versátiles capaces de ejecutar múltiples funciones simultáneamente en el procesamiento de alimentos. Permiten adaptar la producción a una amplia gama de productos al modificar mínimamente los ingredientes o las condiciones de procesamiento. Esta flexibilidad se traduce en la creación de variadas formas, texturas, y colores, enriqueciendo la oferta de productos alimenticios. Además, se destacan por su eficiencia energética y capacidad para reducir costos operativos. La integración de sistemas automatizados mejora significativamente la productividad, mientras que la rapidez del proceso asegura la preservación de nutrientes, resultando en productos de alta calidad con mínima degradación térmica (Carvajal, 2018).

## **1.6. Clasificación de Extrusores**

Los extrusores se clasifican en su modo de operación (extrusión en caliente o en frío) y de su diseño (sencillos o de tornillos gemelos).

### ***1.6.1. Extrusores en Caliente***

Los extrusores en caliente generan una contrapresión adicional a través de la boquilla, para lograr productos expandidos, utilice altas presiones y boquillas con orificios de tamaño reducido. La rápida liberación de la presión que se produce a la salida de la boquilla provoca la expansión instantánea de vapor y el gas que contiene el alimento, dando lugar a un producto de baja densidad en el que el agua que contiene se pierde por evaporación (Carrasco & Saucedo, 2019).

### **1.6.2. *Extrusión en Frío.***

En los extrusores descritos por Remache (2016), el proceso de extrusión se lleva a cabo produciendo tiras de alimento que no pasan por un proceso de cocción ni de expansión. La fricción a la que se somete la materia prima en estas máquinas es mínima, gracias a la rotación de los tornillos dentro de un tubo cuya superficie interna es lisa.

### **1.6.3. *Extrusor de Tornillo Simple***

Según Carrasco y Saucedo (2019), los extrusores de tornillo único, que comenzaron a utilizarse en la década de 1940, se destinaron originalmente a la producción de snacks inflados a base de harina y sémola de cereales. Estos dispositivos presentan una capacidad de mezcla moderadamente restringida, lo que hace necesario el uso de ingredientes previamente acondicionados. El acondicionamiento preliminar se efectúa en una cámara, ya sea a presión atmosférica o presurizada, donde los componentes son expuestos a humedad o calor, o ambos, por medio del contacto con vapor o agua, antes de ser introducidos en el extrusor. Este paso previo se implementa con el objetivo de prolongar el tiempo de permanencia dentro del equipo, minimizar el gasto de energía mecánica y optimizar la eficiencia del proceso.

### **1.6.4. *Extrusor de Doble Tornillo***

Fellows (2000) señala que, en estos extrusores, los tornillos operan de manera particular dentro de un cilindro que presenta una configuración en forma de ocho. La categorización de estos extrusores se determina según el patrón de rotación de los tornillos y el modo en que estos se interconectan, así como por la proporción existente entre la longitud y el diámetro tanto de los cilindros como de los tornillos. Se destaca el uso frecuente de tornillos que giran de forma

sincronizada, donde las aletas de uno arrastran el alimento hacia el otro, en procesos de manipulación de alimentos.

## **1.7. Componentes del Extrusor**

Fellows (2000) describe el proceso de extrusión, como se ilustra en la figura 4, como una técnica que integra de manera simultánea la mezcla, el amasado y el cocinado. Este procedimiento conduce a una variedad de transformaciones complejas dentro del alimento, incluyendo la hidratación de almidones y proteínas, la homogeneización, la creación de geles, el estiramiento y la fusión de grasas. Además, menciona la desnaturalización y reorientación de proteínas, así como la plastificación y la expansión de la estructura del producto, resaltando la multifacética influencia de la extrusión en las propiedades físicas y químicas de los alimentos.

### **Figura 4.**

*Extrusor de doble tornillo ASA-D30*



#### **1.7.1. Tolva de Recepción**

La tolva es el componente del extrusor con un diseño más simple, pero eso no significa que tenga menor importancia. El material debe ser el suficiente para que se tenga una alimentación constante al sistema y este se mantenga trabajando de manera ininterrumpida (M. D. Montalvo & Velazco, 2017).

### 1.7.2. *Tornillo de Extrusión*

M. D. Montalvo y Velazco (2017) explican que el tornillo o husillo, como se muestra en la figura 5, se compone de un cilindro alargado adornado con un filete en espiral, jugando un papel esencial en el transporte, calentamiento, fusión y mezcla del material. La eficacia del proceso y la calidad del producto resultante están significativamente influenciadas por el diseño del tornillo, el cual es determinado por factores críticos tales como su longitud (L), diámetro (D), el ángulo del filete ( $\theta$ ), y el paso de la rosca (w). A lo largo del avance del material por el tornillo, este experimenta una presión creciente, iniciando con la presión atmosférica en la tolva y escalando hasta alcanzar la presión máxima en la salida por la boquilla. Es importante destacar que la sección de paso dentro del tornillo varía, ampliándose especialmente en la zona de alimentación.

#### **Figura 5.**

*Tornillos gemelos*



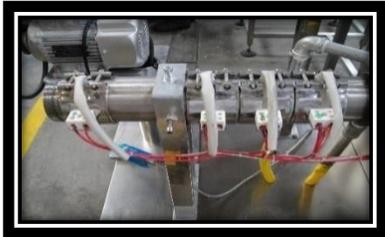
### 1.7.3. *Cilindro*

Carrasco y Saucedo (2019) destacan que el cilindro está equipado con sistemas de transferencia de calor, los cuales facilitan el calentamiento de este mediante el uso de resistencias eléctricas circulares dispuestas a lo largo de su estructura. Es crucial que la superficie del cilindro posea una textura sumamente rugosa, lo que contribuye a incrementar las fuerzas de cizallamiento

a las que se somete el material, asegurando así su fluidez a través de la extrusora, como se puede apreciar en la figura 6.

### **Figura 6.**

#### *Sistema de calefacción*



#### **1.7.4. Plato Rompedor**

El plato rompedor, ubicado al final del cilindro, es un disco delgado de metal con perforaciones diseñadas para funcionar como soporte de un paquete de filtros. Estos filtros tienen como objetivo principal atrapar los contaminantes para evitar que salgan junto con el producto extruido. Este equipo se encuentra al final del cilindro. Cabe mencionar que no todas las extrusoras poseen estos equipos (Carrasco & Saucedo, 2019).

#### **1.7.5. Cabezal y Boquilla**

M. Beltrán & Marcilla (2012) describen que el cabezal, ilustrado en la figura 7, se localiza en el final del cilindro y tiene como función principal sostener la boquilla y, en muchos casos, también el plato rompedor. Este componente suele estar asegurado al cilindro con tornillos. Es imprescindible que el diseño interno del cabezal promueva de manera óptima el desplazamiento del material hacia la boquilla.

**Figura 7.**

*Sistema de corte*

**1.8. Condiciones de Operación Durante la Extrusión**

Las condiciones críticas en el proceso de extrusión incluyen:

- Temperatura
- Diámetro de los orificios en la boquilla
- Velocidad de cizalla, la cual es influenciada por el diseño interno del cilindro del extrusor, así como por la velocidad y configuración de los tornillos.

**1.8.1. Temperatura**

La obtención de una expansión explosiva del producto requiere de altas temperaturas, logradas a través de la aplicación de fuerzas de cizalla. El calentamiento del cilindro facilita una expansión más uniforme. Asimismo, la temperatura en el troquel es crucial para determinar la textura final del producto. Mantener un control preciso de la temperatura es esencial en el proceso de extrusión, ya que asegura la estabilidad y la eficacia del mismo (M. Montalvo & Velazco, 2017).

### **1.8.2. *Diámetro de Orificio de los Tornillos***

Para un diámetro de tornillo dado, la capacidad para fundir, mezclar y homogeneizar a una velocidad de giro del tornillo determina al aumentar la longitud del tornillo (M. Beltrán & Marcilla, 2012).

El tamaño del extrusor suele establecerse según la producción necesaria y la velocidad de operación del tornillo. Para lograr una producción específica, si se reduce la velocidad del tornillo, habrá un diámetro del extrusor más grande (Maskan & Altan, 2011).

### **1.8.3. *Velocidad de cizallada***

Durante el proceso de extrusión, la cizalla y el calentamiento mejoran la fragmentación de los almidones y la desnaturalización de las proteínas, lo que facilita las interacciones covalentes y/o no covalentes entre estas dos macromoléculas. Estudios recientes indicarían que, dependiendo de los grupos funcionales de los aminoácidos de estas proteínas, puede favorecerse o desfavorecerse la retrogradación del almidón durante el proceso de extrusión afectando así su digestión (Vega et al., 2023).

## **1.9. Cambios Nutricionales Durante la Extrusión.**

Los alimentos experimentan una transformación significativa en sus características organolépticas y propiedades nutritivas cuando son sometidos al proceso de extrusión.

### **1.9.1. *Carbohidratos***

La gelatinización de los almidones es el cambio principal que se observa en los carbohidratos durante la extrusión, proceso durante el cual los almidones se expanden y absorben agua bajo altas temperaturas. Al salir del extrusor, el agua absorbida se convierte en vapor debido

a la reducción de presión, lo que resulta en la alineación, ondulación y fragmentación del almidón (Carrasco & Saucedo, 2019).

### **1.9.2. Almidón**

Durante el proceso de extrusión, el almidón experimenta una serie de transformaciones, incluyendo la expansión de sus gránulos, la pérdida de cristalinidad y birrefringencia, lo que conduce a una menor viscosidad y a la solubilización de la amilosa (Lázaro & Sotelo, 2017).

### **1.9.3. Retrogradación de los Almidones**

Las proporciones de amilosa y amilopectina influyen significativamente en el índice de expansión del producto, variando según la temperatura aplicada. La amilosa requiere aproximadamente 225 °C para lograr una expansión máxima, mientras que la amilopectina alcanza este punto a 135 °C, ambas con un contenido de humedad cercano al 14%. Altas concentraciones de amilopectina resultan en extruidos de menor tamaño celular y densidad específica, mientras que altas concentraciones de amilosa conllevan a productos menos expansivos, más duros y con mayor resistencia a la absorción de agua (Lázaro & Sotelo, 2017).

### **1.9.4. Lípidos**

Los extrusores generalmente no procesan alimentos con altos contenidos de grasa, aunque pequeñas cantidades menores al 3% no afectan la expansión del producto. Sin embargo, cantidades superiores al 5% pueden reducir significativamente la expansión (Lázaro & Sotelo, 2017).

### **1.9.5. Proteínas**

Las proteínas, que son biopolímeros con una amplia variedad de grupos químicos en comparación con los polisacáridos, muestran una mayor reactividad y experimentan varias

modificaciones durante el proceso de extrusión, siendo la desnaturalización el cambio más significativo (Guy, 2001). La efectividad de la mayoría de las enzimas se reduce considerablemente tras su exposición prolongada a las elevadas temperaturas del proceso de extrusión. Esto se debe a la descomposición de la matriz proteica y la liberación de proteínas, donde las interacciones tanto hidrofóbicas como electrostáticas promueven la creación de agregados insolubles que mejoran la textura de los productos extruidos. Además, los alimentos ricos en proteínas que se someten a altas temperaturas durante la extrusión son propensos a sufrir la reacción de Maillard (Lázaro & Sotelo, 2017).

#### **1.9.6. Vitaminas**

El proceso de extrusión de alta temperatura y corta duración (HTST) propicia la pérdida de vitaminas, siendo las hidrosolubles como la tiamina, riboflavina, niacina y vitamina C las más susceptibles a la degradación térmica, con pérdidas que pueden variar entre un 5% y un 100% (Guy, 2001).

#### **1.9.7. Fibra**

El proceso de extrusión y la aplicación de altas temperaturas pueden inducir modificaciones en la fibra contenida en los alimentos, afectando tanto su estructura como sus características físico-químicas. Específicamente, la extrusión de mezclas con una humedad inferior al 20% a temperaturas superiores a 110°C puede dañar el alimento debido al intenso esfuerzo de cizallamiento, resultando en la transformación de una cantidad significativa de fibra insoluble en soluble (Taimal, 2019). Aunque el proceso de extrusión no modifica la cantidad total de fibra en el ingrediente, sí incrementa la proporción de fibra soluble en él (Lázaro & Sotelo, 2017).

## **1.10. Parámetros que Influyen en la Calidad del Producto Extruido.**

La calidad del producto extruido puede verse comprometida por varios factores, incluyendo el contenido de humedad y el tiempo de residencia, que están influenciados por la velocidad de alimentación, la configuración del tornillo, la geometría del dado, así como la temperatura y presión aplicadas. Los atributos sensoriales, en particular, dependen en gran medida de estas variables operativas y de la composición química de la materia prima (Espinoza, 2017).

### ***1.10.1. Índice de Absorción de Agua (WAI)***

El WAI es una métrica que cuantifica el nivel de gelatinización alcanzado durante la extrusión, señalando cómo la temperatura del barril y la humedad del alimento son determinantes en el proceso, potenciando la gelatinización. Se reconoce que la capacidad de absorción de agua está directamente relacionada con la dispersión del almidón en agua y se incrementa con la descomposición del almidón, resultado de la gelatinización y la fragmentación durante la extrusión, lo que lleva a una disminución en las moléculas de amilosa y amilopectina (Morales, 2019).

### ***1.10.2. Índice de Solubilidad en agua (WSI)***

El WSI indica la proporción de sólidos solubles en el extruido, reflejando la severidad del tratamiento térmico mediante la observación de la degradación, gelatinización, dextrinización y solubilización del almidón. Este índice mide cuánto almidón se ha convertido en polisacáridos solubles durante la extrusión (Taimal, 2019).

### ***1.10.3. Índice de Expansión***

Este índice es crucial para determinar la textura de los snacks extruidos, relacionándose directamente con su capacidad de expandirse. La expansión puede medirse tanto longitudinal

como radialmente, siendo esta última la más fácil de evaluar y representativa de la expansión total. Se calcula basándose en las dimensiones y el peso de los productos extruidos (Espinoza, 2017).

#### **1.10.4. Densidad Aparente**

La densidad aparente es vital para la valoración de la calidad del producto, especialmente en términos de empaque y comercialización, ya que la mayoría de los productos se venden por peso. Variaciones en la densidad pueden afectar significativamente tanto el peso como el volumen del producto final (Espinoza, 2017).

#### **1.11. Textura en los Extruidos**

La percepción sensorial de la textura desempeña un papel crucial en la aceptación de los snacks extruidos por parte de los consumidores. Para lograr una formulación exitosa de estos productos, es esencial poseer un conocimiento profundo sobre cómo los consumidores perciben la textura, así como disponer de técnicas precisas para su evaluación (Maskan & Altan, 2011).

Por otro lado, los cambios en la textura de los productos extruidos están directamente relacionados con modificaciones en el almidón, el nivel de humedad, la temperatura durante el proceso de extrusión, y las características físicas como la forma y el tamaño de las partículas de harina utilizadas. La textura, en este contexto, se interpreta como la respuesta sensorial a la estructura interna del alimento y cómo esta responde a diferentes estímulos, englobando aspectos mecánicos, estructurales y de superficie, los cuales son percibidos mediante el tacto, la vista, el oído o incluso de manera mecánica (Morales, 2019).

### **1.12. Calidad Nutricional de los Extruidos**

Los extruidos deben contener al menos un 16% de proteína, menos de un 6% de humedad y tener una vida útil mínima de seis meses, idealmente cuando se empaquetan en materiales de embalaje flexible y económicos como el polietileno de baja densidad (LDPE) o el polipropileno (PP) (Maskan & Altan, 2011).

## CAPÍTULO II.

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1. Caracterización de Estudio

El desarrollo experimental tuvo lugar en la Unidades Eduproductivas de la carrera de Agroindustria de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura. La materia prima fue analizada en el laboratorio de análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la Facultad antes mencionada y en la Estación Experimental Santa Catalina (INIAP), departamento de Nutrición y Calidad fueron analizados los productos extruidos, ubicada en el sector de Cutuglagua, Cantón Mejía, Provincia Pichincha, cuyas características climatológicas se muestran en la tabla 9.

**Tabla 9.**

*Condiciones climatológicas de las áreas de estudio.*

<b>Condiciones climatológicas</b>	<b>U. Edu-productivas</b>	<b>INIAP</b>
Temperatura	17.7 °C	18 °C
Altitud	2250 m.s.n.m.	3050 m.s.n.m.
HR promedio	73%	76%
Latitud	00°19'47''Sur	00°22'00''Sur
Longitud	78°07'56''Oeste	78°33'00''Oeste
Precipitación Anual Promedio	541.6mm	11275 mm

*Nota:* Datos obtenidos de INAMHI 2022

#### 2.2. Materiales y Equipos

La tabla 10 presenta los materiales y equipos empleados en el estudio de la investigación.

**Tabla 10.***Condiciones climatológicas de las áreas de estudio.*

<b>Materia Prima</b>	<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
	– Recipientes plásticos	
	– Rebanadora	– Extrusor de doble tornillo
	– Bandejas de acero inoxidable	– Deshidratador de bandejas
	– Bandejas plásticas	– Molino
	– Tamiz (1,4mm)	– Estufa
– Grits de maíz 1,4mm	– Vaso de precipitación	– Mufla
– Grits de lenteja 1,4mm	– Probetas	– Desecador
– Grits de Yuca 1,4mm	– Tubos de ensayo	– Espectrofotómetro
	– Embudos de vidrio	– Centrifuga
	– Cajas Petri	– Baño María
	– Crisoles	– Texturómetro
	– Agitadores magnéticos	– Balanza Analítica
	– Mortero y pistilo	– Balanza infrarroja
	– Selladora	
	– Papel Filtro	
<b>Reactivos</b>		
	– Ácido sulfúrico	
	– Hidróxido de sodio	
	– Ácido bórico	
	– Ácido clorhídrico	
	– Ferrocianuro de potasio	
	– Sulfato de Zinc	
	– Etanol	
	– Yodo	
	– Ácido acético	

### **2.3. Descripción de la Metodología**

En esta investigación se utiliza el método cuantitativo, debido a la estructura experimental y la necesidad de obtener una visión objetiva del problema en cuestión. Esta metodología permitirá validar los resultados obtenidos a través de diferentes técnicas, como el método

estadístico, para garantizar su precisión y confiabilidad. Además, se complementó la investigación con un estudio cualitativo que permitió explorar las características sensoriales del producto extruido.

Con el fin de medir el impacto del estudio propuesto, se planteó una hipótesis que permitió controlar los factores de estudio y analizar el problema desde su fundamento y su aplicación. Así, se diseñó una metodología que aborda la objetividad del estudio y pretende responder a la hipótesis de investigación. En las secciones siguientes se detallará la metodología empleada para llevar a cabo esta investigación.

#### **2.4. Propiedades Fisicoquímicas de las Materias Primas (grits) y Producto Extruido.**

Se llevó a cabo un análisis fisicoquímico exhaustivo de las materias primas seleccionadas, que incluyen los grits de maíz, yuca y lenteja. Este análisis se realizó en el producto extruido, excepto los componentes de almidón, amilosa y amilopectina, tal como se detalla en la tabla 11. Estos análisis permiten determinar los contenidos nutricionales iniciales y, en consecuencia, elaborar las mezclas necesarias para el proceso de extrusión. En la tabla 12 se muestran los métodos utilizados para cada análisis.

#### **Tabla 11.**

*Análisis fisicoquímico de la materia primas y producto extruido.*

<b>Parámetros</b>	<b>Método</b>	<b>Materia Prima</b>	<b>Producto extruido</b>
Humedad (%)	AOAC 925.10	X	X
Cenizas (%)	AOAC 923.03	X	X
Proteína (%)	AOAC920.87	X	X

<b>Parámetros</b>	<b>Método</b>	<b>Materia Prima</b>	<b>Producto extruido</b>
Carbohidratos (%)	Cálculo	X	X
Fibra (%)	AOAC 920.85	X	X
Almidón (%)	IRAM 15859	X	-
Amilosa (%)	MO-LSAIA-04	X	-
Amilopectina (%)	Calculo	X	-

En el anexo 1 se detallan los procedimientos de los diversos métodos de los análisis fisicoquímicos llevados a cabo en las materias primas y el producto extruido listados como se especifica en la tabla 11.

## **2.5. Efecto de la Temperatura de Extrusión, Humedad y Combinación de la Mezcla.**

Para ejecutar la investigación, se emplearon grits de maíz, lentejas y yuca, que se obtuvieron mediante molienda y tamizado, con una granulometría de 1,4 mm y un contenido de humedad comprendido entre el 9% y el 14%. Estas mezclas se sometieron a un proceso de extrusión en caliente, utilizando temperaturas que oscilaron entre los 170°C y los 200°C en la última cámara de extrusión.

Se utilizó el Diseño experimental con arreglo factorial  $2^3$  ( $2^k$ ) donde A= humedad de la mezcla; B= temperatura de la cámara de extrusión.; C= formulación de la mezcla.

### **2.5.1. Factores en Estudio**

En este estudio propuesto, se examinarán tres factores de estudio: nivel de humedad de la mezcla de grits, perfil de temperatura de la última cámara de extrusión, porcentaje de de la mezcla. Mientras tanto, en el extrusor de doble tornillo se mantuvieron tres factores constantes: la

alimentación, diámetro de la boquilla y la velocidad del tornillo, los cuales se detallan en la Tabla 12.

**Tabla 12.**

*Factores de Diseño Experimental.*

<b>FACTOR DE ESTUDIO</b>	
<b>FACTOR A</b>	<b>Humedad de la mezcla de grits</b>
	A1: 9%
	A2: 14%
<b>FACTOR B</b>	<b>Perfil de temperatura de la última cámara de extrusión</b>
	B1: 170°C
	B2: 200°C
<b>FACTOR C</b>	<b>Porcentaje de la formulación de la mezcla</b>
	C1: Maíz 70% + Lenteja 15% + Yuca 15%
	C2: Maíz 80% + Lenteja 10% + Yuca 10%
<b>Factores Constantes</b>	Alimentación:5 kg
	Diámetro de la boquilla:2,5 cm
	Velocidad del tornillo:40Hz

### **2.5.2. Tratamientos**

El experimento estará conformado por 24 unidades experimentales, cada unidad experimental pesará 5 kg, de la mezcla de grits de maíz, lenteja y yuca, para someter al proceso de extrusión y obtener el producto extruido, detallados en la tabla 13.

**Tabla 13.***Nomenclatura de tratamientos.*

Tratamientos	A: Humedad de la mezcla	B: Temperatura de la cámara de extrusión	C: Formulación de la mezcla	Simbología
T1	A1: 9%	B1: 170°C	C1: Maíz 70% + Lenteja 15% + Yuca 15%	A1B1C1
T2	A1: 9%	B1: 170°C	C2: Maíz 80% + Lenteja 10% + Yuca 10%	A1B1C2
T3	A1: 9%	B2: 200°C	C1: Maíz 70% + Lenteja 15% + Yuca 15%	A1B2C1
T4	A1: 9%	B2: 200°C	C2: Maíz 80% + Lenteja 10% + Yuca 10%	A1B2C2
T5	A2: 14%	B1: 170°C	C1: Maíz 70% + Lenteja 15% + Yuca 15%	A2B1C1
T6	A2: 14%	B1: 170°C	C2: Maíz 80% + Lenteja 10% + Yuca 10%	A2B1C2
T7	A2: 14%	B2: 200°C	C1: Maíz 70% + Lenteja 15% + Yuca 15%	A2B2C1
T8	A2: 14%	B2: 200°C	C2: Maíz 80% + Lenteja 10% + Yuca 10%	A2B2C2

## 2.6. Diseño Experimental

Esta investigación utilizó un Diseño Experimental Completamente aleatorio con un diseño factorial A x B x C. Se establecieron 8 tratamientos con tres repeticiones, un total de 24 unidades experimentales, como se especifica en la tabla 13. Cada unidad experimental consistió en 5 Kilogramos de mezcla de la formulación de maíz, lenteja y yuca, con la humedad correspondiente, antes de ser sometida al proceso de extrusión para la obtención del producto extruido. El proceso

de extrusión se llevó a cabo en un extrusor de doble tornillo con las especificaciones detalladas en la tabla 14.

**Tabla 14.**

*Parámetros de extrusión modelo ASA-D3*

<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
Alimentación	Kg	5
Velocidad del tornillo sinfín	Hz	40
Velocidad de la cuchilla	Hz	4
Velocidad de la alimentación	Hz	7
Presión	Bares	160-180
Temperatura-cámara 1	°C	60
Temperatura-cámara 2	°C	120
Temperatura cámara 3	°C	150
Temperatura cámara 4	°C	170
Diámetro	Mm	2.5
Número de dados		2

### **2.6.1. Análisis Estadístico**

Se llevo a cabo un análisis de varianza para cada una de las variables de respuesta, en caso de detectarse diferencia significativa entre tratamientos se aplicó la prueba Tukey5%. Para evaluar las variables de aceptabilidad (sensoriales), tanto paramétricas y no paramétricas de aceptabilidad, se utilizó la prueba de Friedman al 5 % empleando el estadístico Ji- cuadrado. El esquema de análisis de varianza se presenta en la tabla 15.

**Tabla 15.***Análisis de varianza.*

<b>Fuentes de variación</b>	<b>G.L</b>
Total	23
Tratamientos	7
A (Humedad de la mezcla)	1
B (Temperatura de la cámara de extrusión)	1
C (Formulación de la mezcla)	1
AB	1
AC	1
BC	1
ABC	1
Error experimental	16

## **2.7. Aceptabilidad, Textura Instrumental y Sensorial del Snack.**

La textura representa uno de los atributos fundamentales para evaluar la aceptación y calidad de los productos procesados. Por esta razón, en este estudio se llevaron a cabo análisis de aceptabilidad, así como de textura instrumental y sensorial.

### **2.7.1. Análisis de Aceptabilidad**

El producto extruido fue sometido a evaluación sensorial por parte de un panel compuesto por 10 catadores entrenados. Se utilizaron escalas no estructuradas de tres intervalos para calificar los atributos del producto, siendo "muy bueno" equivalente a 6 puntos, "bueno" a 4 puntos y "regular" a 2 puntos. Los atributos evaluados incluyeron color, olor, sabor y textura, y se analizaron mediante la prueba de Friedman al 5 % utilizando el estadístico Ji-cuadrado.

### 2.7.2. *Análisis de Textura Instrumental*

El análisis de textura instrumental se realizó con un Texturometro TA-XT2i de la estación Experimental Santa Catalina del INIAP, mediante el software del equipo (Texture Expert for Windows). El análisis de textura se obtuvo con la ayuda de 4 sondas: punción, compresión, guillotina sin filo y guillotina con filo detallados en la tabla 16.

**Tabla 16.**

*Análisis de textura instrumental.*

<b>Propiedades</b>	<b>Métodos</b>
Prueba de guillotina sin filo	Texturometro TA-XT2i
Prueba de guillotina con filo	Texturometro TA-XT2i
Sonda de compresión	Texturometro TA-XT2i
Punción	Texturometro TA-XT2i

El procedimiento de los métodos de análisis de textura instrumental del producto extruido de la tabla 16 se describe en el anexo 2

### 2.7.3. *Análisis de Textura Sensorial*

La evaluación de la textura de los productos extruidos se llevó a cabo con la participación de un panel semi-entrenado compuesto por 10 individuos empleados en la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP. Se evaluaron atributos como dureza, crujiente, resistencia a la ruptura y adherencia. Se asignaron valores numéricos para la tabulación, donde las características más deseables recibieron el valor más alto (10) y las menos deseables, el valor más bajo (1). Estos análisis se detallan en la tabla 17.

**Tabla 17.***Análisis de textura sensorial.*

<b>Propiedades</b>
Dureza
Crocancia
Resistencia a la ruptura
Adherencia

## **2.8. Efecto del Proceso de Extrusión Sobre la Funcionalidad del Producto Extruido.**

En el proceso de extrusión, la temperatura de operación desempeña una función crucial en la modificación de las propiedades reológicas de los productos extruidos, lo cual repercute positiva o negativamente en el grado de expansión (Carvajal, 2018). Para cumplir con este objetivo realizamos los análisis funcionales descritos en la tabla 18.

**Tabla 18.***Análisis funcional del producto extruido.*

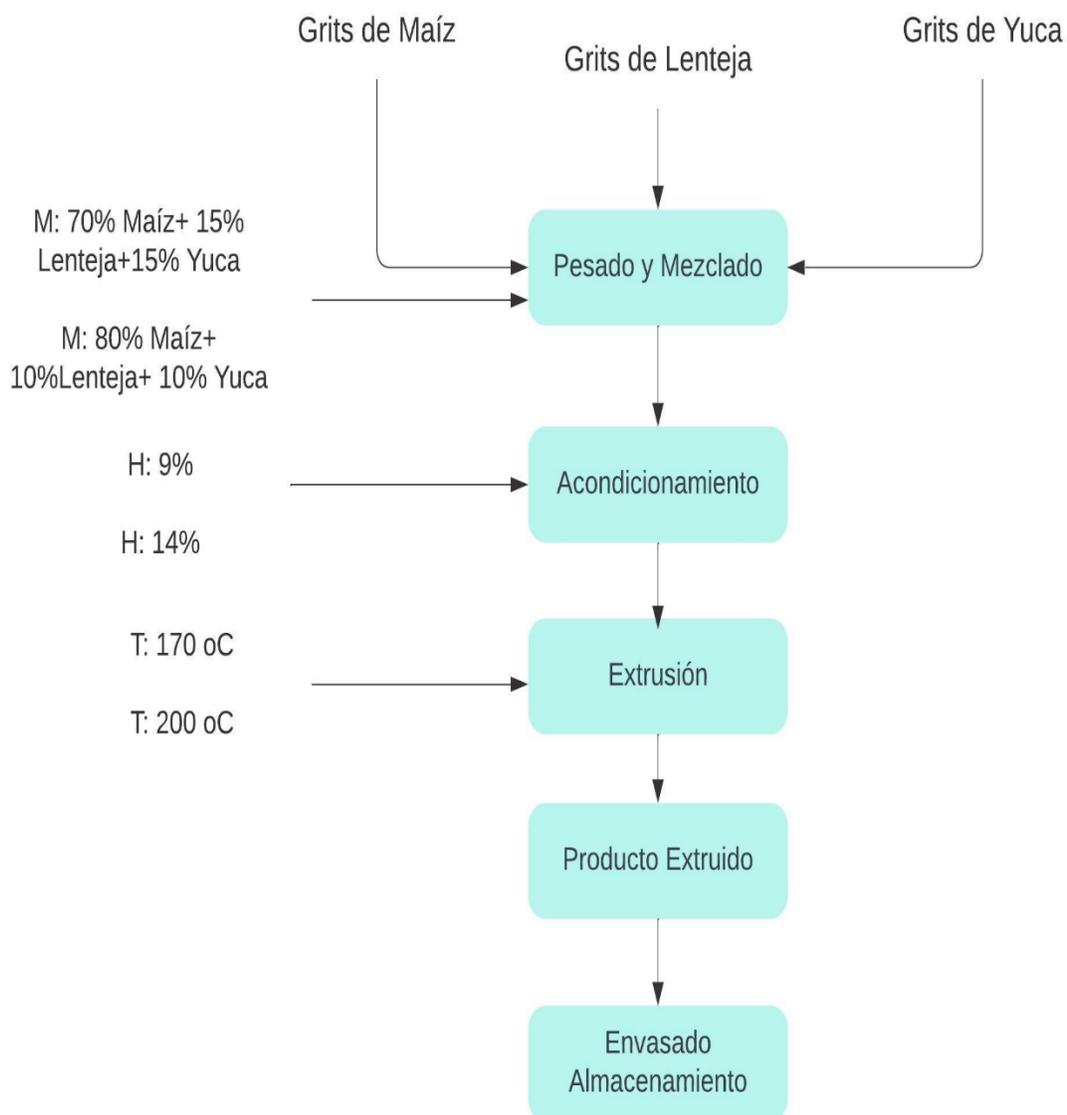
<b>Propiedades</b>	<b>Método</b>
Índice de expansión	Cálculo
Índice de absorción de agua	Método de Anderson
Índice de solubilidad de agua	Método de Anderson

El procedimiento de los métodos de análisis funcional del producto extruido de la tabla 20 se describe en el anexo 3.

## 2.9. Manejo Especifico del Experimento

El procedimiento para la elaboración del producto extruido a base de maíz, lenteja y yuca se detalla en el diagrama de flujo.

### 2.9.1. Diagrama de Flujo del Proceso de Extrusión



## 2.9.2. Descripción del Proceso de Extrusión

### 2.9.2.1 Pesado y Formulación de las Mezclas de Grits.

Para obtener la mezcla 1, conformada por 70% de maíz + 15% de lenteja +15% de yuca se pesaron 3,5 kg de grits de maíz, 0,75 kg de grits de lenteja y 0,75 kg de grits de yuca. Para la mezcla 2, conformada de 80% de maíz + 10% de lenteja +10% de yuca se pesaron 4 kg de grits de maíz, 0,5 kg de grits de lenteja y 0,5 kg de grits de yuca, para la obtención de las unidades experimentales.

#### Figura 8.

*Pesado de materia prima*



### 2.9.2.2 Mezclado de los grits

Los grits fueron pesados utilizando una balanza analítica según las formulaciones establecidas y posteriormente mezclados para garantizar la uniformidad de las unidades experimentales. Se extrajo una muestra de 500g para llevar a cabo los análisis correspondientes, cuyos resultados se presentan en la tabla 19.

**Tabla 19.**

*Análisis de humedad inicial de la formulación de las mezclas.*

<b>Formulación de las mezclas</b>	<b>Humedad</b>
M1: 70% maíz+15% yuca+15% lenteja	11,80
M2: 80% maíz+10% yuca+10% lenteja	11,95

**Nota:** Laboratorio del Análisis Físico, Químicos y Microbiológicos (FICAYA-UTN)

### **2.9.2.3 Acondicionado de Humedad de las Mezclas.**

Al conocer el contenido de humedad inicial de las mezclas, se ajustaron las humedades de las mezclas 1 y 2, al 14% mediante la adición de agua destilada, aplicando la siguiente ecuación:

#### **Cálculo**

$$P1(\%H1) + P2(\%H2) = PT (Hx)$$

Donde:

P1, P2, = Peso de las materias primas

%H1, %H2= Porcentaje de humedad inicial de las muestras

PT= Peso total de la mezcla

Hx= Humedad final

**Figura 9.**

*Acondicionado de las mezclas.*



Para ajustar el contenido de humedad de las mezclas 1 y 2 al 9%, éstas se colocaron en un deshidratador a 60°C, con velocidad de aire caliente igual a 3.06 m/s y durante un tiempo de 30 minutos. Tras ese periodo se obtuvieron las mezclas 1 y 2 con un contenido de humedad del 9 %.

**2.9.2.4 Extrusión.**

Utilizando un equipo de extrusor de doble tornillo modelo ASA-D30, se llevó a cabo el acondicionamiento con una alimentación de 5 kg y una velocidad de tornillo sinfín de 40 Hz, junto con una velocidad de alimentación de 7 Hz. Se establecieron las temperaturas de las cámaras de manera secuencial: 60 oC en la primera cámara, 120 oC en la segunda, 150 oC en la tercera, y finalmente 170 oC y 200 oC en la cuarta cámara, aplicando un proceso de cocción rápido, continuo y uniforme. Durante este proceso, la mezcla de grits de maíz, yuca y lenteja se introdujo en el extrusor y, bajo alta presión, el producto resultante se extruyó a través de una abertura o boquilla con un diseño específico.

**Figura 10.***Extrusión*

### 2.9.2.5 Envasado y almacenamiento.

Tras la extrusión se guardó en fundas de alta densidad para llevarlos a los laboratorios a sus respectivos análisis.

**Figura 11.***Envasado y almacenamiento*

## **CAPÍTULO III.**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La investigación describe el uso de tres materias primas principales para la elaboración de producto extruido: grits de maíz duro, lenteja y yuca. La yuca se deshidrató, molienda y tamizó para lograr las condiciones del proceso de extrusión. El proceso de extrusión se lo realizó en un extrusor de doble tornillo.

#### **3.1. Caracterización Físicoquímica de las Materias Primas**

Se llevo a cabo los análisis físicoquímicos de los grits de maíz duro, lenteja y yuca, así como de las mezclas 1 y 2. Estos análisis proporcionaron información valiosa sobre la composición nutricional y las propiedades físicas de los ingredientes, sentando las bases para el desarrollo de los productos extruidos. La Tabla 20 presenta los resultados detallados de la composición físicoquímica de las materias primas. Se observaron diferencias significativas entre los componentes de las materias primas y las mezclas alimenticias. La lenteja y la mezcla 1 mostraron contenidos más elevados de proteína bruta (28,25% y 19,96%, respectivamente) y fibra bruta (4,26% y 1,96%, respectivamente) en comparación con el maíz y la mezcla 2. Por otro lado, la yuca presentó un mayor valor nutricional en general.

Cabe destacar que la yuca tiene un alto contenido de almidón del 86%, mientras que el maíz y la lenteja presentaron valores promedio de contenido de almidón del 52,29% y 68%, respectivamente. El hallazgo es relevante, ya que el almidón es crítico en la expansión y textura del producto extruido. Para obtener productos extruidos altamente expandidos y con excelentes características texturales, se sugiere que el contenido mínimo de almidón en la mezcla debe ser del 60% (Fernández M., José L. ; Guivar D., 2016).

**Tabla 20.***Composición físico-química de las materias primas*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Grits de Maíz</b>	<b>Grits de Lenteja</b>	<b>Grits de Yuca</b>	<b>Mezcla 1</b>	<b>Mezcla 2</b>
Humedad	%	12,35	11,80	7,50	11,80	11,95
Cenizas	%	0,64	0,02	0,02	0,01	0,01
Proteína	%	8,32	28,25	4,30	19,96	14,12
Extracto Etéreo	%	1,38	1,08	0,90	1,20	1,15
Carbohidratos	%	77,31	59,60	87,78	67,20	72,92
Fibra	%	1,40	4,26	1,75	1,90	1,58
Almidón	%	52,29	68,00	86,00	-	-
Amilosa	%	17,13	10,20	9,01	-	-
Amilopectina	%	82,87	89,81	90,99	-	-

Además, se verificó que la mezcla 1 y la mezcla 2 presentaron contenidos más altos de carbohidratos (67,20% y 72,92%, respectivamente) en comparación con la lenteja y el maíz. Estas diferencias en la composición nutricional pueden influir en las propiedades sensoriales y en el perfil de sabor del producto final.

El contenido de amilosa en el almidón de las materias primas fue de 17,13 % para el maíz, 10,20 % para la lenteja y 9,01 % para la yuca, lo que también puede implicar en la textura del producto extruido, ya que la amilosa afecta la retrogradación y la firmeza del producto final.

Asimismo, es importante destacar que las mezclas alimenticias deben cumplir con ciertas normativas para ser utilizadas en el proceso de extrusión. Según la norma "Mezclas Alimenticias"

(INEN 2051:2013, 2013), para ser consideradas como tales, estas combinaciones deben prepararse utilizando materias primas deshidratadas que no excedan un contenido de humedad del 14,5%. Los resultados obtenidos en este análisis están en concordancia con el límite establecido por la regulación actual, asegurando así la calidad y la idoneidad de las mezclas empleadas en la producción.

### **3.2. Variables Físico-Químicas en los Productos Extruidos**

Se analizaron las variables físico-químicas de los productos extruidos resultantes de las mezclas de grits (M1: 70% maíz + 15% lenteja + 15% yuca, M2: 80% maíz + 10% lenteja + 10% yuca) con contenidos de humedad del 9% y 14%, sometidas a temperaturas de extrusión de 170°C y 200°C. Los efectos de estos tratamientos se reflejaron en los contenidos de humedad, proteína, extracto etéreo, ceniza, carbohidratos y fibra.

Los resultados, presentados en la Tabla 21, muestran que tanto el factor A (humedad de la mezcla) como el factor C (formulación de la mezcla) presentaron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0,01$ ) en todas las propiedades analizadas. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, lo que sugiere que los productos extruidos difieren significativamente en función de estos factores. Se destaca que la humedad de la mezcla tuvo un impacto significativo en todas las propiedades físico-químicas estudiadas.

Asimismo, el factor B (temperatura de la última cámara de extrusión) mostró efectos altamente significativos ( $p \leq 0,01$ ) en la mayoría de las variables evaluadas, excepto en el contenido de extracto etéreo, donde no se observó un efecto significativo.

Además, se llevó a cabo un exhaustivo análisis estadístico para examinar las interacciones entre los factores. Los resultados mostraron que la interacción AxB (humedad de la mezcla vs temperatura de la última cámara de extrusión) tuvo efectos altamente significativos ( $p \leq 0.01$ ) en

la mayoría de las variables, excepto en el contenido de cenizas y proteína. Las interacciones AxC (humedad de la mezcla vs formulación de la mezcla) y BxC (temperatura de la última cámara de extrusión vs formulación de la mezcla) también generaron efectos altamente significativos ( $p \leq 0.01$ ) en la mayoría de las variables, excepto en el contenido de humedad y extracto etéreo. Por otro lado, la interacción AxBxC (humedad de la mezcla - temperatura de la última cámara de extrusión - formulación de la mezcla) no mostró efectos significativos ( $p > 0.05$ ) en ninguna de las variables, excepto en el contenido de extracto etéreo.

Además, se observa que los coeficientes de variación (CV%) de las características físico-químicas del producto extruido evaluadas están comprendidos entre 0,46% y 3,10%, con valores inferiores al 4%. Esto indica que los datos obtenidos son confiables y se ajustan a las condiciones experimentales en el laboratorio.

**Tabla 21.**

*Análisis de varianza para la variable humedad del producto extruido.*

Fuentes de Variación	GL	Humedad		Cenizas		Proteína		Extracto Etéreo		Fibra		Carbohidratos	
		F-valor		F-valor		F-valor		F-valor		F-valor		F-valor	
Total	23												
Tratamientos	7	176,75	**	44,78	**	122,23	**	77,19	**	60,69	**	146,49	**
A (Humedad en la mezcla)	1	895,01	**	9,46	**	15,73	**	354,46	**	86,48	**	59,37	**
B (Temperatura de la última cámara de extrusión)	1	290,69	**	51,53	**	175,53	**	3,54	ns	77,18	**	38,61	**
C (Formulación de mezcla)	1	24,81	**	120,72	**	635,31	**	107,22	**	132,89	**	828,35	**
AB	1	11,45	**	16,83	ns	0,61	ns	14,18	**	89,70	**	22,19	**
AC	1	3,43	ns	37,86	**	18,38	**	0,89	ns	26,01	**	58,31	**
BC	1	3,79	ns	72,20	**	9,64	**	7,98	ns	9,79	**	15,04	**
ABC	1	8,07	ns	4,83	ns	0,39	ns	52,09	**	2,79	ns	3,53	ns
Error experimental	16												
Promedio		6,18		1,14		15,49		0,47		1,57		76,92	
CV (%)		3,10		2,44		2,05		2,76		3,04		0,46	

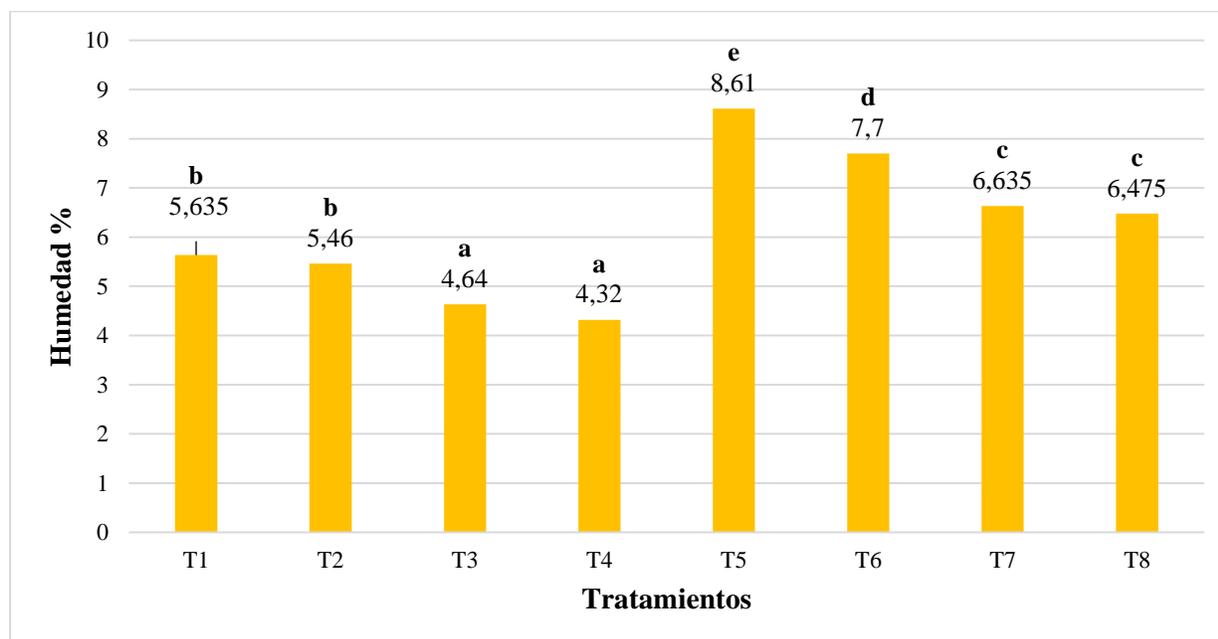
### 3.2.1. *Humedad del Producto Extruido*

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 21) revelan que los factores principales: humedad de la mezcla (A), temperatura de la cámara de extrusión (B), formulación de la mezcla (C) y la interacción entre la humedad de la mezcla y la temperatura de la última cámara de extrusión (AxB), tuvieron un impacto altamente significativo en el contenido de humedad del producto extruido ( $p \leq 0,01$ ). Sin embargo, no se observaron diferencias significativas en las demás interacciones. El coeficiente de variación registrado fue del 3,10%, y la media del contenido de humedad del producto extruido fue del 6,80%, se encuentra en el anexo 4.

Las diferencias significativas encontradas entre los tratamientos llevaron a realizar la prueba Tukey ( $\alpha \leq 0,05$ ) para comparar los tratamientos entre sí y la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS  $\alpha \leq 0,05$ ) para evaluar las diferencias entre los factores. La figura 12 muestra gráficamente el contenido de humedad del producto extruido.

**Figura 12.**

*Contenido de humedad (%) del producto extruido*



Arribas (2020) señala que la humedad del producto tiene un impacto significativo en la textura, expansión y la aceptabilidad de los extruidos. En la Figura 12 muestran los niveles de humedad registrados durante el proceso de extrusión, que varían de un 4,32 % a un 8,61 %. La prueba de comparación múltiple de Tukey, realizada al 5%, reveló la existencia de cinco rangos con diferencias estadísticamente significativas, tal como se indica en el Anexo 5. Los tratamientos T4 (9% de humedad en la mezcla, temperatura de cámara de extrusión de 200°C y formulación 80:10:10) y T3 (9% de humedad en la mezcla, temperatura de cámara de extrusión de 200°C y formulación 70:15:15) demostraron niveles bajos de humedad (4,32% y 4,64%, respectivamente) en comparación con los otros tratamientos, clasificándose dentro del rango (a). Por otro lado, el tratamiento T5 (14% de humedad en la mezcla, temperatura de cámara de extrusión de 170°C y formulación 70:15:15) mostró un nivel de humedad más alto (8,61%) en relación con los demás tratamientos, ubicándose en el rango más alto (e).

Se encontró que una menor humedad de la mezcla (9% a 14%) y una mayor temperatura (200°C) redujeron el contenido de humedad del producto extruido, lo que concuerda con otras investigaciones que señalan que la extrusión a alta temperatura y corto tiempo disminuye la humedad del producto (Cerón et al., 2016)(Obradović et al., 2014) cómo se observa en el anexo 6.

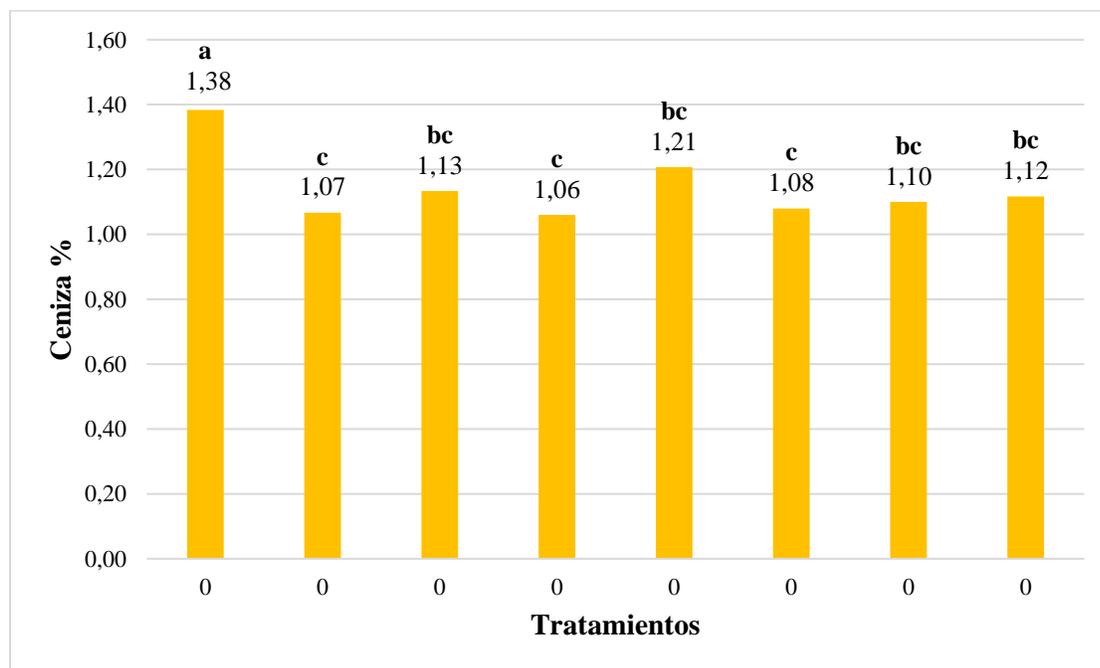
Beltrán (2022) sostiene que la temperatura de extrusión y la humedad inicial de la materia prima son los factores que más influyen en la humedad del alimento extruido. Una menor temperatura y mayor humedad de la mezcla resultan en un contenido de humedad final más alto, lo que puede afectar la calidad sensorial y favorecer el desarrollo de microorganismos y otras reacciones de deterioro. En consecuencia, la humedad final es un factor clave para definir la calidad del alimento extruido.

### 3.2.2. Cenizas del Producto Extruido

El análisis de varianza realizado para la variable de cenizas, como se detalla en el Anexo 7, mostro una influencia altamente significativa ( $p \leq 0,01$ ) de los factores humedad de la mezcla (A), temperatura de la cámara de extrusión (B), formulación de la mezcla (C) e interacciones entre humedad de la mezcla y formulación de la mezcla (AC), así como entre temperatura de la última cámara de extrusión y formulación de la mezcla (BxC). No se observaron diferencias significativas en las interacciones entre humedad de la mezcla y temperatura de la última cámara de extrusión (AxB) ni en la interacción triple (AxBxC). La media del contenido de cenizas en el producto extruido fue del 1,14%, con un coeficiente de variación del 2,44% (Figura 13).

**Figura 13.**

*Contenido de ceniza del producto extruido %*



La Figura 13 presenta los niveles de cenizas de los productos extruidos producidos por el proceso de extrusión, los cuales oscilan entre el 1,06% y el 1,38%. El tratamiento T1 (con 9% de

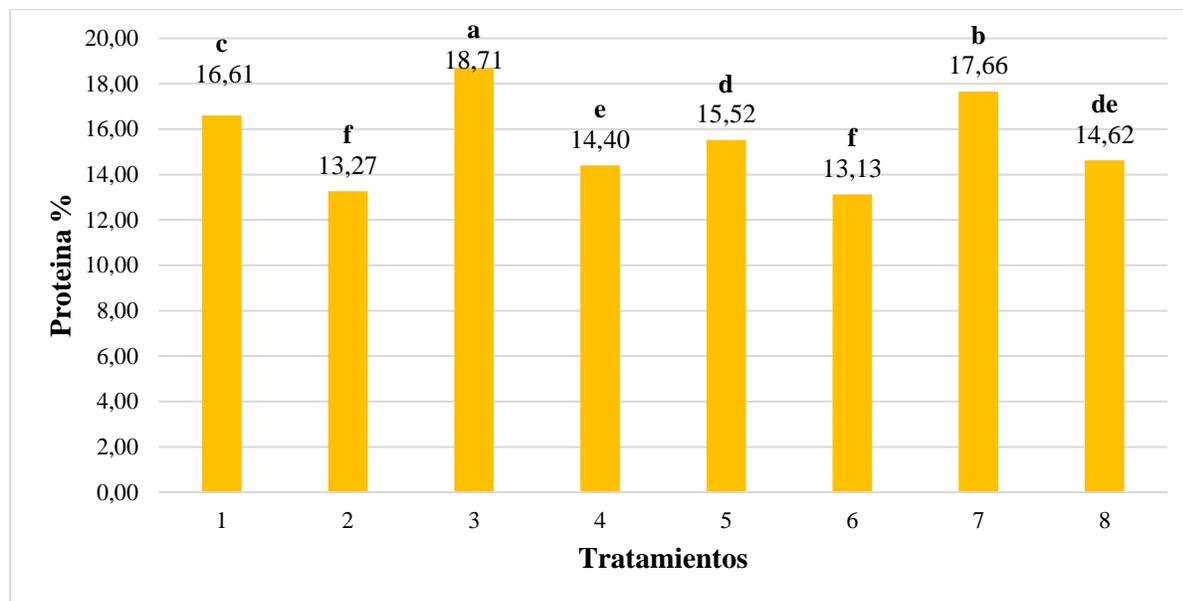
humedad, temperatura de 170°C y una formulación de 70:15:15) exhibió el mayor contenido de cenizas (1,38%), mientras que los tratamientos T4, T2 y T6 presentaron valores más bajos (1,06%-1,07%-1,08%) en el rango (c). A mayor sustitución de grits de maíz, el contenido de minerales en el producto extruido aumenta, coincidiendo con estudios anteriores (Sundarrajan, 2014) y resaltando la importancia de los minerales como micronutrientes esenciales en la dieta humana, especialmente en productos elaborados con leguminosas (Maskan & Altan, 2011) se observa en anexo 8.

### **3.2.3. *Proteína del Producto Extruido***

El análisis de varianza para la variable de proteína, como se muestra en el Anexo 9, indicó una influencia altamente significativa ( $p \leq 0,01$ ) de los factores humedad de la mezcla (A), temperatura de la cámara de extrusión (B), formulación de la mezcla (C) y las interacciones entre humedad de la mezcla y formulación de la mezcla (AxC), así como entre temperatura de la última cámara de extrusión y formulación de la mezcla (BxC). No se encontraron diferencias significativas en las interacciones entre humedad de la mezcla y temperatura de la última cámara de extrusión (AxB) ni en la interacción triple (AxBxC). La media del contenido de proteína en el producto extruido fue del 15,49%, con un coeficiente de variación del 2,05% (Figura 14).

**Figura 14.**

*Contenido de proteína del producto extruido %*



En la Figura 14 se exhiben los niveles de proteína de los productos extruidos obtenidos mediante el proceso de extrusión, que oscilan entre un 13,13 % a un 18,71 %. El tratamiento T3 (70:15:15; 9% humedad y 200°C temperatura) demostró el mayor contenido de proteína (18,71%), mientras que los tratamientos T2 y T6 presentaron los valores más bajos (13,27% y 13,13%). Como se evidencia en el anexo 10, a medida que se incrementa la sustitución de los grits de maíz y la temperatura, aumenta el porcentaje de proteína en el producto extruido, lo cual coincide con estudios anteriores (Murillo, 2020; Santacruz et al., 2022; Valverde, 2020), que han resaltado la influencia de la temperatura y humedad en la formación de proteínas durante el proceso de extrusión.

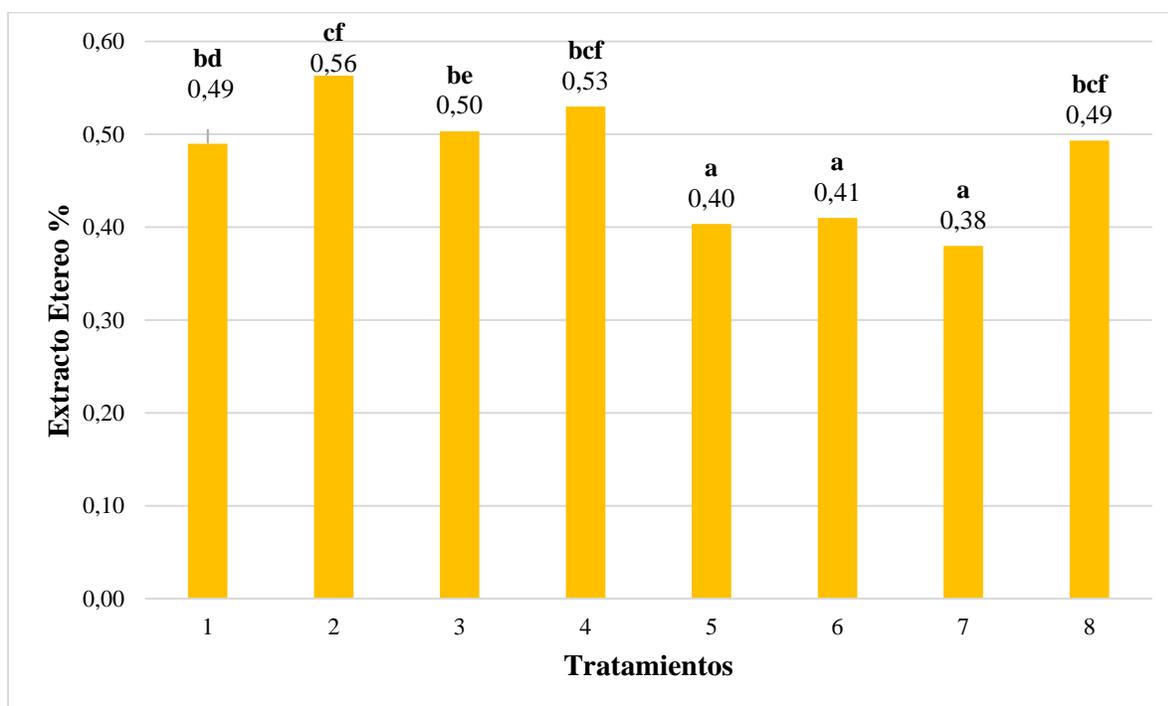
#### **3.2.4. *Extracto Etéreo del Producto Extruido.***

El análisis de varianza realizado para determinar el contenido de extracto etéreo reveló diferencias estadísticamente significativas al nivel del 1% para los factores humedad de la mezcla

(A), formulación de la mezcla (C), así como para la interacción entre humedad de la mezcla y temperatura de la última cámara de extrusión (AB) y (ABC). No se observaron diferencias significativas para el factor temperatura de la cámara de extrusión (B), ni para las interacciones entre humedad de la mezcla y formulación de la mezcla (AC), ni entre temperatura de la última cámara de extrusión y formulación de la mezcla (BC). El promedio del contenido de extracto etéreo en el producto extruido fue de 0,47%, con un coeficiente de variación del 2,76%, según se especifica en el Anexo 11.

**Figura 15.**

*Extracto etéreo del producto extruido*



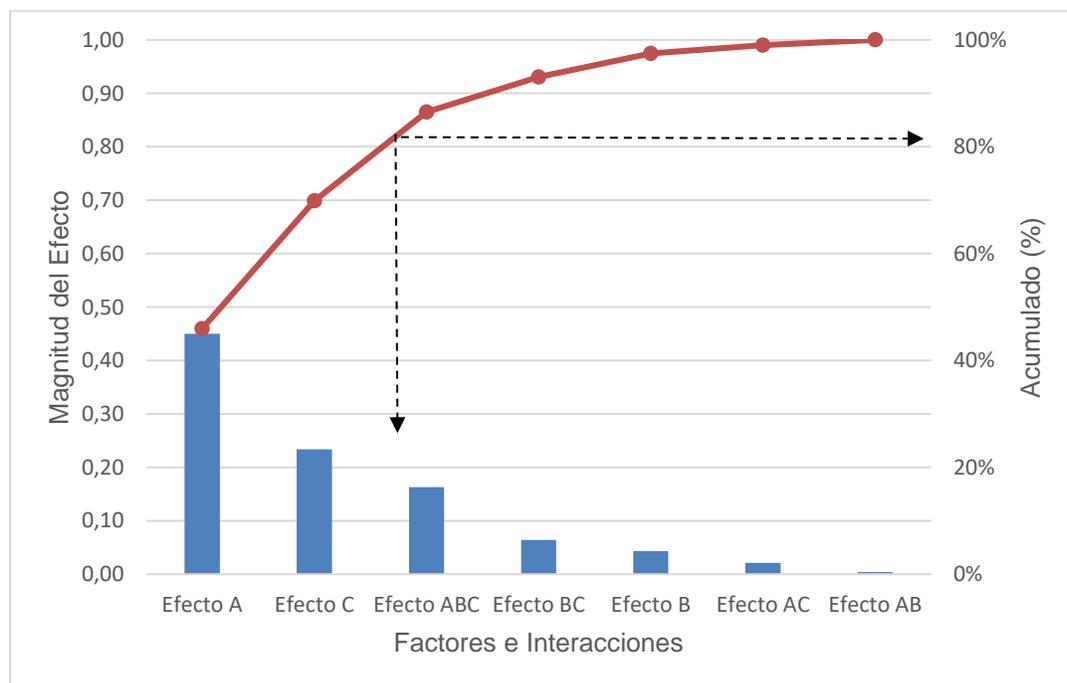
En la Figura 15 se presentan los niveles de extracto etéreo de los productos extruidos obtenidos mediante el proceso de extrusión, los cuales oscilan entre el 0,38% y el 0,56%. Según el Anexo 12, el tratamiento T2 (con un 9% de humedad, temperatura de 170°C y una formulación de 80:10:10) mostro el mayor contenido de extracto etéreo (0,56%), mientras que el tratamiento

T7 (con un 14% de humedad, temperatura de 200°C y una formulación de 70:15:15) exhibió el valor más bajo (0,38%). Se observó que a medida que aumenta la sustitución de grits de maíz, también aumentaba el contenido de extracto etéreo en el producto extruido (Arribas, 2020).

Además, se elaboró un diagrama de Pareto (Figura 16) para visualizar la importancia relativa de los factores que afectan el contenido de extracto etéreo en el producto extruido. En este diagrama, se destaca que la humedad de la mezcla (A) es el factor más relevante, con un valor del 0,45%. Le sigue en importancia la formulación de la mezcla (C) con un valor del 0,23%. Estos resultados sugieren que ajustar correctamente la humedad y la composición de la mezcla puede influir en el extracto etéreo del producto terminado.

**Figura 16.**

*Diagrama de Pareto para extracto etéreo*

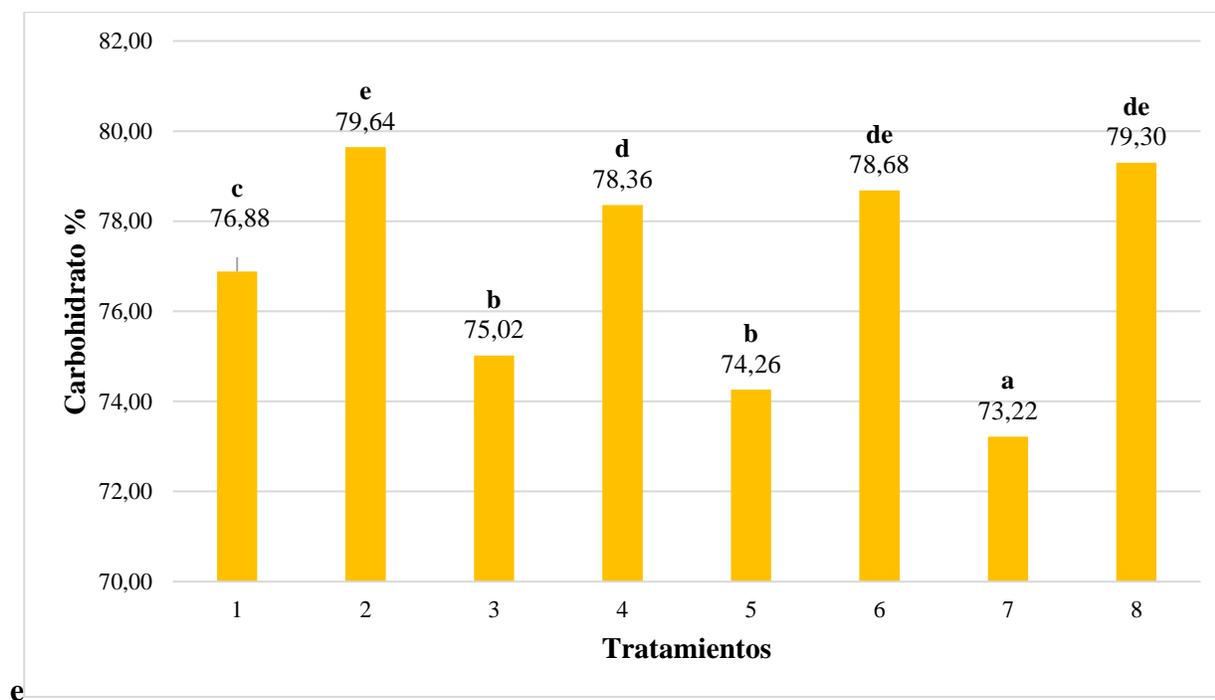


### 3.2.5. Carbohidratos del Producto Extruido

El análisis de varianza efectuado para la variable del contenido de carbohidratos en el producto extruido reveló diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) debido a los factores principales: humedad de la mezcla (A), temperatura de la cámara de extrusión (B) y formulación de la mezcla (C). Se observaron interacciones significativas entre humedad de la mezcla y temperatura de la última cámara de extrusión (AB), humedad de la mezcla y formulación de la mezcla (AC), así como temperatura de la última cámara de extrusión y formulación de la mezcla (BC). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en la interacción triple (ABC). Se obtuvo un coeficiente de variación del 0.46% y una media de contenido de carbohidratos del producto extruido del 76.92%, según se detalla en el Anexo 13.

**Figura 17.**

*Contenido de Carbohidratos del producto extruido (%)*



En la Figura 17 se puede apreciar los contenidos de carbohidratos de los productos extruidos, que varían entre 73.22% y 79.64%. Al utilizar la prueba de comparación múltiple de Tukey con un nivel de significancia del 5%, se identificaron cinco grupos con diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos. Los tratamientos T7 (con un 14% de humedad en la mezcla, una temperatura de cámara de extrusión de 200°C y una formulación de 70:15:15) mostraron niveles bajos de contenido de carbohidratos (73.22%) en comparación con los otros tratamientos, ubicándose en el grupo (a). Por otro lado, los tratamientos T2 (con un 9% de humedad en la mezcla, una temperatura de cámara de extrusión de 170°C y una formulación de 80:10:10) exhibieron niveles más altos de carbohidratos (79.64%) en comparación con los demás tratamientos, clasificándose en el grupo final (e). Estos resultados indican que la variación en el contenido de carbohidratos está influenciada tanto por la humedad y la temperatura utilizadas en la cámara de extrusión, como por la composición de la mezcla, donde el T7, con una reducción en la participación del grits de maíz al 70%, presentó menor contenido de carbohidratos (Anexo 14).

Aguirre & Calderon (2018), señala que el almidón contribuye a la formación de gel y viscosidad en la cocción de la pasta. Los humanos y otras especies monogástricas no pueden digerir fácilmente el almidón sin que previamente hayan experimentado un proceso de gelatinización. La gelatinización del almidón puede ocurrir en niveles de humedad de 12-22%, una condición que es difícil de lograr mediante otros procesos empleados en la industria de alimentos.

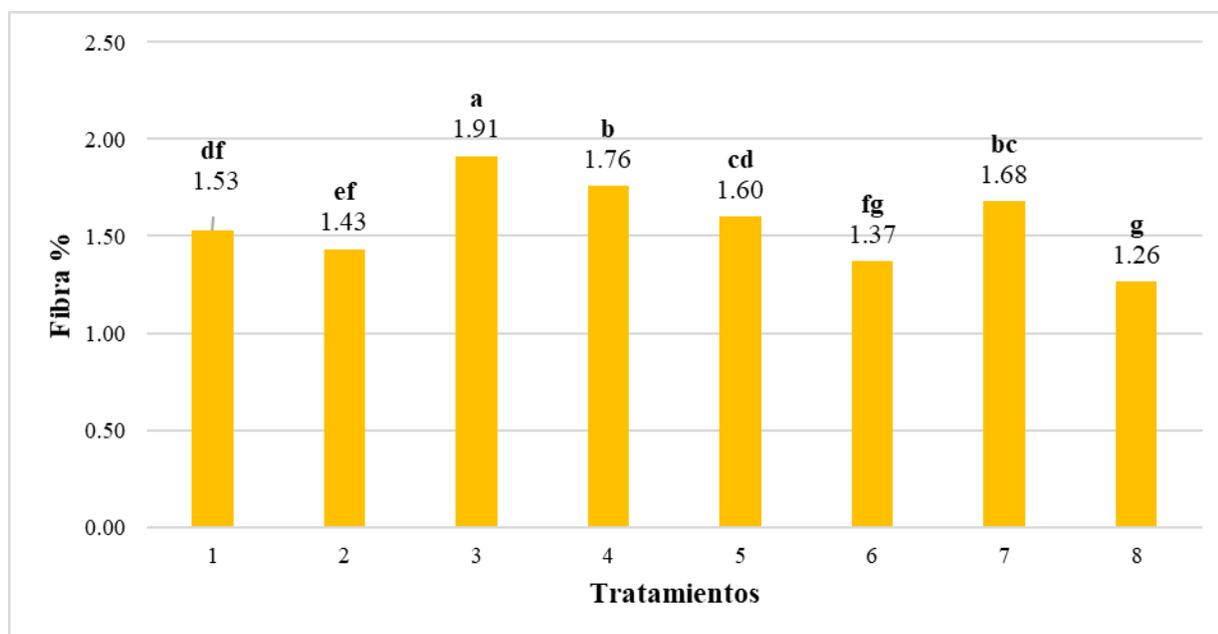
### **3.2.6. Fibra**

El análisis de varianza llevado a cabo para el contenido de fibra en el producto extruido también reveló diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.01$ ). Los principales factores que

influyeron significativamente fueron la humedad de la mezcla (A), la temperatura de la cámara de extrusión (B) y la formulación de la mezcla (C), así como las interacciones entre la humedad de la mezcla y la temperatura de la última cámara de extrusión (AB), la humedad de la mezcla y la formulación de la mezcla (AC), y la temperatura de la última cámara de extrusión y la formulación de la mezcla (BC). No obstante, no se encontraron diferencias significativas en la interacción triple (ABC). El coeficiente de variación obtenido fue del 3.04%, y la media del contenido de fibra en el producto extruido fue del 1.57%, según se detalla en el Anexo 15.

### Figura 18.

*Contenido de Fibra del Producto Extruido (%)*



La Figura 18 presenta los niveles de fibra de los productos extruidos, los cuales oscilan entre 1.26% y 1.91% para los tratamientos resultantes de los factores estudiados. Al aplicar la prueba de Tukey al 5%, el tratamiento T9 (9% de humedad, 200°C de temperatura de la cámara de extrusión y 70:15:15 de formulación) registró el mayor contenido de fibra, con un valor

promedio de 1.91%. En contraste, el tratamiento T8 (14% de humedad de la mezcla, 200°C de temperatura de la cámara de extrusión y 80:10:10 de formulación) presentó un valor promedio de 1.26%. Estos resultados indican que los extruidos con mayor contenido de fibra fueron obtenidos al aumentar la humedad de la mezcla del 9% al 14% y aumentar la proporción de la mezcla (70:15:15), manteniendo la temperatura en la cámara de extrusión a 200°C.

(Ramo et al., 2015), señala que la cantidad y tipo de fibra en las harinas pueden afectar en las propiedades físicas (como la expansión seccional, porosidad y espesor de la pared) y sensoriales (como la textura crujiente, crocante y dureza) de los snacks extruidos. También menciona como la temperatura de extrusión, la humedad y la combinación de ingredientes en la aceptación, la textura instrumental y la percepción sensorial de los snacks.

### **3.3. Evaluación de la Aceptabilidad Organoléptica e Instrumental de los Productos Extruidos**

En esta sección, se realizaron diversas evaluaciones para analizar la aceptabilidad sensorial e instrumental de los productos extruidos. Se utilizaron dos paneles diferentes: uno conformado por degustadores capacitados y otro por degustadores no capacitados.

#### **3.3.1. Evaluación de Aceptabilidad Sensorial de la Textura (Panel de Degustadores capacitados)**

La evaluación sensorial descriptiva implicó examinar diversos aspectos de la textura del producto extruido, como su dureza, crocancia, resistencia a la ruptura y adherencia. Se empleó un panel de degustadores entrenados para llevar a cabo esta evaluación sensorial. Este método resulta fundamental para comprender y medir con precisión las características del producto.

El análisis de varianza efectuado para los atributos de dureza, crocancia y adherencia, según se detalla en la Tabla 22, no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los

distintos tratamientos. No obstante, se observó una diferencia altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ) entre los tratamientos en relación con el atributo de resistencia a la ruptura. Esto sugiere que la composición de la mezcla, el perfil de temperatura de la cámara de extrusión y el contenido de humedad de la mezcla tuvieron un impacto en la calidad sensorial del producto extruido.

**Tabla 22.**

*Análisis de Varianza de los Atributos de Textura Sensorial del Producto Extruido*

<b>F.V.</b>	<b>G.L.</b>	<b>Dureza</b>	<b>Crocancia</b>	<b>R. Ruptura</b>	<b>Adhesividad</b>
Total	79				
Tratamientos	7	1,82 ns	0,22 ns	4,46 **	0,81 ns
Panelistas	9	8,45 **	3,02 **	2,3 **	2,08 *
E.Experi.	63	3,06,	3,09	4	4
C.V. (%)		23,15	21,58	29,85	32,54

Se llevó a cabo la prueba de comparación múltiple de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) para determinar qué tratamientos mostraron diferencias significativas entre sí en cuanto al atributo de resistencia a la ruptura. Los valores promedio del análisis de textura sensorial del producto extruido se presentan en la Tabla 23.

**Tabla 23.**

*Valores Promedios del Análisis de Textura Sensorial del Producto Extruido*

<b>Tratamientos</b>	<b>Textura Sensorial</b>			
	<b>Dureza</b>	<b>Crocancia</b>	<b>R. Ruptura</b>	<b>Adhesividad</b>
T1	8,50 a	8,22 a	8,22 a	7,22 a
T2	8,00 a	8,50 a	8,00 a	6,80 a
T3	7,80 a	8,00 a	7,10 a	5,40 a
T4	7,40 a	7,80 a	6,40 ab	6,90 a
T5	7,00 a	8,50 a	5,70 ab	6,70 a
T6	6,10 a	8,10 a	4,00 b	6,80 a

Tratamientos	Textura Sensorial			
	Dureza	Crocancia	R. Ruptura	Adhesividad
T7	8,10 a	7,90 a	7,10 a	6,30 a
T8	7,50 a	8,00 a	6,90 a	6,10 a

Entre las diversas condiciones evaluadas, se destacó el tratamiento T1 (con un nivel de humedad en la mezcla del 9%, una temperatura de cámara de extrusión de 170°C y una formulación de maíz 70%, lenteja 15% y yuca 15%) debido a las notables características de su producto extruido. Los resultados obtenidos en la tabla 23 revelaron que el producto del tratamiento T1 exhibió una textura quebradiza, altamente crocante, muy resistente a la ruptura y poco adhesivo a los molares, con valores de 8,50, 8,22, 8,22 y 7,22 para dureza, crocancia, resistencia a la ruptura y adherencia, respectivamente.

La textura mejorada del producto del tratamiento T1 se puede atribuir a la combinación de factores en su formulación. La presencia de lenteja y yuca en la mezcla pudo haber contribuido a la mejora de la crocancia y la resistencia a la ruptura debido a su naturaleza y características. Además, el nivel ideal de humedad (9%) y la temperatura adecuada de la cámara de extrusión (170°C) desempeñaron un papel fundamental en la formación de la textura deseada.

Es importante destacar que los carbohidratos y proteínas en la mezcla interactuaron con la incorporación de lípidos durante el proceso de extrusión, lo que pudo haber generado una disrupción en la estructura del producto final. Esto se reflejó en una menor expansión y valores inferiores de dureza (A. Beltrán, 2022).

Aunque no se detectaron diferencias estadísticamente significativas en términos de dureza, crocancia y adherencia entre los diferentes tratamientos, la prueba de comparación múltiple Tukey reveló que el tratamiento T1 sobresalió notablemente en resistencia a la ruptura en

comparación con los otros tratamientos. Los resultados obtenidos son fundamentales para mejorar y optimizar la calidad sensorial del producto extruido. La investigación previa realizada por Puma & Núñez (2018) respalda estos hallazgos, al explicar que la dureza es la fuerza necesaria para romper completamente el alimento entre los dientes incisivos.

### 3.3.2. *Evaluación de Aceptabilidad Organoléptica (Panel de Consumidores)*

La evaluación sensorial de los productos extruidos producidos mediante el proceso de extrusión se evaluó utilizando una escala hedónica de 6 puntos para características sensoriales como color, olor, sabor y textura. Se conformó de un panel de 10 catadores no capacitados, quienes eran estudiantes de la Universidad Técnica del Norte. Estos catadores evaluaron la calidad del producto extruido en función de su percepción y siguiendo las normas de cata establecidas. En la tabla 24 se detallan los resultados de la evaluación sensorial de cada tratamiento.

**Tabla 244.**

*Valores de Análisis de Aceptabilidad del producto extruido.*

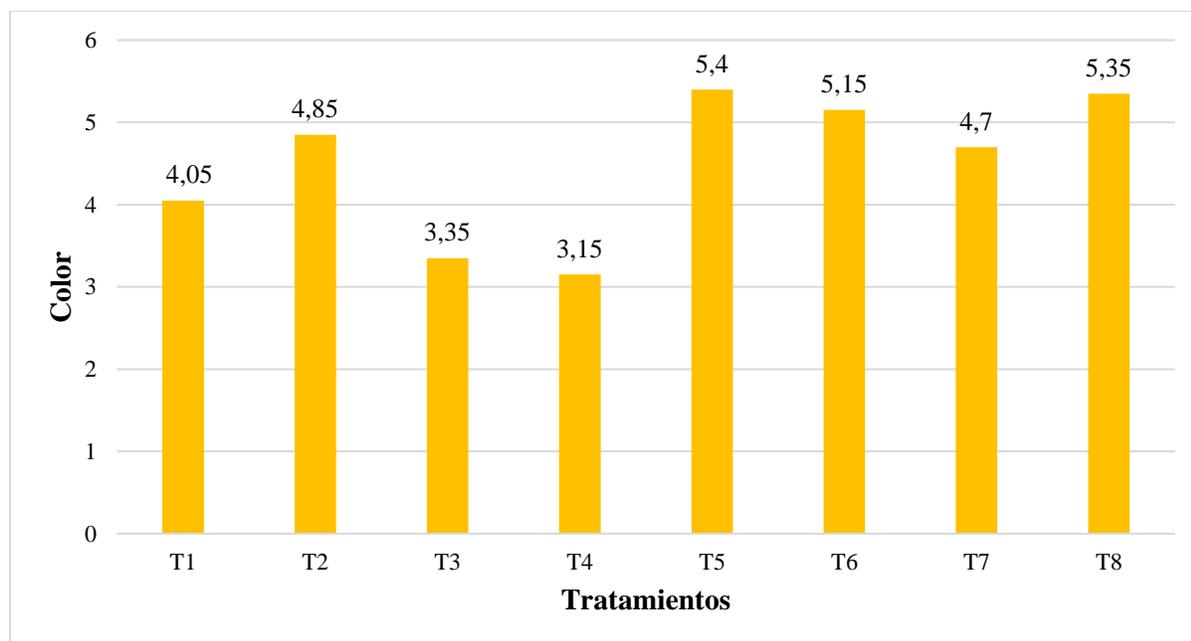
TRATAMIENTOS	ATRIBUTOS			
	Color	Olor	Sabor	Textura
T1	4,05	5,20	3,50	5,40
T2	4,85	4,30	3,40	4,00
T3	3,35	3,60	4,60	3,80
T4	3,15	4,40	5,10	5,40
T5	5,40	4,70	4,10	3,40
T6	5,15	5,20	4,90	3,70
T7	4,70	4,60	5,00	5,20
T8	5,35	4,20	5,60	5,20

### 3.3.2.1. Color

La Figura 19 muestra la evaluación del atributo de color de los productos extruidos. Se identificaron diferencias significativas entre los tratamientos, proporcionando información valiosa sobre las preferencias del consumidor en cuanto a la apariencia visual del producto extruido.

**Figura 19.**

*Diagrama de barras para la variable color*



Según los resultados del análisis no paramétrico de Friedman, como se muestra en la Figura 19, se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos para el atributo de color. En el tratamiento T5 (con un 14% de humedad en la mezcla, una temperatura de cámara de extrusión de 170°C y una formulación de 70:15:15), que fue clasificado como muy bueno, se observó una influencia significativa en la aceptabilidad del producto extruido, lo que indica que es aceptable para los consumidores. Por otro lado, el tratamiento T4 (con un 9% de humedad en

la mezcla, una temperatura de cámara de extrusión de 200°C y una formulación de 80:10:10) recibió una calificación regular.

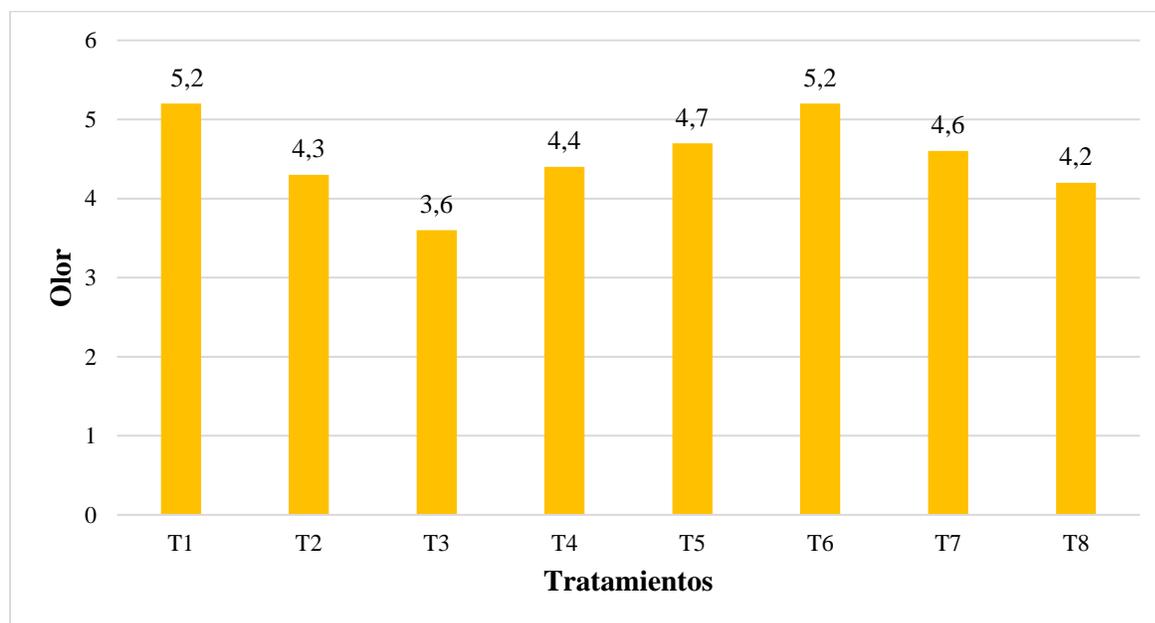
De acuerdo con los estudios realizados, se ha notado que la extrusión apenas afecta las cualidades sensoriales de los alimentos, especialmente su color y aroma. Esto podría deberse a las altas temperaturas utilizadas durante el breve tiempo de exposición en el proceso de extrusión.

### 3.3.2.2. *Olor*

La Figura 20 muestra la evaluación del atributo de olor de los productos extruidos.

**Figura 20.**

*Diagrama de barras para la variable olor*



Aunque no se registraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en cuanto al atributo de olor, es relevante señalar que tanto el tratamiento T1 (con un 9% de humedad en la mezcla, una temperatura de cámara de extrusión de 170°C y una formulación de 70:15:15) como el tratamiento T6 (con un 14% de humedad en la mezcla, una temperatura de

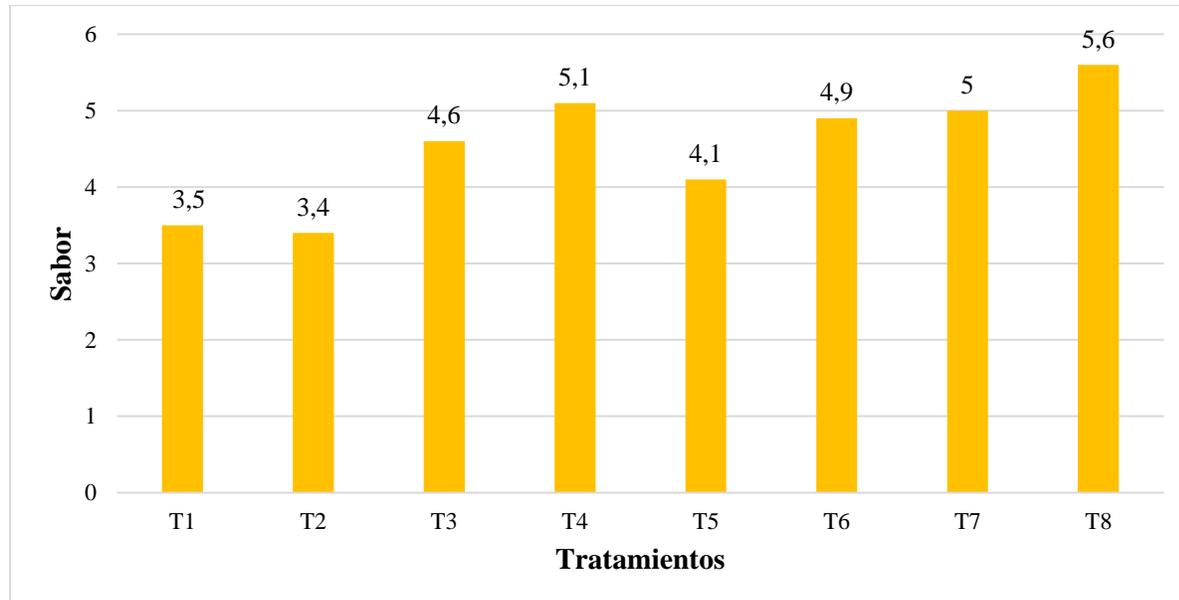
cámara de extrusión de 170°C y una formulación de 80:10:10) recibieron una calificación de 5,2 en la escala de evaluación. Esto indica que ambos tratamientos presentan un aroma considerado aceptable según la percepción del consumidor.

### 3.3.2.3. Sabor

El sabor en los productos extruidos desempeña un papel fundamental al reconocer, recibir y apreciar los alimentos. Las papilas gustativas de la lengua son responsables de identificar los cuatro sabores básicos: amargo, ácido, salado y dulce (Mejía, 2019). Estos elementos sensoriales son clave para la percepción global del producto extruido y pueden influir significativamente en su aceptabilidad por parte de los consumidores.

**Figura 21.**

*Diagrama de barras para la variable sabor*



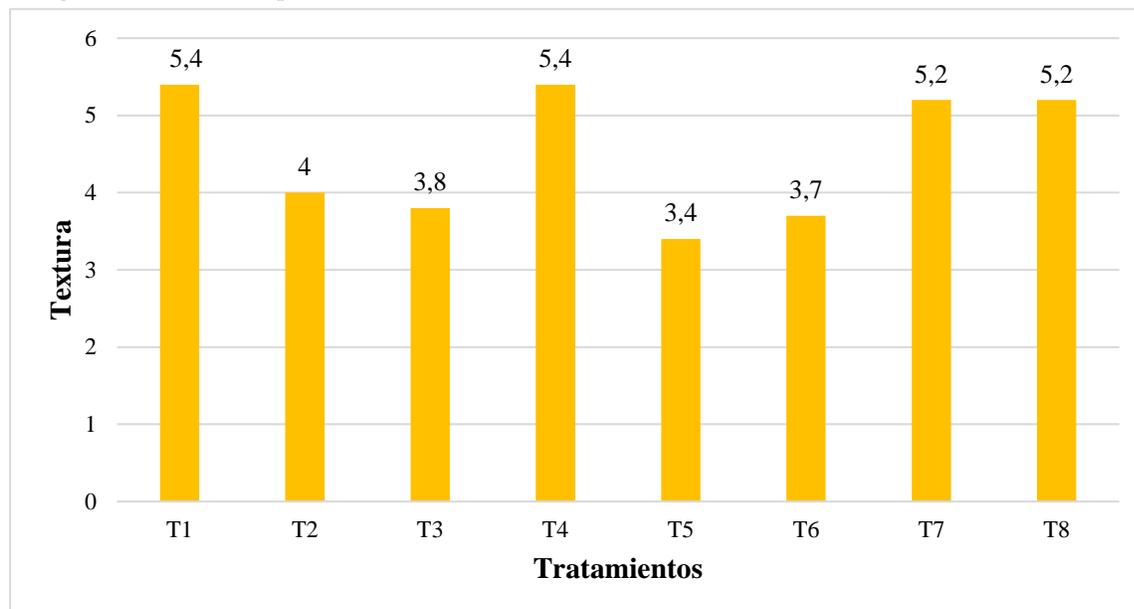
En el análisis de Friedman, como se muestra en la figura 21, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en cuanto al atributo de sabor. No obstante,

es notable que los tratamientos T8 (con un 14% de humedad en la mezcla, una temperatura de cámara de extrusión de 200°C y una formulación de 80:10:10) y T4 (con un 9% de humedad en la mezcla, una temperatura de cámara de extrusión de 200°C y una formulación de 80:10:10) recibieron las puntuaciones más altas, con valores de 5,6 y 5,1, respectivamente. Esto indica que, al mantener la misma temperatura y composición de la mezcla, se obtiene un sabor más satisfactorio según la percepción del consumidor.

Por otro lado, el tratamiento T2 (9% de humedad de la mezcla, 170°C de temperatura de la cámara de extrusión y 80:10:10 de formulación) también presentó valores razonables de aceptabilidad en cuanto al sabor. Aunque no alcanzó las puntuaciones más altas, su desempeño sensorial fue considerado aceptable por los panelistas. Esto indica que, si bien algunos tratamientos destacaron en términos de aceptabilidad de sabor, el tratamiento T2 aún cumplió con los estándares aceptables para el paladar de los consumidores.

#### **3.3.2.4. *Textura***

En la evaluación de la textura de los productos extruidos, se examinó la característica de dureza, que representa la resistencia máxima del producto antes de sufrir fractura. Este factor resulta crucial para definir la calidad y la aceptación del producto entre los consumidores. Se notó una correlación inversa entre la dureza y los niveles de expansión en los productos extruidos, indicando que una mayor dureza se asocia con una menor expansión. Estos resultados están en línea con los hallazgos de Vázquez & Rodríguez (2023).

**Figura 22.***Diagrama de barras para la variable textura*

El análisis de la textura de los productos extruidos revela diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, como se muestra en la figura 22 y se confirma mediante la prueba no paramétrica de Friedman. Los evaluadores valoraron positivamente los tratamientos T1 (con un 9% de humedad en la mezcla, una temperatura de cámara de extrusión de 170°C y una formulación de 70:15:15) y T4 (con un 9% de humedad en la mezcla, una temperatura de cámara de extrusión de 200°C y una formulación de 80:10:10), calificándolos como "Muy bueno" con un promedio de 5.4 en términos de textura. Esto sugiere que mantener una humedad constante con diferentes temperaturas y proporciones de mezcla resulta en una textura altamente satisfactoria para los consumidores.

Los hallazgos respaldan la importancia fundamental de la textura en los alimentos extruidos, especialmente la textura crujiente, como uno de los atributos más deseables en este tipo de productos (Carvajal, 2018). En consecuencia, nuestros resultados son relevantes para mejorar

la calidad y aceptación de los alimentos extruidos, lo que puede tener un impacto positivo tanto en la industria alimentaria como en la satisfacción del consumidor.

### 3.3.3. *Textura Instrumental del Producto Extruido*

El Test de Penetración Textural (TPA) se ha vuelto una prueba muy común como método de medición instrumental. Esta prueba busca emular las condiciones de la masticación, lo que implica que los resultados obtenidos a través de esta técnica deben estar bien correlacionados con los logrados mediante el análisis sensorial (Capelo, 2019).

El análisis de varianza realizado en la Tabla 24 para las pruebas instrumentales de textura (punción, compresión, corte en forma "V" y corte de guillotina con filo) revela una diferencia altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ) en la fuerza obtenida en las pruebas de punción y compresión para los productos extruidos. Esto indica que el contenido de humedad en la mezcla, el perfil de temperatura de la cámara de extrusión y el tipo de mezcla contribuyeron a mejorar la calidad de la textura, lo que influyó en la textura del producto extruido. Por otro lado, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en las pruebas de corte en forma "V" y corte de guillotina con filo.

#### **Tabla 25.**

*Análisis de varianza para atributos de textura instrumentos del producto extruido.*

	G.L	F - VALOR			
		Punción	Compresión	Corte V	Guillotina con filo
Total	79				
Tratamiento	7	6,91 **	6,43**	2,29 ns	1,17 ns
Error Experimental	63				
C.V. (%)		5,41	4,33	19,48	11,92

La aplicación de la prueba de comparación múltiple Tukey al 5% a las pruebas instrumentales de textura, específicamente de punción y compresión (ver Tabla 25), indica que el tratamiento T7, caracterizado por una humedad de la mezcla del 14%, una temperatura de la cámara de extrusión de 200°C y una formulación de 70:15:15, así como el tratamiento T2, con una humedad de la mezcla del 9%, una temperatura de la cámara de extrusión de 170°C y una formulación de 80:10:10, exhibieron valores de fuerza más bajos en comparación con los demás tratamientos. Esto implica que requirieron menos fuerza de penetración en el producto extruido. Tanto la dureza como la textura crujiente de un producto extruido están vinculadas con la expansión, el tamaño y número de burbujas de gas desarrolladas dentro de la matriz rígida de almidón (Aitor, 2019).

**Tabla 26.**

*Valores promedios para atributos de textura instrumental del producto extruido.*

<b>Tratamientos</b>	<b>Punción (N)</b>	<b>Compresión (N)</b>	<b>Corte V (N)</b>	<b>Guillotina con filo (N)</b>
<b>T1</b>	23,09 ab	22,22 bc	2,91 a	1,85 a
<b>T2</b>	22,47 abc	21,74 c	2,76 a	1,97 a
<b>T3</b>	21,50 bc	21,85 c	3,47 a	2,37 a
<b>T4</b>	21,80 bc	22,29 bc	3,04 a	2,34 a
<b>T5</b>	22,81 abc	22,86 abc	3,51 a	5,89 a
<b>T6</b>	24,13 a	23,04 abc	2,79 a	2,58 a
<b>T7</b>	21,36 c	23,36 abc	3,01 a	2,57 a
<b>T8</b>	23,70 a	24,08 a	3,24 a	2,1 a

No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en términos de fuerza de corte en "V" y guillotina con filo. Sin embargo, se observó que el tratamiento T5 (con un 14% de humedad en la mezcla, una temperatura de cámara de extrusión de 170°C y una formulación de 70:15:15) requirió una fuerza de corte mayor en comparación con los otros tratamientos

Dorantes & Contreras (2019), manifiesta que el grado de adhesividad hace referencia al trabajo necesario para separar una muestra del plato de compresión o para despegar un alimento de una superficie, como por ejemplo del paladar. Por otra parte, la dureza se describe como la máxima fuerza lograda durante el primer ciclo de compresión, reflejando la fuerza necesaria para comprimir un alimento entre los molares o entre la lengua y el paladar, y se expresa en unidades de fuerza.

Los resultados del estudio indican que no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos en cuanto a la fuerza de corte en "V" y la guillotina con filo. Sin embargo, se observó que el tratamiento T5 (con un 14% de humedad en la mezcla, una temperatura de cámara de extrusión de 170°C y una formulación de 70:15:15) requirió una mayor fuerza de corte en "V" y guillotina en comparación con los demás tratamientos.

### **3.4. Resultados Sobre la Funcionalidad del Producto Extruido**

En la evaluación de la funcionalidad del producto extruido, se examinaron tres parámetros fundamentales: el índice de absorción de agua, el índice de solubilidad en agua y el índice de expansión. Estos parámetros ofrecen información crucial sobre la capacidad del producto para absorber y retener agua, su capacidad para disolverse en un medio acuoso y su capacidad de expandirse durante el proceso de extrusión. Los resultados de estos análisis, que incluyen el índice de absorción de agua, el índice de solubilidad en agua y el índice de expansión, se detallan en la

Tabla 27, lo que permite una mejor comprensión de cómo los factores de procesamiento y la composición de la mezcla afectan la funcionalidad y la calidad del producto final.

**Tabla 27.**

*Análisis de varianza de variable funcionales para el producto extruido*

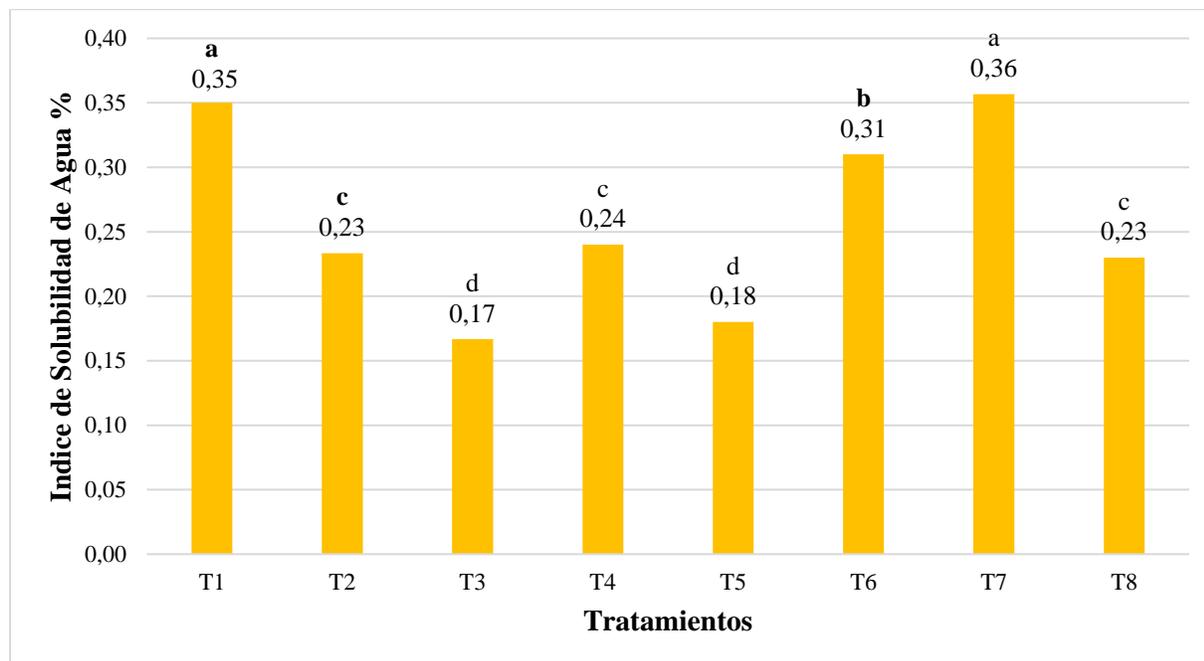
Fuentes de Variación	G.L.	F - VALOR					
		Índice de Solubilidad del H <sub>2</sub> O		Índice de Absorción del H <sub>2</sub> O		Índice de Expansión	
Total	23						
A (Humedad en la mezcla)	1	31,26	**	1502,78	**	0,03	ns
B (Temperatura de extrusión)	1	26,64	**	466,76	**	33,00	**
C (Tipo de mezcla)	1	310,94	**	507,33	**	128,03	**
AxB	1	6,66	ns	68,46	**	66,94	**
AxC	1	9,06	**	1661,18	**	5,12	ns
BxC	1	18,50	**	78,98	**	3,67	ns
AxBxC	1	830,34	**	1055,18	**	189,12	**
Error experimental	16						
Promedio		0,26		4,51		5,94	
CV (%)		3,67		0,59		1,97	

### 3.4.1. Índice de Solubilidad en Agua (ISA)

En el análisis del Índice de Solubilidad en Agua (ISA) de los snacks producidos mediante extrusión, se determinó que este parámetro refleja la capacidad del producto para interactuar y disolverse en agua, lo que indica el grado de asociación entre los polímeros de almidón amilosa/amilopectina (Torres et al., 2013). Los resultados del Índice de Solubilidad en Agua (ISA) variaron entre el 0,17% y el 0,36%, según se observa en la Figura 23.

**Figura 23.**

*Índice de solubilidad en agua en extruidos (%)*



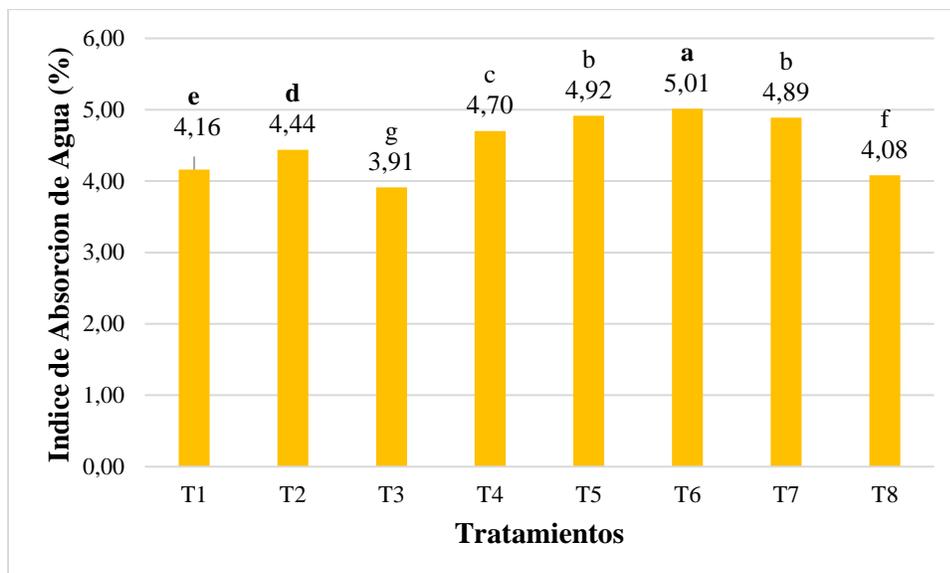
El análisis de varianza, detallado en el anexo 16, indicó que factores como la humedad de la mezcla (A), la temperatura de la cámara de extrusión (B), la formulación de la mezcla (C) y sus interacciones (AxC), (BxC) y (AxBxC) tuvieron una influencia altamente significativa ( $p \leq 0,01$ ) en el Índice de Solubilidad en Agua (ISA) del producto extruido. Sin embargo, la interacción (AxB) no demostró una influencia significativa ( $p \leq 0,01$ ) en este parámetro. El coeficiente de variación fue del 3,27%, con una media de 0,22%.

La aplicación de la prueba de comparación múltiple Tukey al 5% reveló la existencia de cuatro rangos con diferencias estadísticamente significativas. Los tratamientos T1 y T7 exhibieron los valores más elevados de Índice de Solubilidad en Agua (ISA), registrando un 0,36% y 0,35%, respectivamente, situándose en el rango (a). Esta observación se atribuye a la composición específica de la mezcla empleada en dichos tratamientos (15% de lenteja, 15% de yuca y 70% de maíz) (Figura 23).

Gutiérrez et al. (2017), manifiesta que, en productos extruidos con alto contenido de almidón, el ISA puede variar entre 16 a 46%, y en extruidos con bajo contenido de almidón y alto contenido de proteína, puede variar de 11.8 a 35%. Estos resultados destacan la importancia de la formulación en productos extruidos, para alcanzar un adecuado ISA. Por otro lado, Bravo & Ortega (2017) mencionan que el ISA debería disminuir al aumentar el contenido de lípidos debido al aumento de la cantidad del complejo amilosa-lípidos formado, lo que provoca una disminución en la solubilidad del producto. El Índice de Solubilidad en Agua es un parámetro funcional crucial influenciado por factores de procesamiento y formulación, lo que afecta la capacidad del producto para disolverse y reaccionar con agua y su calidad y aceptabilidad.

#### ***3.4.2. Índice de Absorción del Agua (IAA)***

El Índice de Absorción de Agua (IAA) es un factor crítico que señala la capacidad del producto extruido para absorber agua, representando la cantidad de agua absorbida por la muestra. Un alto IAA indica una capacidad significativa de absorción de agua, lo que sugiere una digestión más fácil del producto. Los cambios en la solubilidad bajo diversas condiciones de temperatura y fuerza de cizallamiento se evalúan a través del IAA (Salas Choque, 2017). En la Figura 24 se presentan los valores de IAA obtenidos para los bocadillos durante el proceso de extrusión, con una gama de valores entre 3,91% y 5,01%.

**Figura 24.***Índice de absorción en agua en extruidos*

El análisis de varianza detallado en el anexo 17 señaló que los factores primordiales, como la humedad de la mezcla (A), la temperatura de la cámara de extrusión (B), la composición de la mezcla (C) y sus respectivas interacciones, ejercieron un impacto altamente significativo ( $p \leq 0,01$ ) en el Índice de Absorción de Agua (IAA) del producto extruido. Se identificó un coeficiente de variación del 0,59%, con una media de 0,59%. Se procedió con las pruebas de Tukey ( $\alpha \leq 0,05$ ) para los tratamientos y la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS  $\alpha \leq 0,05$ ) para los factores, debido a las diferencias significativas detectadas.

La evaluación mediante la prueba de comparación múltiple Tukey al 5% reveló siete niveles de diferencia estadística. En particular, el tratamiento T6, caracterizado por una combinación de 80% de maíz, 10% de lenteja y 10% de yuca, con una humedad del 14% y sometido a extrusión a 170°C, exhibió el mayor Índice de Absorción de Agua (IAA), alcanzando un valor de 5,01%. La consistencia en la humedad de la mezcla y la temperatura aplicada en este

tratamiento incrementaron el IAA en comparación con los otros tratamientos, situándolo en el nivel más alto de la clasificación (rango a), según se detalla en el anexo 18.

Estos hallazgos están respaldados por estudios previos. Fuentes Oliva (2016) reveló que el Índice de Absorción de Agua (IAA) tiende a aumentar a medida que se incrementa la temperatura de procesamiento hasta alcanzar los 170°C; sin embargo, se observa una disminución en este índice cuando la temperatura supera los 170°C. Este fenómeno puede atribuirse al papel crítico del IAA en la evaluación de la severidad de las condiciones de extrusión termoplástica. Las temperaturas elevadas pueden ocasionar la ruptura de la estructura del gránulo de almidón, lo que reduce su capacidad para absorber agua.

Además, según lo señalado por Ruiz (2019), existe una estrecha relación entre el IAA y el nivel grado de gelatinización y dextrinización del almidón durante la etapa de extrusión. A medida que aumenta el grado de gelatinización, los gránulos de almidón se hidratan y expanden más, lo que resulta la desintegración de su estructura y un incremento en la capacidad de absorción de agua.

En otros estudios, Ortiz & Barona (2018) encontraron que la extrusión de mezclas de harinas, como yuca, arroz, frijol, batata, maíz y hoja de yuca, produce alimentos con altos valores de IAA, una consistencia adecuada y altas viscosidades debido a la acción del agua.

En resumen, el Índice de Absorción del Agua es un parámetro esencial que se ve afectado por diversos factores de procesamiento y formulación, y juega un papel crucial en la calidad y características del producto extruido.

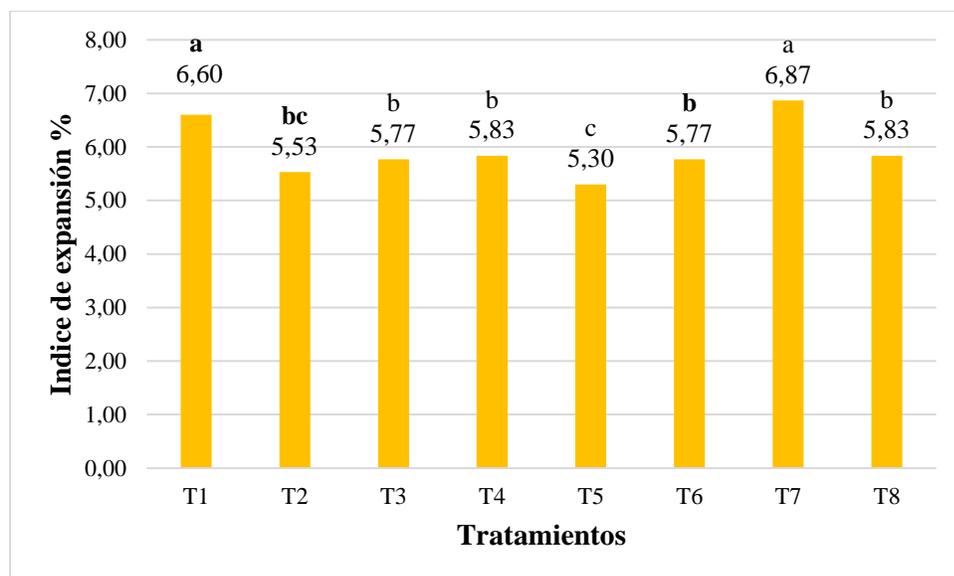
### ***3.4.3. Índice de Expansión***

El contenido de almidón y la composición del producto a extruir son aspectos de gran relevancia, dado que el porcentaje de almidón está estrechamente vinculado con el índice de

expansión (Lara Yelitzza, 2016). Los valores de índice de expansión de los snacks obtenidos mediante el proceso de extrusión se muestran en la Figura 25, presentando rangos que varían entre 5,30% y 6,87%.

**Figura 25.**

*Índice de expansión en extruidos (%)*



Después de examinar el comportamiento del índice de expansión, se llevó a cabo un análisis de varianza que demostró que los factores que influyeron de manera altamente significativa ( $p \leq 0,01$ ) fueron la temperatura de la cámara de extrusión (B), la formulación de la mezcla (C) y su interacción (AxBxC). Por otro lado, el factor humedad de la mezcla (A) y sus interacciones (AxC) y (BxC) no mostraron una influencia significativa ( $p \leq 0,01$ ). Dado que se identificaron diferencias significativas, se aplicaron la prueba Tukey ( $\alpha \leq 0,05$ ) a los tratamientos y la prueba de Diferencia Mínima Significativa-DMS ( $\alpha \leq 0,05$ ) a los factores.

En el anexo 19, la prueba de comparación múltiple Tukey al 5% reveló la existencia de tres grupos con diferencias estadísticamente significativas en los valores del índice de expansión. Los tratamientos T7 (Humedad: 14%; Temperatura: 200°C y formulación: maíz 70%, lenteja 15%

y yuca 15%) y T1 (Humedad: 9%; Temperatura: 170°C y formulación: maíz 70%, lenteja 15% y yuca 15%) registraron los valores más altos de índice de expansión, con un 6,68% y un 6,60%, respectivamente, en comparación con los demás tratamientos, ubicándose en el rango (a). Esto indica que las formulaciones con (70% maíz: 15% yuca: 15% lenteja), con distintas combinaciones de temperatura y humedad, obtuvieron el mejor rendimiento en términos de índice de expansión según el anexo 20.

Martínez & Pau (2016), demostró que los productos extruidos presentaron los mayores valores de grado de expansión y densidad con los tratamientos de sorgo decortinado extruido con un contenido de humedad del 15% y sorgo integral con un contenido de humedad del 18%. Estos mismos tratamientos también exhibieron los más altos grados de expansión en el caso de trigos cristalinos integrales y "grits". Los resultados respaldan la influencia significativa del nivel de humedad durante el proceso de extrusión y cómo esto afecta el grado de expansión de diversos ingredientes.

Por otro lado, Ortiz & Barona (2018), indican que el grado de expansión guarda relación con las dimensiones, cantidad y distribución de las células de aire dentro de la estructura. La limitada expansión volumétrica en productos extruidos de almidón se debe a la insuficiente evaporación de la humedad interna y al grado de gelatinización, que se determina por las condiciones de procesamiento y la composición de los ingredientes.

Estos hallazgos subrayan la importancia de la temperatura y la composición de la mezcla en el índice de expansión de los snacks extruidos, facilitando la identificación de condiciones de procesamiento óptimas para lograr productos con una expansión mejorada y una calidad superior en textura y sabor.

## CAPÍTULO IV.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

- Los resultados de la investigación subrayan que la humedad, la temperatura de extrusión y la composición de la mezcla son pilares clave para elevar la calidad del producto final. Estos factores influyen directamente en la capacidad del producto para absorber agua, disolverse y expandirse durante la extrusión, impactando significativamente en la textura, el sabor y la aceptabilidad general del snack. Por lo tanto, es imperativo controlar meticulosamente estos aspectos para asegurar la excelencia en la calidad de los productos.
- Se ha determinado que la selección precisa de la combinación de ingredientes es esencial para producir snacks de alta calidad mediante el proceso de extrusión. La proporción específica de almidón, proteínas y lípidos en la mezcla juega un rol determinante en la textura, sabor y calidad general del snack final. Mediante la regulación cuidadosa de estos factores de formulación, se facilita una sinergia óptima entre los componentes, culminando en la producción de snacks extruidos que no solo poseen características deseables, sino que también gozan de una aceptación superior por parte de los consumidores.
- El proceso de extrusión presenta oportunidades de optimización a través del ajuste detallado de la temperatura y humedad de la mezcla. Estableciendo condiciones ideales, se logra fabricar snacks con una capacidad de expansión aumentada y una absorción de agua mejorada, traduciéndose en productos más atractivos para el consumidor. Estos descubrimientos resaltan la vital importancia de la investigación y desarrollo dentro de la industria de extrusión de alimentos, enfatizando que la mejora continua de los procesos es fundamental para ofrecer productos de alta calidad que cuenten con propiedades sensoriales y funcionales optimizadas.

- Es crucial implementar un control de calidad exhaustivo en cada etapa del proceso de producción para asegurar la superioridad del producto final. Este enfoque garantiza que los snacks mantengan una calidad constante, cumpliendo con las expectativas de los consumidores en términos de sabor, textura y valor nutricional. A través de un monitoreo constante y la evaluación de aspectos críticos como la humedad, temperatura, formulación, y los índices de solubilidad y absorción de agua, es posible ajustar y perfeccionar el proceso de extrusión.

#### **4.2. Recomendaciones**

- Realizar investigaciones con el objetivo de explorar intervalos más amplios de humedad. Paralelamente, se sugiere la sustitución de las materias primas actuales por alternativas con un contenido proteico superior. Esta estrategia doble busca, por un lado, afinar la funcionalidad del producto extruido y, por otro lado, enriquecer su perfil nutricional. En particular, al incrementar el porcentaje de almidón en la mezcla, se anticipa una mejora notable en la digestibilidad del snack.
- Se sugiere explorar diversas combinaciones de ingredientes, poniendo especial atención en las proporciones de almidón, proteínas y lípidos. La innovación en las formulaciones puede conducir al desarrollo de snacks extruidos con perfiles nutricionales enriquecidos y texturas más agradables, lo cual podría ampliar considerablemente la base de consumidores.
- Es aconsejable realizar estudios de mercado para discernir las tendencias y preferencias de los consumidores respecto a los productos extruidos. Esta estrategia facilitará el desarrollo de productos que se alineen con las exigencias del mercado, incrementando así las probabilidades de éxito en su comercialización.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, M., & Castillo, G. (2015). *CONSUMO DE SNACKS, RIESGO DE ENFERMEDADES CRÓNICAS DEGENERATIVAS Y ESTADO NUTRICIONAL EN ESTUDIANTES*.
- Aguilar, P. V., & Villalobos, D. H. (2013). Harinas y almidones de yuca, ñame, camote y ñampí: propiedades funcionales y posibles aplicaciones en la industria alimentaria. *Tecnología En Marcha*, 26(1), 37–45. <https://doi.org/10.18845/tm.v26i1.1120>
- Aguirre, D., & Calderon, K. (2018). Elaboración de una mezcla alimenticia extruida a base de harina de quinua (*Chinopodium quinoa Willd*), arroz (*Oriza sativa*) y frijol gandul (*Canajuscajan*) saborizado con harina de lúcuma. *Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo*. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/2130>
- Aitor, A. (2019). *Estudio de las propiedades físicas y funcionales de un producto extruido a base de harina de maíz y chontaduro y evaluación de su aceptabilidad sensorial*.
- Analuisa, I. A., Jimber del Río, J. A., Fernández Gallardo, J. A., & Vergara-Romero, A. (2022). La cadena de valor del maíz amarillo duro ecuatoriano. Retos y oportunidades. *Lecturas de Economía*, 98. <https://doi.org/10.17533/udea.le.n98a347315>
- Arribas, C. (2020). *NUEVOS ALIMENTOS SIN GLUTEN ELABORADOS MEDIANTE EXTRUSIÓN DE ARROZ FORTIFICADO CON LEGUMINOSAS: Desarrollo y Caracterización Nutricional, Funcional y Sensorial*. [Universidad Autónoma de Madrid]. [file:///C:/Users/irald/Downloads/arribas\\_martinez\\_claudia\\_p.pdf](file:///C:/Users/irald/Downloads/arribas_martinez_claudia_p.pdf)
- Avalos, D., & Benites, J. (2022). OBTENCIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES A PARTIR DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LA HARINA DE LA CÁSCARA DE Manihot esculenta (YUCA) VARIEDAD BLANCA”. *Estrategia De Intervencion De Enfermeria En Estimulacion Temprana En Niños Menores De 3 Años Aplicado En La Familia*,

- Andahuaylas - Apurimac*, 37. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/5053>
- Barrera, V., & Tapia, C. (2003). *INIAP -Estación Experimental Santa Catalina*. <http://181.112.143.123/bitstream/41000/2827/1/iniapsc322est.pdf>
- Bautista, J. (2016). CERTIFICACIONES DE SNACKS DE SAL GOURMET INTRODUCCIÓN: *Jurnal Penelitian Pendidikan Guru Sekolah Dasar*, 6(August), 128.
- Beltrán, A. (2022). *Subproductos agroindustriales y la valorización de recursos autoctonos: procesamiento y técnicas de análisis*. May, 0.
- Beltrán, M., & Marcilla, A. (2012). Tema 4: Extrusión. *Tecnología de Polímeros*, 102–167. <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>
- Besarez, J. (2023). *Caracterización fisicoquímica y nutracéutica de alimentos botana de segunda generación elaborados con subproductos de arroz (Oryza sativa L.) y calabaza (Cucurbita moschata D.) cv Cehualca*.
- Bravo, E. N., & Ortega, J. F. (2017). “EFECTO DE LA GRANULOMETRÍA Y FORMULACIÓN EN LA CALIDAD DE UN SNACK EXTRUIDO A BASE DE ARROZ (*Oryza sativa L.*), QUINUA (*Chenopodium quinoa Willd.*) Y TORTA DESGRASADA DE CHÍA (*Salvia hispanica L.*).” <https://core.ac.uk/download/pdf/225485683.pdf>
- Capelo, D. V. B. (2019). *Correlación del perfil de textura entre el análisis instrumental y el análisis sensorial del queso fresco*. 61.
- Cardona, M. G., Posada, S. L., Carmona, J. C., Ayala, S. A., Taborda, E., & Restrepo, L. (2002). Evaluación de la respuesta productiva y económica de cerdos mestizos en las etapas de levante y ceba utilizando cuatro niveles de harina de yuca (*Mannihot utilissima*). *Rev. Col. Cienc. Pec.*, 15(2), 207–212.
- Carrasco, J. J., & Saucedo, J. M. (2019). Formulación y evaluación de un alimento instantáneo

- por extrusión a base de maíz mote (*Zea mays* L.) y trigo (*Triticum aestivum*). *Foreign Affairs*, 91(5), 1–129.  
[https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/4599/BC-TES-3416 CARRASCO CALLE - SAUCEDO GUEVARA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/4599/BC-TES-3416-CARRASCO CALLE - SAUCEDO GUEVARA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Carrera, Y., Franco, E., & Quintero, R. (2019). Desarrollo y caracterización de panquecas a base de harina de trigo (*Triticum*) y harina de yuca (*Manihot esculenta*). *I+D Tecnológico*, 15(1), 24–29. <https://doi.org/10.33412/idt.v15.1.2094>
- Carvajal, S. (2018). *Efecto de los parámetros de extrusión sobre la calidad nutricional y textura de la mezcla de maíz (Zea mays), Fréjol (Phaseolus vulgaris) y Camote (Ipomea batata) en el snack*. 165.
- Castell, I. (2016). Desarrollo de un snack en base a Legumbres Y Cereales Ecológicos Indicado Para Algunas Intolerancias. *Universidad Politécnica de València*, 1, 1–35.
- Cerón, C., Guerra, L., Legarda, J., Enríquez, M., & Portilla, Y. (2016). Efecto de la extrusión sobre las características físico-químicas de harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 92–99. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)92-99](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)92-99)
- Coello, V. J. A. (2021). *Evaluación nutricional y sensorial de una compota de zanahoria blanca (acarracacia xantorrhiza) y zapallo (cucurbita maxima) con harina de lenteja (lens culinaris) trabajo experimental*. 78. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/COELLO VELOZ JULISSA ANNABELL 1.pdf>
- Coral T., V., & Gallegos G., R. (2015). Determinación proximal de los principales componentes nutricionales de harina de maíz, harina de trigo integral, avena, yuca, zanahoria amarilla, zanahoria blanca y chocho. *InfoANALÍTICA*, 3(1), 9–26. <https://doi.org/10.26807/ia.v3i1.17>

- Dorantes, G., & Contreras, M. (2019). Evaluación de los parámetros de textura sensoriales e instrumentales durante el desarrollo de un prototipo de alimento para personas de la tercera edad. *Digital Ciencia@UAQRO*, 12(2), 76–86. <https://revistas.uaq.mx/index.php/ciencia/article/view/34>
- Espinoza, K. (2017). *Desarrollo de un Snack extruido a base de Maiz enriquecido con harina de Pota (Dioscorea alata) precocida y Determinacion de su Vida Util*. 143. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3992/espinoza-cordova-karina-mercedes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- FAO. (2019). Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional 2012 en América Latina y el Caribe. In *Panorama de la Seguridad Alimentaria y Nutricional 2012 en América Latina y el Caribe* (Vol. 1). <https://www.fao.org/3/ca6979es/ca6979es.pdf>
- Fellows, P. (2000). *Food Processing Technology. Principles and Practice*. (Segunda Ed). CRC Press.
- Fernández M., José L. ; Guivar D., C. L. (2016). “*Formulación de harina proteica y extruida a base de harina de: arveja (Pisum sativum), kiwicha (Amaranthus caudatus) y tarwi (Lupinus Mutabilis)*”. 3–127.
- Fuentes Oliva, H. A. (2016). Efecto de la temperatura y velocidad de rotación del tornillo en el proceso de extrusión de maíz, quinua y avena para la elaboración de harina pregelatinizada. *Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras*, 1–50. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5765/1/AGI-2016-T020.pdf>
- García, I. B. (2017). Harinas extruidas en la industria alimentaria. *Facultad de Farmacia*, 1–20.
- Gutiérrez, A., Guevara, E., Fajardo, J., Morales, N., Corona, R., & Guatemala, G. (2017). Caracterización Físicoquímica De Un Alimento Extruido Tipo Botana. *XXXVIII Encuentro*

*Nacional de La AMIDIQ, 40, 5.*

<https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/799/1/Caracterización.pdf>

Guy, R. (2001). *Extrusion cooking Technologies and applications*.

Hinostroza, F., Mendoza, M., Navarrete, M., & Muñoz, X. (2014). *Boletín Divulgativo N° 436*

*Cultivo De Yuca En El Ecuador*. 1–28. <http://www.agricultura.gob.ec/sinagap/>

INEN-2051. (2013). *Cereales y leguminosas. Maíz molido, sémola, harina, gritz. Requisitos.*

*Primera revisión. First Edit, 7–12.*

INEN 2051:2013. (2013). *Cereales y leguminosas. Maíz molido, sémola, harina, gritz.*

*Requisitos. Primera revisión. First Edit, 7–12.*

Lara Yelitzza. (2016). *Elaboración de un alimento extruido a base de semán para alimentacion*

*de chama en fase de engorde*. 1–23.

Lázaro, E., & Sotelo, M. (2017). *UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA SNACK DE GRITS*

*DE MAÍZ AMARILLO ( Zea mays ), DE GARBANZO ( Cicer arietinum ) OBTENIDO*

*MEDIANTE Jeniffer*.

Martínez, B. F., & Pau, C. L. (2016). Extrusión de sorgo integral y decorticado. *Agronomía*

*Mesoamericana*, 3, 40. <https://doi.org/10.15517/am.v3i0.25202>

Maskan, M., & Altan, A. (2011). *Advances in Food Extrusion Technology*.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Mejía, M. F. (2019). Desarrollo de una metodología para el entrenamiento de un grupo de jueces

y propuesta para el uso de las herramientas del análisis sensorial en la escuela de Ingeniería

de Alimentos de la Universidad del Azuay. In *Universidad de Azuay*.

<http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9475>

Mendez, F., & Muñoz, G. (2014). *Trabajo de Seminario de Graduación previo a la Obtención*

*BILINGÜE.*

- Mendoza, N., Ocaña, N., Guano, D., Núñez, J., & Valdivieso, K. (2018). Documento Metodológico de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición ( ENSANUT ). *Instituto Nacional de Estadística y Censos*, 1–70.  
[https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_Sociales/ENSANUT/ENSANUT\\_2018/Metodologia\\_ENSANUT\\_2018.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/ENSANUT/ENSANUT_2018/Metodologia_ENSANUT_2018.pdf)
- Montalvo, M. D., & Velazco, E. A. (2017). Optimizacion De Procesos De Extrusión Para Alimento Acuicola De La Planta Gisis 4,5. *Universidad de Guayaquil*, 12–26.  
[http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/18903/1/Tesis\\_pregrado\\_extrusion.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/18903/1/Tesis_pregrado_extrusion.pdf)
- Montalvo, M., & Velazco, E. (2017). “*OPTIMIZACION DE PROCESOS DE EXTRUSIÓN PARA ALIMENTO ACUICOLA DE LA PLANTA GISIS 4,5.*”
- Morales, J. C. (2019). Evaluación del efecto de la mezcla entre Grifitz de maíz Zea mays Grifits de zanahoria blanca Arracacia xanthorrhiza y el diámetro de salida de la boquilla en el producto extruido. *Universidad Técnica Del Norte*.
- Morales, V. J. C. (2019). *EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA MEZCLA ENTREGITZ DE MAIZ Zea mays GRITZ DE ZANAHORIA BLANCA Arracacia xanthorrhiza Y EL DIÁMETRO DE SALIDA DE LABOQUILLA EN EL PRODUCTO EXTRUIDO.* 1–146.
- Moreiras, L. E. P. P. R. A. T. V. G. E. R. M. J. M. A. T. G. V. (2017). Informe sobre Legumbres , Nutrición y Salud. *Fundación Española de La Nutrición (FEN)*.  
<http://www.fen.org.es/storage/app/media/imgPublicaciones/informe-legumbres-nutricion-y-saludvw.pdf>
- Muñoz, X., Hinostroza, F., & Mendoza, M. (2017). La yuca en el Ecuador: su origen y diversidad

- genética. In *Instituto Nacional de Actividades Agropecuarias* (pp. 1–18). chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.uagraria.edu.ec/publicaciones/revistas\_cientificas/16/058-2017.pdf
- Murillo, R. (2020). *APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE EXTRUSIÓN EN PRODUCTOS CON ALTO CONTENIDO EN PROTEÍNA*. 43.
- Obradović, V., Babić, J., Šubarić, D., Ačkar, Đ., & Jozinović, A. (2014). Improvement of nutritional and functional properties of extruded food products. *Journal of Food and Nutrition Research*, 53(3), 189–206.
- Ortiz, M., & Barona, D. (2018). Procesamiento por extrusión de mezclas de maíz y arroz (harinas y salvados): Efecto del nivel de contenido de salvados sobre las características físicas de los extruidos. *Universidad Del Valle*, 52. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/17740/CB0591377.pdf?sequence=1>
- Ospina, J. (2015). *Manual técnico del cultivo del maíz bajo buenas practicas agrícolas*. <http://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/MANUAL DEL CULTIVO DE MAIZ.pdf>
- Peralta, E., Murillo, A., Mazon, N., Monar, C., & Rivera, M. (2015). Manual agrícola de fréjol y otras leguminosas. *Iniap*, 135(135), 78.
- Pérez, E., & Herrera, R. (2023). *Desarrollo de un producto de panificación con harinas de leguminosas y cereales complementado con trüb*. 8(2023), 686–696.
- Pérez, K., Elías, C., & Delgado, V. (2017). High-protein snack: an extruded from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet), and sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Scientia Agropecuaria*, 8(4), 377–388.

<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.04.09>

- Puma, G., & Núñez, C. (2018). Determinación del perfil de textura sensorial de dos muestras experimentales de hot-dog de pollo (*Gallus gallus*) obtenidas por Ingeniería Kansei Tipo II. *Anales Científicos*, 79(1), 210. <https://doi.org/10.21704/ac.v79i1.1165>
- Ramo, J. M., Suuronen, J.-P., Deegan, K. C., Serimaa, R., Tuorila, H., & Jouppila, K. (2015). Physical and sensory characteristics of corn-based extruded snacks containing amaranth, quinoa and kañiwa flour. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 1047–1056. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.011>
- Ramos, F. (2020). *Desarrollo de un snack extrusionado de harina de lenteja y maíz dirigido a la población con intolerancia al gluten.*
- Remache, A. S. (2016). *Desarrollo de un snack por extrusion de la mezcla de maíz (Zea mayz) quinua (Chenopodium quinoa) y chocho (Lupinus mutabilis Sweet) saborizado.*
- Restrepo, A. (2020). *FACTORES DE MOTIVACIÓN QUE INFLUYEN EN EL CONSUMIDOR AL ELEGIR UN EMPAQUE DE SNACKS CON ECOSELLOS ESTUDIO DE CASO: PROGRAMA DE MERCADEO UNIVERSIDAD LIBRE CALI. 21(1), 1–9.*
- Rojas, B. (2011). “Control De Calidad Y Evaluación Nutricional De Las Chichas (Jora Y Morada), Elaboradas En La Fundación Andinamarca, Calpi-Riobamba.” *Biomédica*, 31(sup3.2), 176.
- Ruiz, D. A. R. (2019). *Obtención de Harina Funcional de Semillas de Moringa por Extrusión.*
- Saac, K. (2023). *Manejo agronómico del cultivo de yuca (Manihot esculenta), en el Ecuador.*
- Salas Choque, W. A. (2017). *Aplicación de sistema HACCP en ek proceso de elaboración de alimentos de reconstitución instantánea a base de cereales extruidos.*
- Santacruz, S., Cadena, C., & Yáñez, S. (2022). *ELABORACIÓN DE UN SNACK SALADO*

- EXTRUIDO EXPANDIDO A BASE DE CHOCHO (*Lupinus mutabilis*) Y MAÍZ. *Revista Espamciencia*, 13(1), 32–38. [https://doi.org/10.51260/revista\\_espamciencia.v13i1.223](https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v13i1.223)
- Sisú, M. (2021). *Influencia de las publicidades televisivas de alimentos y bebidas no saludables en los hábitos alimentarios de niños y niñas de 6 a 11 años*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/120196>
- Solarte Montúfar, J. G., Díaz Murangal, A. E., OsorioMora, O., & Mejía España, D. F. (2019). Rheological and functional properties of the starch from three varieties of Creole potato. *Informacion Tecnologica*, 30(6), 35–44. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600035>
- Sundarrajan, L. (2014). *Department of Food and Environmental Sciences EKT Series 1632 Effect of extrusion cooking on the nutritional properties of amaranth , quinoa , kañiwa and lupine* Lakshminarasimhan Sundarrajan Helsinki 2014. 98.
- Taimal, R. M. (2019). *Efecto de los parametros de extrusion sobre la calidad nutricional y textura en la mezcla de maiz Zea mays, chocho Lupinus mutabilis Sweet y papa Solanum tuberosum en el snack*. 190. [http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9787/3/03\\_EIA\\_493\\_TRABAJO\\_GRADO.pdf](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9787/3/03_EIA_493_TRABAJO_GRADO.pdf)
- Torres, A., Durán, M., & Montero, P. (2013). Evaluación de las propiedades funcionales del almidón obtenido a partir de malanga (*Colocasia esculenta*). *Revista Ciencias e Ingeniería Al Día*, 8(2), 2357–5409. [www.revistaciad.org](http://www.revistaciad.org)
- Valencia, L., & Montoya, A. (2021). *Harinas No Convencionales Con Alto Contenido Proteico Elaboradas a Partir De Legumbres Y Sus Aplicaciones En La Luisa Nathalia Valencia Zapata Director : Programa De Ingeniería De Alimentos Cali – Colombia*. 1–53.
- Valverde, M. (2020). *EXTRUSIÓN EN PRODUCTOS CON ALTO* Autora : Raquel Murillo

*González Tutoras : Gemma Moraga Ballesteros.*

- Vázquez, J. ., & Rodríguez, R. (2023). *Características fisicoquímicas y sensoriales de productos extruidos y expandidos por microondas elaborados de maíz azul , espinacas y frijol negro.* 8(2023), 24–30.
- Vega, C., Pérez, F., & Mariotti, M. (2023). *Cantidad, estabilidad y digestibilidad de hidratos de carbono tras el proceso de extrusión: Impacto sobre el índice glicémico de harinas de consumo habitual en Chile.* 50(2), 233–241.

## ANEXOS

### Anexo 1.

*Métodos de análisis fisicoquímica de las materias primas y producto extruido.*

### Humedad

Método 930.15, A.O.A.C

### Fundamento

Se basa en la determinación de la cantidad de agua existente en una muestra. Sirve para expresar los resultados en base seca. Por diferencia de peso se obtiene el contenido de materia seca en la muestra.

### Procedimiento

- Lavar los crisoles con agua destilada, secar en una estufa a 105°C por 8 horas, secar en un desecador y una vez frío pesar.
- Se pesa de 1 a 2 gramos de muestra molida en los crisoles, se lleva a la estufa a 105°C por 12 horas (preferible una noche), se saca los crisoles con la muestra en un desecador hasta que estén fríos y se pesan.

### Cálculo

$$\text{Humedad \%} = \frac{\text{Pcmh} - \text{Pcms}}{\text{Pcmh} - \text{Pc}} \times 100$$

Donde:

Pc = Peso del recipiente

Pcmh = Peso del recipiente más muestra húmeda

Pcms = Peso del recipiente más muestra seca

## Cenizas

Método AOAC 923.03, A.O.A.C.

### Fundamento

Se fundamenta en la eliminación total del material orgánico presente en la muestra por calcinación en una mufla a 600°C previo a una pre-calcinación. El material inorgánico que no se destruye se denomina ceniza o residuo remanente.

### Procedimiento

- Pesar 2 gramos de muestra en un crisol. Colocar en una mufla a 600° C y mantener a esta temperatura por 2 horas, hasta que la ceniza adquiera un color blanco o grisáceo.
- Transferir la cápsula a un desecador, enfriar a temperatura ambiente y pesar.

### Cálculo

$$\% \text{Cenizas totales} = \frac{P_{CZ} - P_C}{P_m} \times 100'$$

Donde:

$P_{CZ}$  = Peso del crisol más ceniza

$P_C$  = Peso del crisol

$P_m$  = Peso de la muestra

## Proteína

Método 955.39. A.O.A.C.

### Fundamento

El nitrógeno de las proteínas y otros compuestos se transforman en sulfato de amonio al ser digeridas en ácido sulfúrico en ebullición, el residuo se enfría, se diluye en agua y se agrega

hidróxido de sodio, se procede a destilar. El amoníaco presente se desprende y se recibe en una solución de ácido bórico, que luego se titula con ácido clorhídrico estandarizado.

## Procedimiento

### Digestión

- Pesar exactamente 0,04 g de la muestra, colocar dentro del balón de digestión, añadir 0,5 g de catalizador y 2 ml de ácido sulfúrico al 92 %.
- Colocar los balones en el digestor micro Kjeldahl en los calentadores a 500 ° C hasta que la solución adquiriera una coloración verde cristalina. Retirar los balones del digestor y enfriar.

### Destilación

- Colocar la muestra en el destilador, añadir 10 ml de hidróxido de sodio al 50 %, destilar recogiendo el destilado en 6 ml de ácido bórico al 4 % hasta obtener 60 ml de volumen.

### Titulación

- Al destilado se agrega 4 gotas del indicador mixto y se titula con ácido clorhídrico 0,02 N hasta que la solución cambie de color. Se realiza también una titulación con un blanco.

### Cálculos

$$N\% = \frac{mlH^2SO^4 * N H^2SO^4 * meqN}{g} \times 100$$

Donde:

N%: porcentaje de Nitrógeno

ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: mililitros de ácido sulfúrico

N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: normalidad de ácido sulfúrico

g: gramos de muestra

$$\text{Proteína \%} = \%N \times 6,25$$

N% = Contenido de nitrógeno

### **Carbohidratos**

El contenido de carbohidratos se determinará con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ C. T} = 100 - (\% \text{ Humedad} + \% \text{ Proteína} + \% \text{ Extracto Etéreo} + \% \text{ Cenizas})$$

### **Fibra bruta**

Método 978.10, A.O.A.C

### **Fundamento**

Permite determinar el contenido de fibra en la muestra, luego esta debe ser digerida con dos tipos de soluciones, una ácida y otra básica como lo son el ácido sulfúrico e hidróxido de sodio. Después de la calcinación, habrá una diferencia de pesos la cual nos permitió indicar la cantidad de fibra presente.

### **Procedimiento**

- Para iniciar se procede a un proceso previo de secado a la muestra en una estufa a 70°C.
- Se pesa 2g de muestra y en un matraz se añade 200ml de ácido sulfúrico a 0.25 y gotas antiespumantes.
- Se somete a ebullición durante 30 min en el condensador, rotando constantemente. – Se filtra el contenido resultante a través de un embudo Büchner y se lava con 75 ml de agua hirviendo repitiendo el proceso por tres veces.
- Se retorna el residuo al desecador y se calienta por tres min, rotando el matraz periódicamente. Se repite el proceso de lavado, con 25 ml de ácido sulfúrico con tres repeticiones y 25 ml de etanol al 95%.

- Se transfiere el residuo al crisol y se seca en la estufa a 130°C por dos horas. Se enfría en un desecador para registrar su peso.

### **Cálculo**

$$\text{Fibra\%} = \frac{A-B}{C} \times 100$$

Donde:

A = Peso del crisol con el residuo seco (g)

B = Peso del crisol con la ceniza (g)

C = Peso de la muestra (g)

### **Almidón**

Método IRAM-15859 (2014) por la técnica polarimétrica de Ewers.

### **Fundamento**

El almidón es tratado con una solución diluida de ácido clorhídrico a baño María, luego se determina por el ángulo de rotación de la luz de una solución clara en el polarímetro.

### **Procedimiento**

- Secar la muestra a 65°C durante un periodo de tiempo de 7 horas en la estufa, molerla y pesar 2.5 gr en un balón aforado de 50 ml.
- Agregar 25 ml de ácido clorhídrico 0.31 N y agitar por 15 min.
- Llevar a baño de agua hirviendo durante 15 min, con agitación continua y enfriar.
- Adicional 0.5 ml de ferrocianuro de potasio y 0.5 ml de sulfato de zinc, agitando el balón, hasta obtener una solución transparente y cristalina.
- Aforar el balón con agua destilada, centrifugar y filtrar.
- Llenar el tubo de 200 ml con el filtrado y leer en el polarímetro.

### **Cálculo**

$$\% \text{ Almidón} = (a - b) f$$

Donde:

a = ángulo de rotación de la muestra, en grados

b = ángulo de rotación del blanco, en grados

f = factor del almidón

### **Amilosa**

#### **Fundamento**

Método MO-LSAIA-0A (2000). Por la técnica de Marrison y Laignelet.

En este método los gránulos de almidón son dispersados con etanol y luego gelatinizados con hidróxido de sodio. Después se toma una alícuota acidificada y se le añade una solución de yodo para formar un complejo azul. Este complejo es cuantificado espectrofotométricamente para después ser comparado contra una curva estándar.

#### **Procedimiento**

- Pesar 100 mg de muestra en balones de 100 ml
- Agregar 1 ml de etanol al 95 % agitar y añadir 9 ml de NaOH 1 N, evitando que la muestra se pegue a las paredes del balón. Permitir que la gelatinización suceda a temperatura ambiente, durante 24 horas, sin agitación.
- Aforar a 100 ml con agua destilada.
- Tomar 2.5 ml en balones volumétricos de 50 ml con 30 ml de agua.
- Colocar 0.5 ml de ácido acético 1N y 1 ml de solución de yodo al 2 % (8) 51
- Agitar, aforar y dejar en reposo a temperatura ambiente, en la oscuridad por 30 min.
- Pasar la muestra a las celdas del colorímetro y leer a 620 nm

## **Amilopectina**

El contenido de amilopectina se obtiene aplicando la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Amilopectina} = \% \text{ Almidón} - \% \text{ Amilosa}$$

## **Anexo 2.**

*Métodos de análisis de textura instrumental del producto extruido.*

### **Prueba de punsión**

Se utilizó una sonda cilíndrica de acero, con un diámetro de 5mm con una velocidad de ensayo de 5mm/s, los resultados obtenidos están en Newtons (N)

### **Sonda de compresión**

Se utilizó una sonda cilíndrica con un diámetro de 25mm con una velocidad de ensayo de 25mm/s, los resultados obtenidos están en Newtons (N).

### **Prueba de guillotina sin filo**

Se utilizó una sonda HDP/BSG (juego de cuchilla de guillotinas sin filo), con una velocidad de ensayo de 5mm/s, los resultados obtenidos están en Newtons (N).

### **Prueba de guillotina con filo**

Se utilizó una sonda HDP/BSG (juego de cuchilla de guillotina con filo), con una velocidad de ensayo de 5mm/s, los resultados obtenidos están en Newtons (N).

## **Anexo 3.**

*Métodos de análisis funcional del producto extruido.*

### **Índice de expansión**

Controla la relación existente entre la densidad global y la textura del producto extruido. Después de haber realizado el proceso de extrusión se midió el diámetro del material extruido

utilizando calibradores digitales en 50 muestras. La relación de expansión se calculó dividiendo el área de la sección transversal del extruido con el área de la matriz.

Se determinará mediante la fórmula:

$$\text{Índice de Expansión} = \frac{\text{Diámetro del promedio de la muestra (cm)}}{\text{Diámetro de la boquilla (cm)}}$$

Expansión:

Baja: Índice de expansión menor a 1,5

Mediana: Índice de expansión entre 1,6 a 2

Alta: Índice de expansión: mayor a 2

### **Índice de solubilidad de agua (ISA) e Índice de absorción de agua (IAA)**

#### **Fundamento**

La determinación del ISA y IAA se realizó mediante el método descrito por Anderson et al. (1969). Estos índices indican el nivel de daño del almidón durante la extrusión.

Las propiedades funcionales del almidón son la capacidad de absorción de agua del gránulo de almidón, y la exudación de fracciones de almidón, a medida que se incrementa la temperatura del medio circundante.

#### **Procedimiento**

- Tarar las cajas petri a 90°C por 4 horas o a 75°C por una noche.
- Pesar 2.5 g de muestra en un tubo de centrifuga que contiene un agitador magnético.
- Mientras se pesa las muestras, calentar 30 ml de agua destilada, a 30°C y también tener el equipo de baño maría a temperatura controlada de 30°C.
- Agregar 30 ml de agua a cada tubo y agitar bien en el equipo de agitación.
- Incubar en el baño con agitación durante 30 minutos. Secar bien los tubos.
- Centrifugar a 5000 rpm, durante 20 minutos.

- Después de centrifugar se deben tener separados el gel y el sobrenadante.
- Decantar el sobrenadante en un tubo de centrifuga graduado y medir el volumen. No descartar el gel del tubo.
- Filtrar el sobrenadante y descartar lo que queda en el papel filtro.
- Tomar 10 ml del filtrado y secar por 4 horas a 90°C en las cajas petri.
- Pesar el gel que quedó en el tubo.

### Cálculos

$$IAA = \frac{[OBJ]}{[OBJ]} \times 100$$

$$IAA = \frac{[OBJ]}{[OBJ]} \times 100$$

Análisis de varianza (ANOVA) de humedad, ceniza, proteína, extracto etéreo, fibra y carbohidrato del producto extruido.

### Anexo 4.

*Análisis de varianza para la variable humedad del producto extruido*

<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>
Total	23			
Humedad de la mezcla (A)	1	3,92	3,92	895,01**
Temperatura de la cámara de extrusión (B)	1	10,69	10,62	290,69 **
Formulación de la mezcla (C)	1	0,91	0,91	290,69 **
AB	1	0,42	0,42	24,81 **
AC	1	0,13	0,13	3,43 ns
BC	1	0,14	0,14	3,79 ns

<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>
ABC	1	0,30	0,30	8,07 ns
Error Experimental	16	0,59	0,03	
Promedio	6,18			
C.V (%)	3,10			

### **Anexo 5**

*Desviación estándar para la variable humedad del producto extruido.*

<b>Tratamientos</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>
Media	5,64	5,46	4,64	4,32	8,61	7,70	6,64	6,48
Desviación Estándar	0,04	0,37	0,19	0,23	0,30	0,02	0,09	0,15

### **Anexo 6.**

*Valores promedios de humedad en el producto extruido por efecto de la interacción de la Humedad de la mezcla (A) x Temperatura de la cámara de extrusión (B).*

<b>Interacción</b>	<b>Humedad (%)</b>
Humedad de la mezcla (9%) x Temperatura de la cámara de extrusión (200°C)	4,48 a
Humedad de la mezcla (9%) x Temperatura de la cámara de extrusión (170°C)	5,55 b
Humedad de la mezcla (14%) x Temperatura de la cámara de extrusión (200°C)	6,56 c
Humedad de la mezcla (14%) x Temperatura de la cámara de extrusión (170°C)	8,15 d

**Anexo 7.**

*Análisis de varianza para la variable ceniza del producto extruido*

<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>
Total	23			
Humedad de la mezcla (A)	1	0,01	0,01	9,46 **
Temperatura de la cámara de extrusión (B)	1	0,04	0,04	51,53 **
Formulación de la mezcla (C)	1	0,09	0,09	120,72 **
AB	1	0,01	0,01	16,83 **
AC	1	0,03	0,03	37,86 **
BC	1	0,06	0,06	72,20 **
ABC	1	0,00	0,00	4,83 ns
Error Experimental	16	0,01	0,001	
Promedio	1,14			
C.V (%)	2,44			

**Anexo 8.**

*Valores promedios de la ceniza en el producto extruido por efecto de la formulación de la mezcla.*

<b>Factor C: Formulación de la mezcla</b>	<b>Ceniza (%)</b>
M1: 70% maíz + 15% yuca + 15% lenteja	1,21 a
M2: 80% maíz + 10% yuca + 10% lenteja	1,08 b

**Anexo 9.**

*Análisis de varianza para la variable proteína del producto extruido*

<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>
Total	23			
Humedad de la mezcla (A)	1	1,59	1,59	15,73 **
Temperatura de la cámara de extrusión (B)	1	17,70	17,70	175,53 **
Formulación de la mezcla (C)	1	64,06	64,06	635,31 **
AB	1	0,06	0,06	0,61 ns
AC	1	1,85	1,85	18,38 **
BC	1	0,97	0,97	9,64 **
ABC	1	0,04	0,04	0,39 ns
Error Experimental	16	1,16	0,101	
Promedio	15,49			
C.V (%)	2,05			

**Anexo 10**

*Valores promedios de proteína en el producto extruido por efecto de las interacciones B C.*

<b>Interacción</b>	<b>Proteína (%)</b>
Temperatura de la cámara de extrusión (200°C) x Formulación de la mezcla 1 (70% maíz + 15% yuca + 15% lenteja)	18,18 a
Temperatura de la cámara de extrusión (170°C) x Formulación de la mezcla 1 (70% maíz + 15% yuca + 15% lenteja)	16,06 b
Temperatura de la cámara de extrusión (200°C) x Formulación de la mezcla 2 (80% maíz + 10% yuca + 10% lenteja)	14,51 c

<b>Interacción</b>	<b>Proteína (%)</b>
Temperatura de la cámara de extrusión (170°C) x Formulación de la mezcla 2 (80% maíz + 10% yuca + 10% lenteja)	13,2 d

### **Anexo 11.**

*Análisis de varianza para la variable extracto etéreo del producto extruido*

<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>
Total	23			
Humedad de la mezcla (A)	1	0,06	0,06	354,46 **
Temperatura de la cámara de extrusión (B)	1	0,00	0,00	3,54 ns
Formulación de la mezcla (C)	1	0,02	0,02	107,22 **
AB	1	0,00	0,00	14,18 **
AC	1	0,00	0,00	0,89 ns
BC	1	0,00	0,00	7,98 ns
ABC	1	0,01	0,01	52,09 **
Error Experimental	16	0,00	0,000	
Promedio	0,47			
C.V (%)	2,76			

**Anexo 12.**

*Valores promedios de extracto etéreo en el producto extruido por efecto de las interacciones.*

<b>Tratamientos</b>	<b>Humedad de la mezcla (%)</b>	<b>Temperatura de la cámara de extrusión (°C)</b>	<b>Formulación de la mezcla (%)</b>	<b>Extracto Etéreo (%)</b>
T7	14	200	70% maíz+ 15% yuca + 15% lenteja	0,38 a
T5	14	170	70% maíz+15% yuca+15% lenteja	0,4 a
T6	14	170	80% maíz+10% yuca+ 10% lenteja	0,41 a
T1	9	170	70% maíz+15% yuca+15% lenteja	0,49 bd
T8	14	200	80% maíz+10% yuca+10% lenteja	0,49 bde
T3	9	200	70% maíz+15% yuca + 15% lenteja	0,5 be
T4	9	200	80% maíz + 10% yuca + 10% lenteja	0,53 bcf
T2	9	170	80% maíz + 10% yuca + 10% lenteja	0,56 cf

**Anexo 13.**

*Análisis de varianza para la variable fibra del producto extruido*

<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>
Total	23			
Humedad de la mezcla (A)	1	0,20	0,20	86,48 **
Temperatura de la cámara de extrusión (B)	1	0,18	0,18	77,18 **

Formulación de la mezcla (C)	1	0,30	0,30	132,89 **
AB	1	0,20	0,06	89,70 **
AC	1	0,06	0,06	26,01 **
BC	1	0,02	0,02	9,79 **
ABC	1	0,01	0,01	2,79 ns
Error Experimental	16	0,04	0,002	
Promedio	1,57			
C.V (%)	3,04			

#### Anexo 14.

*Valores promedios de fibra en el producto extruido por efecto de la interacción de la Humedad de la mezcla (A) x Temperatura de la cámara de extrusión (B).*

<b>Interacción</b>	<b>Fibra (%)</b>
Humedad de la mezcla (9%) x Temperatura de la cámara de extrusión (200°C)	1,84 a
Humedad de la mezcla (14%) x Temperatura de la cámara de extrusión (170°C)	1,49 b
Humedad de la mezcla (9%) x Temperatura de la cámara de extrusión (170°C)	1,48 bc
Humedad de la mezcla (14%) x Temperatura de la cámara de extrusión (200°C)	1,47 bc

**Anexo 15.***Análisis de varianza para la variable carbohidratos del producto extruido*

<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>
Total	23			
Humedad de la mezcla (A)	1	7,40	7,40	59,37 **
Temperatura de la cámara de extrusión (B)	1	4,82	4,28	38,61 **
Formulación de la mezcla (C)	1	103,29	103,29	828,35 **
AB	1	2,77	2,77	22,19 **
AC	1	7,27	7,27	58,31 **
BC	1	1,88	1,88	15,04 **
ABC	1	0,44	0,44	3,53 ns
Error Experimental	16	2,00	0,125	
Promedio	76,92			
C.V (%)	0,46			

**Anexo 16.***Análisis de varianza para la variable índice de solubilidad en agua del producto extruido*

<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>
Total	23			
Humedad de la mezcla (A)	1	0,00	0,00	31,26 **
Temperatura de la cámara de extrusión (B)	1	0,00	0,00	26,64 **
Formulación de la mezcla (C)	1	0,00	0,00	6,66 ns
AB	1	0,03	0,03	310,94 **
AC	1	0,00	0,00	9,06 **

<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>
BC	1	0,00	0,00	18,50 **
ABC	1	0,07	0,07	830,34 **
Error Experimental	16	0,00	0,000	
Promedio	0,26			
C.V (%)	3,76			

### Anexo 17.

*Valores promedios de índice de solubilidad en agua en el producto extruido por efecto de las interacciones.*

<b>Tratamientos</b>	<b>Humedad de la mezcla (%)</b>	<b>Temperatura de la cámara de extrusión (°C)</b>	<b>Formulación de la mezcla (%)</b>	<b>Índice de solubilidad en agua (%)</b>
T7	14	200	70% maíz+ 15% yuca + 15% lenteja	0,36 a
T1	9	170	70% maíz+15% yuca+15% lenteja	0,35 a
T6	14	170	80% maíz+10% yuca+ 10% lenteja	0,31 b
T4	9	200	80% maíz+10% yuca+10% lenteja	0,24 c
T2	9	170	80% maíz+10% yuca+10% lenteja	0,23 c
T8	14	200	80% maíz+10% yuca + 10% lenteja	0,23 c
T5	14	170	70% maíz + 15% yuca + 15% lenteja	0,18 d

Tratamientos	Humedad de la mezcla (%)	Temperatura de la cámara de extrusión (°C)	Formulación de la mezcla (%)	Índice de solubilidad en agua (%)
T3	9	200	70% maíz + 15% yuca + 15% lenteja	0,17 d

### Anexo 18.

*Análisis de varianza para la variable índice de absorción de agua del producto extruido*

Fuente de variación	GL	SC	CM	FC
Total	23			
Humedad de la mezcla (A)	1	1,07	1,07	1502,78 **
Temperatura de la cámara de extrusión (B)	1	0,33	0,33	466,76 **
Formulación de la mezcla (C)	1	0,05	0,05	68,46 **
AB	1	0,36	0,36	507,33 **
AC	1	1,18	1,18	1661,18 **
BC	1	0,06	0,06	78,98 **
ABC	1	0,75	0,75	1055,18 **
Error Experimental	16	0,01	0,001	
Promedio	4,51			
C.V (%)	0,59			

**Anexo 19.**

*Análisis de varianza para la variable índice de expansión del producto extruido*

<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>
Total	23			
Humedad de la mezcla (A)	1	0,00	0,00	0,03 ns
Temperatura de la cámara de extrusión (B)	1	0,45	0,45	33,00 **
Formulación de la mezcla (C)	1	0,92	0,92	69,94 **
AB	1	1,76	1,76	128,03 **
AC	1	0,07	0,07	5,12 ns
BC	1	0,05	0,05	3,67 ns
ABC	1	2,6	2,6	189,12 **
Error Experimental	16	0,22	0,014	
Promedio	5,83			
C.V (%)	1,97			

**Anexo 20.**

*Análisis de varianza para la variable índice de solubilidad en agua del producto extruido*

<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>
Total	23			
Humedad de la mezcla (A)	1	0,00	0,00	31,26 **
Temperatura de la cámara de extrusión (B)	1	0,00	0,00	26,64 **
Formulación de la mezcla (C)	1	0,00	0,00	6,66 ns
AB	1	0,03	0,03	310,94 **
AC	1	0,00	0,00	9,06 **

Fuente de variación	GL	SC	CM	FC
BC	1	0,00	0,00	18,50 **
ABC	1	0,07	0,07	830,34 **
Error Experimental	16	0,00	0,000	
Promedio	0,26			
C.V (%)	3,76			

## Anexo 21

*Resultados de los Análisis Proximales de las mezclas.*

NOMBRE PETICIONARIO: Srta. Iralda IpiALES
DIRECCION: El Sagrario-Ibarra
FECHA DE EMISION: 20-11-2018
ANALISIS SOLICITADO: Análisis proximales de materias primas y mezclas

Parámetro Analizado	Unidad	Resultados					Método de Ensayo
		Grits de Maiz	Grits de Lenteja	Grits de Yuca	Mezcla 1	Mezcla 2	
Humedad	%	12,35	11,8	7,5	11,8	11,95	AOAC 925.10
Cenizas	%	0,64	0,02	0,02	0,01	0,01	AOAC 923.03
Proteína	%	8,32	28,25	4,3	19,96	14,12	AOAC 920.87
Extracto Etéreo	%	1,38	1,08	0,9	1,2	1,15	AOAC 920.85
Carbohidratos	%	77,31	59,6	87,78	67,2	72,92	CÁLCULO
Fibra	%	1,4	4,26	1,75	1,9	1,58	AOAC 945.38
Almidón	%	52,29	68	86	-	-	NMX-F-307
Amilosa	%	17,13	10,2	9,01	-	-	Marrison
Amilopectina	%	82,87	89,81	90,99	-	-	Cálculo



Ph.D. Elena Villacrés  
RESPONSABLE TÉCNICO

**Anexo 22.***Resultados de los análisis funcionales de los productos extruidos*

NOMBRE PETICIONARIO: Srta. Iralda Ipiales
DIRECCION: El Sagrario-Ibarra
FECHA DE EMISION: 03-12-2018
ANALISIS SOLICITADO: Analisis de propiedades funcionales del producto extruido.

Tratamientos	Descripción	Unidad	Índice de Expansión	Índice de Absorción de Agua IAA	Índice de solubilidad en Agua ISA
T1	9% Humedad; 170°C; Maiz 70% + Lenteja 15% + Yuca 15%	%	6,60	4,16	0,35
T2	9% Humedad; 170°C; Maiz 80% + Lenteja 10% + Yuca 10%	%	5,53	4,44	0,23
T3	9% Humedad; 200°C; Maiz 70% + Lenteja 15% + Yuca 15%	%	5,77	3,91	0,17
T4	9% Humedad; 200°C; Maiz 80% + Lenteja 10% + Yuca 10%	%	5,83	4,70	0,24
T5	14% Humedad; 170°C; Maiz 70% + Lenteja 15% + Yuca 15%	%	5,30	4,92	0,18
T6	14% Humedad; 170°C; Maiz 80% + Lenteja 10% + Yuca 10%	%	5,77	5,01	0,31
T7	14% Humedad; 200°C; Maiz 70% + Lenteja 15% + Yuca 15%	%	6,87	4,89	0,36
T8	14% Humedad; 200°C; Maiz 80% + Lenteja 10% + Yuca 10%	%	5,83	4,08	0,23



Ing. Ph.D. Elena Villacrés  
RESPONSABLE TÉCNICO

**Anexo 23.***Resultados de los análisis proximales de productos extruidos*

NOMBRE PETICIONARIO: Srta. Iralda IpiALES
DIRECCION: El Sagrario-Ibarra
FECHA DE EMISION: 03-12-2018
ANALISIS SOLICITADO: Análisis proximales de producto extruido a base de maiz, lenteja y yuca.

Parámetros Analizados	Unidad	Resultados												Método de ensayo
		T1R1	T1R2	T1R3	T2R1	T2R2	T2R3	T3R1	T3R2	T3R3	T4R1	T4R2	T4R3	
Humedad	%	5,67	5,6	5,635	5,09	5,83	5,46	4,45	4,82	4,635	4,55	4,09	4,32	AOAC 925.10
Proteína	%	16,35	16,89	16,58	13,36	13,16	13,28	18,97	18,89	18,26	14,89	14,43	13,88	AOAC 920.87
Extracto Etéreo	%	0,45	0,5	0,52	0,55	0,58	0,56	0,5	0,5	0,51	0,52	0,54	0,53	AOAC 920.85
Cenizas	%	1,35	1,4	1,4	1,05	1,05	1,1	1,05	1,2	1,15	1,05	1,05	1,08	AOAC 923.03
Carbohidrato	%	77,18	76,61	76,86	79,95	79,38	79,6	75,03	74,59	75,44	77,99	78,89	78,19	CÁLCULO
Fibra	%	1,44	1,62	1,53	1,48	1,4	1,42	1,76	1,77	1,75	1,91	1,93	1,9	AOAC 945.38



Ing. Ph.D. Elena Villacrés  
RESPONSABLE TÉCNICO

Parámetros Analizados	Unidad	Resultados												Método de ensayo
		T5R1	T5R2	T5R3	T6R1	T6R2	T6R3	T7R1	T7R2	T7R3	T8R1	T8R2	T8R3	
Humedad	%	8,31	8,91	8,61	7,72	7,68	7,7	6,72	6,55	6,635	6,33	6,62	6,475	AOAC 925.10
Proteína	%	15,88	15,49	15,18	13,44	12,58	13,36	17,35	17,96	17,66	14,82	14,77	14,28	AOAC 920.87
Extracto Etéreo	%	0,39	0,4	0,42	0,41	0,4	0,42	0,35	0,39	0,4	0,47	0,5	0,51	AOAC 920.85
Cenizas	%	1,15	1,25	1,22	1,05	1,1	1,09	1,1	1,1	1,1	1,05	1,15	1,15	AOAC 923.03
Carbohidratos	%	74,27	73,95	74,57	78,38	79,24	78,43	73,48	72,98	73,19	79,33	78,98	79,58	CÁLCULO
Fibra	%	1,64	1,56	1,6	1,31	1,42	1,38	1,73	1,62	1,69	1,28	1,25	1,26	AOAC 945.38



Ing. Ph.D. Elena Villacrés  
RESPONSABLE TÉCNICO

**Anexo 24.***Ficha de Perfil de Textura Sensorial***PERFIL DE TEXTURA SENSORIAL**

Nombre.....

Fecha.....Muestra

Nro.....

Por favor evaluar el siguiente producto extruido a base de maíz, oca y arveja; marque con una **X** en la categoría que mejor describa el parámetro a evaluar.

**Textura****Dureza con los dedos:** tomar la muestra y tratar de quebrarla.

Se Dobla					Se Quebra					

**Crocancia:** ruido asociado a la fractura del producto.

Nada					Muy Crocante					

**Resistencia a la ruptura:**

Muy Frágil					Muy Resistente a la ruptura					

**Adhesividad:**

Muy Adhesivo a los molares					Nada Adhesivo a los molares					

¡¡¡Muchas Gracias!!!

**Anexo 25.***Ficha de Aceptabilidad del producto extruido*

**“INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE EXTRUSION EN LAS  
CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO EXTRUIDO A BASE DE MAÍZ *Zea mayz*,  
OCA *Oxalis tuberosa*, Mol Y ARVEJA *Pisum sativum*”.**

**FICHA DE ANÁLISIS SENSORIAL**

<b>Características</b>	<b>Alternativas</b>	<b>Muestras</b>			
<b>COLOR</b>	Muy bueno				
	Bueno				
	Regular				
<b>OLOR</b>	Muy bueno				
	Bueno				
	Regular				
<b>SABOR</b>	Muy bueno				
	Bueno				
	Regular				
<b>TEXTURA</b>	Muy bueno				
	Bueno				
	Regular				

**OBSERVACIONES.....**

.....

**Gracias por su colaboración.**

## Anexo 26.

*Cantidad de harina y de agua según la humedad de la harina*

NTE INEN 1 736

1989-05

TABLA 1. Cantidades de harina y de agua según la humedad de la harina

HUMEDAD %	Cantidad de Harina (g)	Cantidad de Agua (g)	Humedad %	Cantidad de Harina (g)	Cantidad de Agua (g)
8,1	95,8	304,3	12,0	100,0	300,0
8,2	95,9	304,1	12,1	100,1	299,9
8,3	96,0	304,0	12,2	100,2	299,8
8,4	96,1	303,9	12,3	100,3	299,7
8,5	96,2	303,8	12,4	100,5	299,5
8,6	96,3	303,7	12,5	100,6	299,4
8,7	96,4	303,4	12,6	100,7	299,3
8,8	96,5	303,5	12,7	100,8	299,2
8,9	96,6	303,4	12,8	100,9	299,1
9,0	96,7	303,3	12,9	101,0	299,0
9,1	96,8	303,2	13,0	101,1	298,9
9,2	96,9	303,1	13,1	101,3	298,7
9,3	97,0	303,0	13,2	101,4	298,6
9,4	97,1	302,9	13,3	101,5	298,5
9,5	97,2	302,8	13,4	101,6	298,4
9,6	97,3	302,7	13,5	101,7	298,3
9,7	97,5	302,5	13,6	101,9	298,1
9,8	97,6	302,4	13,7	102,0	298,0
9,9	97,7	302,3	13,8	102,1	297,9
10,0	97,8	302,2	13,9	102,2	297,8
10,1	97,9	302,1	14,0	102,3	297,7
10,2	98,0	302,0	14,1	102,4	297,6
10,3	98,1	301,9	14,2	102,6	297,4
10,4	98,2	301,8	14,3	102,7	297,3
10,5	98,3	301,7	14,4	102,8	297,2
10,6	98,4	301,6	14,5	102,9	297,1
10,7	98,5	301,5	14,6	103,0	297,0
10,8	98,7	301,3	14,7	103,2	296,8
10,9	98,8	301,2	14,8	103,3	296,7
11,0	98,9	301,1	14,9	103,4	296,6
11,1	99,0	301,0	15,0	103,5	296,5
11,2	99,1	300,9	15,1	103,7	296,3
11,3	99,2	300,8	15,2	103,8	296,2
11,4	99,3	300,7	15,3	103,9	296,1
11,5	99,4	300,6	15,4	104,0	296,0
11,6	99,5	300,5	15,5	104,1	295,9
11,7	99,7	300,3	15,6	104,3	295,7
11,8	99,8	300,2	15,7	104,4	295,6
11,9	99,9	300,1	15,8	104,5	295,5

(Continúa)

**Anexo 27.***Especificaciones del Extrusor para Laboratorio.*

Modelo	ASA-D30
Potencia del Motor	5.5KW
Velocidad del motor	Variador de frecuencia
Dimensiones de tornillos	Φ32 mm x 580 mm.
Distancia entre centros de tornillos:	26 mm
Material de tornillos	38CrMoAl
Etapas de tornillos	#1 Transporte: Paso = 30 x 180 mm
	#2 Mezclado: Paso = 24 x 145 mm
	#3 Amasado: Paso = 20 x 160 mm
	#4 Extrusión: Paso = 16 x 95 mm
Rango de velocidad	0~550 RPM
Precisión de la temperatura	-1 ~ +1°C
Calefactores	4 x 700 vatios 220 VC □83x70 mm.
Puntos de medición de temperatura	4 termocuplas
Rangos de temperatura	20~300°C
Sistema de control	Pantalla de control táctil full color
Rango de presión	0~30MPa

---

Precisión de medidor de presión	1MPa
Puntos de medición de presión	1 punto (cabezal de extrusión)
Potencia del alimentador	0.18kw
Velocidad del alimentador	Variador de frecuencia
Potencia del cortador	0.25kw
Velocidad de cortador	Variador de frecuencia
Capacidad de producción	5-12kg/h
Dimensiones de la máquina	1800*700*1500 mm

---

**Nota:** Manual de Operación y Mantenimiento Astimec S.A-UTN