



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS

AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA MEZCLA ENTRE
GRITZ DE MAIZ *Zea mays* GRITZ DE ZANAHORIA BLANCA
Arracacia xanthorrhiza Y EL DIÁMETRO DE SALIDA DE LA
BOQUILLA EN EL PRODUCTO EXTRUIDO.**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

AUTOR: Juan Carlos Morales Villagrán

DIRECTOR: Ing. Luis Armando Manosalvas Quiróz. MSc

Ibarra – Ecuador

2019

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES.
CARRERA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL.**

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA MEZCLA ENTRE GRITZ
DE MAIZ *Zea mays* GRITZ DE ZANAHORIA BLANCA
Arracacia xanthorrhiza Y EL DIÁMETRO DE SALIDA DE LA
BOQUILLA EN EL PRODUCTO EXTRUIDO.**

Tesis revisada por los miembros del tribunal, por lo cual se autoriza su
presentación como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

APROBADA:

Ing. Armando Manosalvas, MSc.

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Holguer Pineda, MBA.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Ángel Satama, MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Juan De La Vega, MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



FIRMA



FIRMA



FIRMA



FIRMA

CERTIFICACIÓN.

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Juan Carlos Morales Villagrán, con cedula de ciudadanía 100353464-9 bajo mi supervisión.



Ing. Luis Armando Manosalvas, MSc.

DIRECTOR DE TESIS



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 la 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:	100353464-9		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Morales Villagrán Juan Carlos		
DIRECCIÓN:	Cda. Jacinto Collahuazo cuarta etapa (Otavalo)		
EMAIL:	juankvm12@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	062-903-307	TELÉFONO MÓVIL:	0980033197

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA MEZCLA ENTRE GRITZ DE MAIZ Zea mays GRITZ DE ZANAHORIA BLANCA Arracacia xanthorrhiza Y EL DIÁMETRO DE SALIDA DE LA BOQUILLA EN EL PRODUCTO EXTRUIDO.
AUTOR:	Morales Villagrán Juan Carlos
FECHA:	14/11/2019
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Agroindustrial
DIRECTOR:	Ing. Luis Armando Manosalvas, MSc.

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 14 días del mes de noviembre de 2019

EL AUTOR:

(Firma).....

Nombre: Juan Carlos Morales Villagrán

C.C: 100353464-9

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL
NORTE**

Yo, Juan Carlos Morales Villagrán, con cédula de identidad Nro. 100353464-9; manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: **“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA MEZCLA ENTRE GRITZ DE MAIZ *Zea mays* GRITZ DE ZANAHORIA BLANCA *Arracacia xanthorrhiza* Y EL DIÁMETRO DE SALIDA DE LA BOQUILLA EN EL PRODUCTO EXTRUIDO.”** que ha sido desarrollo para optar por el título de: Ingeniero Agroindustrial en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 14 días del mes de noviembre de 2019



Juan Carlos Morales Villagrán.

DECLARACIÓN

Manifiesto que la presente obra es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto es original y que soy el titular de los derechos patrimoniales; por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 14 días del mes de noviembre de 2019

A handwritten signature in blue ink, consisting of several vertical and horizontal strokes, appearing to read 'Juan Carlos Morales Villagrán'.

Juan Carlos Morales Villagrán.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS.....	III
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	4
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	4
1.4. HIPÓTESIS	4
HIPÓTESIS ALTERNATIVA	4
HIPÓTESIS NULA	4
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1. EL MAÍZ.....	5
2.1.1. GRITZ DE MAÍZ	6
2.1.2. ORIGEN.....	7
2.1.3. TAXONOMÍA.	8
2.1.4. PRODUCCIÓN NACIONAL.....	8
2.1.5. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL.....	9
2.1.6. PERFIL DE AMINOÁCIDOS.....	11
2.2. ZANAHORIA BLANCA.....	11
2.2.1. ORIGEN.....	12

2.2.2.	TAXONOMÍA.....	13
2.2.3.	PRODUCCIÓN NACIONAL.....	13
2.2.4.	COMPOSICIÓN NUTRICIONAL.....	14
2.2.5.	PERFIL DE AMINOÁCIDOS.....	15
2.2.6.	ALMIDÓN.....	15
2.2.7.	AMILOSA Y AMILOPECTINA.....	16
2.3.	MATERIAS PRIMAS PARA EXTRUSIÓN.....	17
2.3.1.	CEREALES.....	18
2.3.2.	RAÍCES Y TUBÉRCULOS.....	18
2.3.3.	LEGUMINOSAS.....	19
2.3.4.	LOS SNACKS.....	20
2.4.	FUNCIONALIDAD DE LOS INGREDIENTES PARA LA EXTRUSIÓN.....	21
2.4.1.	MATERIALES QUE FORMAN ESTRUCTURA.....	21
2.4.2.	MATERIALES QUE FORMAN LA FASE DISPERSA.....	21
2.4.3.	MATERIALES PLASTIFICANTES Y LUBRICANTES.....	22
2.4.4.	MATERIALES EMULSIONANTES.....	23
2.4.5.	SUSTANCIAS NUCLEANTES.....	23
2.4.6.	SUSTANCIAS AROMATIZANTES.....	23
2.5.	DISEÑO Y CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXTRUSOR	23
2.5.1.	PRINCIPIOS DE LA EXTRUSIÓN.....	23
2.5.2.	LA EXTRUSIÓN.....	24
2.5.3.	TIPOS DE EXTRUSORES.....	25
2.5.4.	VENTAJAS DE LA EXTRUSION.....	28

2.5.5.	OPERACIONES UNITARIAS EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN.....	28
2.5.6.	FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN.....	30
2.5.7.	COMPONENTES QUE INFLUYEN EN LA EXTRUSIÓN.	36
2.5.8.	CAMBIOS NUTRICIONALES DURANTE LA EXTRUSIÓN. ..	40
2.6.	PARÁMETROS DE CALIDAD EN LOS EXTRUIDOS.	48
2.6.1.	INDICE DE EXPANSIÓN (IE).....	48
2.6.2.	DENSIDAD APARENTE (DA).....	50
2.6.3.	ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA (ISA).....	50
2.6.4.	ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA (IAA).....	51
2.6.5.	TEXTURA EN LOS EXTRUIDOS.....	52
CAPÍTULO III.....		60
MATERIALES Y MÉTODOS.....		60
3.1.	LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.	60
3.2.	UBICACIÓN DEL LUGAR DE OBTENCIÓN DE ZANAHORIA BLANCA.....	60
3.3.	UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO.....	60
3.4.	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.	61
3.5.	MATERIALES Y EQUIPOS.....	61
3.6.	CARACTERIZACIÓN DEL EQUIPO DE EXTRUSIÓN.....	62
3.7.	GRANULOMETRÍA.....	63
3.8.	MÉTODOS.....	63
3.8.1.	FACTORES DE ESTUDIO.....	63
3.8.2.	TRATAMIENTOS.....	64

3.8.3.	CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO.	64
3.8.4.	UNIDAD EXPERIMENTAL.	65
3.8.5.	FORMULACIONES.....	65
3.8.6.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	65
3.8.7.	ANÁLISIS FUNCIONAL.	66
3.9.	VARIABLES EVALUADAS	66
3.9.1.	VARIABLES CUANTITATIVAS	66
3.1.1.	VARIABLES CUALITATIVAS.....	71
3.10.	MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO.....	72
3.1.2.	ELABORACIÓN DE GRITZ DE ZANAHORIA BLANCA.	72
3.1.3.	ELABORACIÓN DE EXTRUIDO DE MAÍZ Y ZANAHORIA BLANCA.....	78
CAPÍTULO IV		82
RESULTADOS Y DISCUSIONES		82
4.1.	CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS MATERIAS PRIMAS.....	82
4.2.	VARIABLES FÍSICO QUÍMICAS EVALUADAS EN EL EXTRUIDO. 86	
4.1.1.	HUMEDAD.	87
4.1.2.	PROTEÍNA.....	88
4.1.3.	LÍPIDOS.	90
4.1.4.	CARBOHIDRATOS.....	92
4.1.5.	FIBRA.....	93
4.3.	PROPIEDADES FUNCIONALES DEL EXTRUIDO.....	95
4.3.1.	ÍNDICE DE EXPANSIÓN (IE).....	96

4.3.2.	DENSIDAD APARENTE (DA).....	98
4.3.3.	ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA (ISA).....	100
4.3.4.	ÍNDICE DE ABSORCION DE AGUA (IAA).....	102
4.3.5.	TEXTURA INSTRUMENTAL.....	103
4.4.	CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS Y DE ACEPTABILIDAD DEL EXTRUIDO.....	108
4.1.6.	COLOR.....	108
4.1.7.	OLOR.....	109
4.1.8.	SABOR.....	110
4.1.9.	TEXTURA.....	111
4.1.10.	ACEPTABILIDAD.....	112
CAPÍTULO V		114
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		114
CONCLUSIONES.....		114
RECOMENDACIONES		115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		116
ANEXOS.....		120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del maíz.	8
Tabla 2. Composición química del maíz.	9
Tabla 3. Amilosa y amilopectina del almidón de maíz.	10
Tabla 4. Perfil de aminoácidos del maíz.	11
Tabla 5. Taxonomía de la zanahoria blanca.	13
Tabla 6. Producción nacional de zanahoria blanca.	14
Tabla 7. Composición nutricional de la zanahoria blanca (base seca).....	14
Tabla 8. Perfil de aminoácidos de la zanahoria blanca.	15
Tabla 9. Tamaño y forma de los gránulos de algunas raíces y tubérculos andinos.....	16
Tabla 10. Amilosa y amilopectina del almidón de Zanahoria Blanca (base húmeda).....	17
Tabla 11. Definiciones de parámetros instrumentales de textura.....	58
Tabla 12. Datos de obtención de la zanahoria blanca.....	60
Tabla 13. Ubicación del experimento.	61
Tabla 14. Área de estudio.	61
Tabla 15. Materiales y equipos.....	61
Tabla 16. Niveles del factor “A” (mezcla de gritz de maíz-gritz de zanahoria blanca).....	64
Tabla 17. Niveles del factor “B” (Diámetro de salida de la boquilla).....	64
Tabla 18. Nomenclatura de los tratamientos.....	64
Tabla 19. Formulación de la mezcla (85% maíz – 15% zanahoria blanca)	65

Tabla 20. Formulación de la mezcla (90% maíz – 10% zanahoria blanca)	65
Tabla 21. Formulación de la mezcla (95% maíz – 5% zanahoria blanca) 65	
Tabla 22. Esquema del ADEVA	66
Tabla 23. Pruebas de evaluación en la materia prima (gritz de maíz - gritz zanahoria blanca).....	67
Tabla 24. Pruebas analíticas en el producto extruido.....	68
Tabla 25. Pruebas funcionales	69
Tabla 26. Pruebas organolépticas en el producto final extruido.	71
Tabla 27. Análisis proximal de las materias primas (base seca).....	83
Tabla 28. Composición nutricional de las mezclas	85
Tabla 29. Análisis de varianza de las variables físico químicas del extruido.	86
Tabla 30. Resumen del análisis físico-químico de los extruidos.	87
Tabla 31. Análisis de varianza de las propiedades funcionales del extruido	95
Tabla 32. Resumen de las propiedades funcionales de los extruidos.	96
Tabla 33. Análisis de varianza de la textura instrumental del extruido ...	104
Tabla 34. Resumen del análisis de textura en los extruidos.	104
Tabla 35. Análisis de Friedman para variables cualitativas	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Gritz de maíz.....	7
Figura 2. Estructura de molécula de amilosa.....	10
Figura 3. Estructura de molécula de amilopectina.....	11
Figura 4. Zanahoria blanca.....	12
Figura 5. Estructura del extrusor de un solo tornillo.....	26
Figura 6. Extrusor de un solo tornillo.....	26
Figura 7. Zonas del tornillo.....	32
Figura 8. Efecto de la temperatura de extrusión sobre los porcentajes de proteína soluble y dañada por calor.....	45
Figura 9. Caracterización del equipo de extrusión.....	62
Figura 10. Diagrama de flujo para la elaboración de griz de zanahoria blanca.....	73
Figura 11. Recepción.....	74
Figura 12. Selección y clasificación.....	74
Figura 13. Lavado.....	75
Figura 14. Pelado.....	75
Figura 15. Cortado.....	76
Figura 16. Escaldado.....	76
Figura 17. Secado.....	77
Figura 18. Molienda.....	77
Figura 19. Tamizado.....	78
Figura 20. Diagrama de flujo para la elaboración del extruido de maíz-zanahoria blanca.....	78
Figura 21. Recepción.....	79

Figura 22. Pesado	79
Figura 23. Mezclado y acondicionamiento	80
Figura 24. Extrusión	80
Figura 25. Empacado.	81
Figura 26. Almacenamiento.....	81
Figura 27. Humedad del extruido.	88
Figura 28. Proteína del extruido.....	89
Figura 29. Lípidos del extruido	91
Figura 30. Carbohidratos del extruido.....	92
Figura 31. Fibra del extruido.....	94
Figura 32. Índice de expansión (IE).	97
Figura 33. Densidad aparente (DA).	99
Figura 34. Índice de solubilidad en agua (ISA).....	100
Figura 35. Índice de absorción de agua (IAA).	102
Figura 36. Textura instrumental (prueba de punción)	105
Figura 37. Textura instrumental (Prueba de corte guillotina)	106
Figura 38. Color del extruido.	109
Figura 39. Olor del extruido.	110
Figura 40. Sabor del extruido.	111
Figura 41. Textura del extruido.	112
Figura 42. Aceptabilidad.....	113

RESUMEN

La zanahoria blanca es una raíz con alto contenido de almidón, por lo que se considera como alternativa de procesamiento de alimentos extruidos. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la mezcla entre griz de maíz Zea mays - griz de zanahoria blanca *Arracacia xanthorrhiza* (85/15; 90/10; 95/5), y el diámetro de salida de la boquilla (3mm y 5mm) en el producto extruido.

Se utilizó un diseño estadístico completamente al azar con un arreglo factorial AxB, con seis tratamientos y tres repeticiones resultando un total de 18 unidades experimentales, cada una con un peso de 200 g. se realizó un análisis funcional de Tukey ($p < 0.05$) para tratamientos. Las variables físico químicas evaluadas fueron: humedad, proteína, lípidos, carbohidratos y fibra. Las propiedades funcionales fueron: índice de expansión (IE), densidad aparente (DA), índice de solubilidad en agua (ISA), índice de absorción de agua (IAA). Las variables organolépticas evaluadas fueron: color, olor, sabor y textura.

Los resultados registrados en las propiedades físico químicas reportaron contenidos de proteína de (8,28%) y fibra (0,39%) en los tratamientos T1 y T2 con mezclas (85% maíz-15% zanahoria blanca + 3 mm Ø de la boquilla) y (85% maíz-15% zanahoria blanca + 5 mm Ø de la boquilla) respectivamente. Respecto a las propiedades funcionales el tratamientos T5 (85% maíz-15% zanahoria blanca + 3 mm Ø de la boquilla) reportó el mayor índice de expansión (IE) y baja densidad aparente (DA). Además, presentó mayor índice de solubilidad en agua (ISA) y mayor índice de absorción de agua (IAA).

Asimismo, se reportó la mejor textura instrumental en el tratamiento T5 (85% maíz-15% zanahoria blanca + 3 mm Ø de la boquilla) debido a los menores valores de fuerza de punción obtenidos, concordando con los resultados de textura sensorial por un panel de degustación.

En conclusión las mezclas de la matriz alimentaria afectaron a las propiedades funcionales de los extruidos, donde el índice de expansión disminuyó con el incremento de sustitución de maíz por zanahoria blanca (85/15) y con ello aumento la densidad aparente.

Abstract

The white carrot is a root with high starch content, so it is considered as an alternative for processing extruded foods. The objective of the present investigation was to evaluate the effect of the mixture between *Zea mays* corn gritz - *Arracacia xanthorrhiza* white carrot gritz (85/15; 90/10; 95/5), and the nozzle outlet diameter (3mm and 5mm) in the extruded product.

A completely random statistical design with an AxB factorial arrangement was used, with six treatments and three repetitions resulting in a total of 18 experimental units, each weighing 200 g. and a functional analysis of Tukey ($p < 0.05$) was performed for treatments.

The physical chemical variables evaluated were: moisture, protein, lipids, carbohydrates and fiber. The functional properties were: expansion index (IE), apparent density (DA), water solubility index (ISA), water absorption index (IAA). The organoleptic variables evaluated were: color, smell, taste and texture.

The results recorded in the physical chemical properties reported protein contents of (8.28%) and fiber (0.39%) in the T1 and T2 treatments with mixtures (85% corn – 15% white carrot + 3 mm Ø of the nozzle) and (85% corn – 15% white carrot + 5 mm Ø of the nozzle) respectively. Regarding the functional properties, the T5 treatments (85% corn – 15% white carrot + 3 mm Ø of the nozzle) reported the highest expansion rate (IE) and low apparent density (DA). In addition, it presented a higher water solubility index (ISA) and a higher water absorption index (IAA).

Likewise, the best instrumental texture was reported in the T5 treatment (85% corn – 15% white carrot + 3 mm Ø of the nozzle) due to the lower puncture force values obtained, according to the results of sensory texture by a panel Tasting

In conclusion, the mixtures of the food matrix affected the functional properties of the extrudates, where the expansion rate decreased with the increase in substitution of corn with white carrot (85/15) and with that the apparent density increased.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PROBLEMA

Según (Guy, 2001) la tecnología de extrusión presenta un papel importante en la industria alimentaria, siendo su función principal la transmisión y la conformación de formas fluidas de materias primas transformadas tales como; pastas, snacks, cereales para el desayuno, análogos de carne, aperitivos y comida para mascotas.

Actualmente la industria de snacks registra una evolución creciente con exigencias del consumidor orientadas a una alimentación sana, variada y atractiva. Por esta razón las industrias requieren la elaboración de alimentos de alto valor nutricional de acuerdo a las necesidades del consumidor.

La zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) es una raíz con alto contenido de almidón, por ello se considera como alternativa de procesamiento de alimentos extruidos. Es cultivada principalmente por su sabor agradable, alto contenido de calcio (29 mg/100g), niveles adecuados de niacina (3,40 mg/100g), ácido ascórbico (28mg/100g) y fósforo (58 mg/100g). Esta raíz a pesar de poseer buenas características nutricionales se encuentra excluida de las dietas alimentarias lo cual provoca escasa demanda en el mercado.

Además, existe limitaciones de procesamiento y formas de preparación, asimismo tiene un corto tiempo de almacenamiento y su vulnerabilidad a sufrir daños durante

el transporte produciendo pérdidas postcosecha y rendimientos indeseables, con ello la economía de los agricultores es perjudicada.

La zanahoria blanca es principalmente consumida en estado fresco, y es considerado como un excelente alimento desde el punto de vista nutricional principalmente cuando el consumidor tiene un estomago sensible ya que contiene almidón rápidamente digestible, abundante agua, hidratos de carbono que aporta energía, vitaminas y minerales.

Debido al escaso uso agroindustrial prestado a esta raíz, los rendimientos de producción son desfavorables con ello se genera bajos ingresos económicos, lo cual limita el interés de cultivo de zanahoria blanca en los pequeños productores, provocando la sustitución de dichos cultivos con actividades que generen ingresos.

1.2. JUSTIFICACIÓN

La extrusión abarca una serie de operaciones que brinda la posibilidad de obtener alimentos con gran variedad de formas que no se puede obtener fácilmente con otros métodos, teniendo una gran aceptabilidad en la industria de alimentos. Para la obtención de un alimento extruido es imprescindible conocer la composición, siendo los más adecuados para este proceso aquellos alimentos con un alto contenido de almidón y proteína.

La zanahoria blanca presenta una fuente importante de energía (104 kcal/100g), debido a su contenido de almidón (17,72g/100g) con un alto porcentaje de amilopectina (80%), y producen geles muy estables al almacenamiento en refrigeración y congelación siendo una excelente materia prima para la elaboración de un alimento extruido de zanahoria blanca y maíz promoviendo de esta manera el consumo de esta raíz andina como fuente de alimentación.

El propósito fundamental de la obtención de este alimento extruido se basa principalmente en establecer una combinación de una raíz (zanahoria blanca) y un cereal altamente consumido en Ecuador (maíz), obteniendo un alimento con un elevado contenido nutricional, de rápida digestibilidad de carbohidratos ya que el almidón de zanahoria blanca se transforma fácilmente en glucosa dentro del organismo, los cuales proveen beneficios para la salud, y de esta manera contribuir al desarrollo agroindustrial.

Con la finalidad de rescatar, valorizar y disminuir pérdidas poscosecha de cultivos de zanahoria blanca, se propuso dar valor agregado al producto y a su vez estudiar aspectos de procesamiento agroindustrial como base de consumo humano. El propósito de elaborar alimento extruido es disminuir el espacio ocupado en poscosecha del producto, disminuir costos de operación y uso de energía incrementando de esta manera la productividad.

1.3. OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la mezcla entre gritz de maíz *Zea mays* gritz de zanahoria blanca *Arracacia xanthorrhiza* y el diámetro de salida de la boquilla en el producto extruido.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Evaluar las características físico químicas de las materias primas (humedad, extracto etéreo, fibra).
- Evaluar el efecto de la mezcla de gritz de maíz *Zea mays* - gritz de zanahoria blanca *Arracacia xanthorrhiza* y el diámetro de la boquilla sobre el índice de expansión y textura instrumental del producto extruido.
- Evaluar las características físico químicas, organolépticas (color, olor, sabor, textura) y de aceptabilidad del producto extruido.

1.4. HIPÓTESIS

HIPÓTESIS ALTERNATIVA

- **H_i**= La mezcla y el diámetro de salida de la boquilla influyen en las características funcionales (índice de expansión y textura instrumental) características fisicoquímicas y organolépticas del producto extruido

HIPÓTESIS NULA

- **H_o**= La mezcla y el diámetro de salida de la boquilla no influyen en las características funcionales (índice de expansión y textura instrumental) características fisicoquímicas y organolépticas del producto extruido

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. EL MAÍZ.

Es uno de los granos básicos alimenticios más antiguos e importantes que se conocen, están compuestos principalmente por carbohidratos (86%), proteína (9%) lípidos (3%) y fibra (2%). El maíz posee una fuente considerable de almidón con un contenido de proteína bajo en relación con otros cereales (Morales, 2009).

El maíz es el tercer cultivo comercial por área sembrada a nivel mundial, después del trigo y el arroz (Ligarreto, Ballén, & Huertas, 2018). El maíz se transforma en una amplia variedad de productos y alimentos tradicionales como; tortillas, arepas, empanadas y muchos snacks (Lusas & Rooney, 2010).

La planta del maíz es una monocotiledónea anual de elevado porte desde 60 hasta 80 cm de altura aproximadamente, las yemas laterales en la axila de las hojas de la parte superior de la planta formarán una inflorescencia femenina (mazorca) cubierta por hojas y que servirán como reserva. Las mazorcas son espigas de forma cilíndrica con un raquis central donde se insertan las espiguillas por pares estando cada espiguilla con dos flores postiladas, una fértil y otra abortiva, en hileras paralelas. Las hojas que se desprenden de los nodos son alternas, lanceoladas y acuminadas, con pequeñas lígulas, naciendo en los nudos de forma alternada. Los entrenudos y las yemas florales están cubiertos por una vaina. La parte superior de la planta está

compuesta de una espiga central con algunas ramificaciones laterales que es donde se producirán los granos de polen (Inflorescencia masculina en panícula dominante) (Sánchez, 2014).

Los maíces cerosos son utilizados en la producción de almidón y como mejoradores de textura en snacks horneados. El almidón de maíz ceroso contiene amilopectina que influye significativamente sobre el índice de expansión en los snack (Lusas & Rooney, 2010).

La semilla de maíz está constituida por dos partes principales, el germen y el endospermo. El primero abarca el 11% de la masa seca y contiene la mayor cantidad de aceite de la semilla y proteínas hidrosolubles; mientras que el segundo abarca el 83% de la masa seca y está compuesto principalmente por almidón y proteínas liposolubles. Estas últimas son una mezcla compleja que incluye fracciones de albúminas, globulinas, zeínas o prolaminas y gluteninas (Milena, Buritica, Rivera, Penagos, & Torres, 2017).

2.1.1. GRITZ DE MAÍZ

Son partículas de endospermo (**Figura 1**) cernidas a través de un tamiz de 1,19 mm. Presentan cantidades pequeñas de fibra y menos del 1% de aceite, por el contrario la harina de maíz tiene una granulación más pequeña que los gritz (0,59 a 0,193 mm) y tiene menos de 1% de aceite, bajo contenido de fibra, larga vida útil y color brillante sin motas negras. La harina de maíz se utiliza ampliamente para producir soplos de maíz rizos y otros productos expandidos que se fríen o se hornean. La distribución del tamaño de partícula afecta a la cocción y a la expansión de los productos extruidos. Los rizos de maíz son populares en todo el mundo y son elaborados por extrusoras de tornillo simple o sofisticadas extrusoras de doble tornillo (Lusas & Rooney, 2010).



Figura 1. Gritz de maíz.

2.1.2. ORIGEN.

El maíz se empezó a cultivar hace 7.000 a 10.000 años. Las evidencias más antiguas sobre el origen del maíz se encuentra en restos arqueológicos situados en México donde se encontraron mazorcas de datadas en más de 5.000 años de antigüedad (Sánchez, 2014).

El maíz a pesar de la gran diversidad de sus formas y su clasificación como *Zea mays*, eran cultivados por las poblaciones autóctonas cuando se descubrió el continente americano. Por otro lado, los indicios recogidos mediante estudios de botánica, genética y citología apuntan a un antecesor común de todos los tipos existentes de maíz (FAO, 2010).

El centro primario de origen del maíz se ubica en Mesoamérica, por lo que existen varias teorías a este respecto (Sánchez, 2014).

- La primera de las teorías enuncia un origen asiático del maíz; en ella, se postula que se originaría en el Himalaya. La citogenética empieza a aportar estudios para apoyar que el maíz sea un anfidiplóide, aunque la teoría en sí no recaba mucho apoyo.
- La segunda teoría postula un origen andino del maíz. Se basa en el hallazgo de maíz de tipo reventón en América de Sur, y en la elevada diversidad genética de esa zona. Su inconveniente era que no se había hallado pariente alguno incluyendo teosinte del maíz, por lo que se descartó

- La tercera y más apoyada teoría enuncia el origen mexicano del maíz. En ella se menciona que el maíz han existido desde hace mucho tiempo con una elevada diversidad (Sánchez, 2014).

2.1.3. TAXONOMÍA.

Existen muchos estudios sobre la taxonomía del maíz, la **Tabla 1** muestra la taxonomía del maíz duro.

Tabla 1. Taxonomía del maíz.

Clase	Liliopsida
Subclase	Panicoideae
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	Zea
Especie	Mays
Nombre científico	Zea mays L.
Nombre común	Maíz, morochillo, maíz duro amarillo
Clase	Liliopsida
Subclase	Panicoideae
Orden	Poales

(INIAP, 2011)

2.1.4. PRODUCCIÓN NACIONAL.

La producción nacional de maíz está destinado para la avicultura (57%), alimentos balanceados (6%), exportación a Colombia (25%), industrias de consumo humano (4%), el resto para autoconsumo y semilla. Además, el Ecuador tiene la capacidad de exportar subproductos elaborados a base maíz tales como: gritz y sémola siendo utilizados para elaborar alimentos como arepas y snacks. Es un cereal que se adapta ampliamente a diversas condiciones ecológicas y edáficas, por esta razón que se la cultiva en casi todo el mundo (Morales, 2009).

El maíz crece bien en zonas cálidas y húmedas del mundo y responde al fertilizante y la humedad produciendo grandes cantidades de grano, por el contrario su producción no es representativa en zonas cálidas y secas del mundo. Por otro lado

el sorgo es similar al maíz en muchos aspectos y también se puede utilizar para la producción de aperitivos (Lusas & Rooney, 2010).

Existen varios tipos de maíz que se cultivan en todo el mundo, mismos que presentan diferencias en color, tamaño, forma de grano y otros atributos que varían significativamente. Cabe destacar que predomina la producción de maíz amarillo en Estados Unidos, Brasil y China. Sin embargo se prefiere el maíz blanco en África, América Central y el norte de Sudamérica debido a su dulzura y sus productos son más sabrosos (Lusas & Rooney, 2010).

2.1.5. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL.

Existe una gran cantidad de estudios sobre la composición nutricional de las distintas variedades de maíz, sin embargo la **Tabla 2** refleja la composición química básica del grano de maíz (base seca).

Tabla 2. Composición química del maíz.

Parámetros	Porcentaje (%)
Almidón	75,00
Proteína	7,68
Fibra	2,46
Lípidos	5,0
Ceniza	1,65

(INIAP, 2011)

(Sánchez, 2014) afirma que el almidón está compuesto aproximadamente de 25 a 30% de amilosa y de 70 a 75% de amilopectina, constituyendo el 72 a 73% del peso del grano de maíz. Además, contiene hidratos de carbono como azúcares (glucosa, sacarosa y fructosa) en cantidades que varían del 1 al 3% del grano.

El almidón presente en el endospermo del grano de maíz es fundamentalmente vítreo y duro, presentando una madurez temprana y un menor rendimiento. Es utilizado para alimento humano, para hacer fécula de maíz, o para alimentación animal (Sánchez, 2014). La temperatura de gelatinización del almidón de maíz es de 67°C.

El tamaño del granulo de almidón tiene un promedio de 12,70 μm considerándolo como un elemento importante durante el proceso de extrusión de alimentos (Medina, 2007).

El componente principal del grano de maíz es el almidón formado por dos polímeros de glucosa como son; la amilosa y amilopectina. La **Tabla 3** refleja el contenido de amilosa y amilopectina presentes en el almidón de maíz.

Tabla 3. Amilosa y amilopectina del almidón de maíz.

Parámetro	Cantidad (%)
Amilosa	25
Amilopectina	75

(FAO, 2004)

De igual manera (Bressani, 2016) afirma que el grano de maíz es una excelente fuente almidón formado por 25% de amilosa (capa interna) y 75% amilopectina (capa externa), clasificadas como glúcidos ya que los monómeros que conforman la estructura son glucosa y el tipo de enlace que mantiene unidos a los monómeros, es el enlace glucosídico.

Según (Ahmed et al. 2012) la amilosa es una molécula lineal que consiste en varios miles de unidades de glucosa ligadas por unión alfa 1-4 (**Figura 2**)

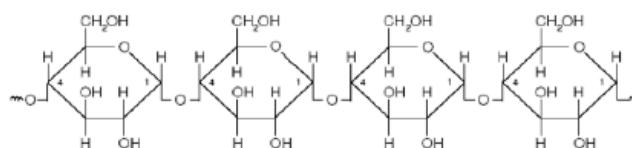


Figura 2. Estructura de molécula de amilosa
(Bressani, 2016)

La **Figura 3** representa la estructura de la molécula de amilopectina, la cual es altamente ramificada α (1 \rightarrow 4) glucano con enlaces α (1 \rightarrow 6) en los puntos de ramificación similar a un árbol, con mayor grado de polimerización (Ahmed, Brijesh, Imam, & Rao, 2012).

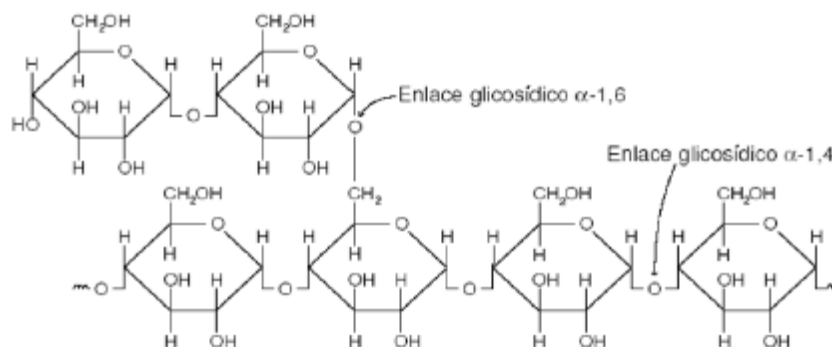


Figura 3. Estructura de molécula de amilopectina

(Bressani, 2016)

2.1.6. PERFIL DE AMINOÁCIDOS.

El perfil de aminoácidos del maíz se describe en la **Tabla 4**, expresada en mg de aminoácidos por los gramos de nitrógeno presente en el grano de maíz.

Tabla 4. Perfil de aminoácidos del maíz.

Aminoácidos	Proteína (mg aminoácidos/g nitrógeno)
Histidina	170
Isoleucina
Leucina
Lisina
Metionina + cistina	217
Metionina	120
Fenilalanina
Treonina	225
Triptófano	44
Valina
Cistina	97

Sánchez, 2014

2.2. ZANAHORIA BLANCA.

Según Jiménez (2005) la zanahoria blanca *Arracacia xanthorrhiza* es una de la raíces de mayor difusión, presenta sabor agradable y de fácil digestibilidad, existe una gran variedad de raíces que pueden ser de color blanco, amarillo y morado

dependiendo de la variedad. La **Figura 4** muestra zanahorias de variedad blanca en estado fresco.



Figura 4. Zanahoria blanca.

Los principales países productores son: Venezuela, Colombia, Ecuador. La población local la consume cocida en (sopas, guisos y estofados), frita y procesada en forma de harina ya sea para consumo humano o para la alimentación animal, las hojas se consumen cocidas o frescas como el apio, el follaje también es usado como forraje para animales. Posee propiedad anti anémica especialmente utilizada en niños, madres gestantes y también crea en el infante su microflora intestinal. Debido a que los gránulos de almidón son muy pequeños y fáciles de digerir, se los utiliza en la dieta de niños inválidos (INIA-Peru, 2009).

2.2.1. ORIGEN.

La zanahoria blanca *Arracacia Xanthorrhiza* B. es probablemente una de las plantas andinas más antiguas y cultivadas en la etapa preincaica, cuya domesticación precedió a la papa y el maíz. No existen vestigios que permitan identificar el área de origen, que pudo ser la zona septentrional de América del Sur, debido a la presencia de especies silvestres (Zuquilanda, 2007).

Es originaria de las áreas andinas de Colombia, Ecuador y Perú, donde se encuentra la mayor variedad de germoplasma. Ha sido cultivada en el Perú desde la época prehispánica. Prefiere suelos sueltos, bien drenados y se propaga por tallos basales (ONG, 2012).

Origen

Puede sembrarse durante todo el año donde haya humedad y temperatura promedio de 14°C a 21°C., con altitudes hasta los 3,200 m, de preferencia en los meses de septiembre a diciembre. Los rendimientos de las raíces comestibles pueden ser mejorados con abonamiento orgánico (estiércol de rumiantes y humus de lombriz) o con fertilización de acuerdo al análisis de suelos (INIA-Peru, 2009).

2.2.2. TAXONOMÍA.

En la **Tabla 5** se observa la taxonomía de la Zanahoria blanca que fue utilizada para el desarrollo de esta investigación.

Tabla 5. Taxonomía de la zanahoria blanca.

Clasificación	Características
Nombre común	Zanahoria blanca
Nombre Científico	Arracacia xanthorrhiza Bancroft
Reino	Vegetal
División	Angiospermas
Clase	Dicotiledóneas
Subclase	Archichlamydeae
Orden	Umbelliflorae
Familia	umbelliferae (apiácea)
Subfamilia	apiodae
Género	Arracacia
Especie	Arracacia xanthorrhiza Bancroft

(INIAP, 2009).

2.2.3. PRODUCCIÓN NACIONAL.

En Ecuador existen varias zonas de producción de zanahoria blanca (**Tabla 6**). Sin embargo las zonas de producción más importantes son; Pimampiro e Intag (Imbabura); Nanegalito y San José de Minas (Pichincha); Baños (Tungurahua); Gozanama y Saraguro (Loja) y Zaruma (El Oro). De todas estas zonas, San José de Minas en la provincia de Pichincha, constituye la principal zona de producción a nivel nacional que abastece a todo el país (Toapanta, 2012).

La producción nacional de zanahoria blanca está destinada el 70% para la industria de piensos y balanceados y la diferencia para el consumo humano y semilla (Valdivieso, 2010).

Tabla 6. Producción nacional de zanahoria blanca.

Localidad	Producción TM
Quito	10,91
Ambato	1.087,27
Baños	42,95
Cajabamba	36,36
Cuenca	80,00
Guamote	63,64
Ibarra	759,09
Latacunga	3.763,64
Machachi	63,64
Pelileo	221,14
Riobamba	642,89
San Gabriel	177,27
Saquisilí	85,91
Toacazo	181,82

(Toapanta, 2012)

2.2.4. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL.

La composición nutricional de la zanahoria blanca varía de acuerdo a la variedad y a las zonas de cultivo. La **Tabla 7** detalla la composición nutricional básica de la zanahoria blanca (base seca).

Tabla 7. Composición nutricional de la zanahoria blanca (base seca).

Parámetros		Z. Blanca
Proteína	%	5,15
Lípidos	%	1,44
Cenizas	%	4,12
Carbohidratos	%	86,30
Fibra	%	3,05
Almidón	%	72,18

(Barrera et al., 2004)

2.2.5. PERFIL DE AMINOÁCIDOS.

El perfil de aminoácidos de la zanahoria blanca se observa en la **Tabla 8** donde los valores están expresados en mg de aminoácidos por gramo de nitrógeno presente.

Tabla 8. Perfil de aminoácidos de la zanahoria blanca.

Aminoácidos	Proteína (mg aminoácidos/g nitrógeno)
Histidina	...
Isoleucina	83
Leucina	237
Lisina	203
Metionina	179
Tirosina	186
Fenilalanina	386
Treonina	144
Triptófano	191
Valina	33,2

(Reinoso & Gutierrez, 2011)

2.2.6. ALMIDÓN.

El almidón aparece al microscopio compuesto de diminutas estructuras individuales llamadas «gránulos», cuyo tamaño y forma son característicos de cada especie como se muestra en la **Tabla 9**, la estructura rígida de estas partículas, está formada por capas concéntricas de amilosa y amilopectina, que se encuentran radialmente distribuidas (Barrera , Tapia, & Monteros , 2004).

Según (Ahmed et al., 2012) morfológicamente, el almidón consiste en gránulos principalmente esféricos que tienen diámetros que varían entre 1 y 150 μm dependiendo de su origen botánico.

Tabla 9. Tamaño y forma de los gránulos de algunas raíces y tubérculos andinos.

Tubérculo/raíz	Eje mayor (μm)	Eje menor (μm)	Forma
Oca	30,94 \pm 2,40	19,13 \pm 1,08	Ovoidal
Melloco	24,06 \pm 1,86	16,45 \pm 1,85	Ovoidal
Mashua	15,00 \pm 1,96	13,07 \pm 1,70	Esférica
Miso	13,88 \pm 1,07	9,96 \pm 1,00	Esférica
Zanahoria blanca	9,57 \pm 1,69	5,86 \pm 1,80	Esférica
Papa	30,90 \pm 1,23	19,72 \pm 1,70	Ovoidal

(Barrera , Tapia, & Monteros , 2004)

La **Tabla 9** reporta valores de los gránulos de almidón de la zanahoria blanca siendo estos pequeños y de forma esférica, en relación a las demás raíces y tubérculos. Barrera, Tapia & Monteros (2004) mencionan que algunas propiedades fundamentales de los almidones, como su mayor índice de absorción de agua (IAA) y el índice de solubilidad en agua (ISA), están relacionadas con el mayor tamaño de sus gránulos. De la misma manera Guy, (2001) afirma que las moléculas más pequeñas permiten mucho más flujo en las paredes de las células y causar un aumento de la expansión.

Cada almidón tiene un diferente grado de cristalización y por lo tanto se hincha y gelatiniza en distintas condiciones de temperatura. La temperatura a la que se pierde la birrefringencia y se produce el máximo hinchamiento de los gránulos de almidón se llama temperatura de gelatinización (Barrera , Tapia, & Monteros , 2004).

El almidón de la zanahoria blanca requiere una temperatura de 58 °C para llegar a gelatinizarse, condición en la cual los puentes de hidrógeno intermoleculares de las zonas amorfas se rompen y continúa la absorción de una mayor cantidad de agua (Barrera , Tapia, & Monteros , 2004).

2.2.7. AMILOSA Y AMILOPECTINA.

En la

Tabla 10 se observa el contenido de amilosa y amilopectina presentes en el granulo de almidón de la zanahoria blanca en comparación con algunos tubérculos y raíces que presentan características aceptables para realizar productos extruidos.

Tabla 10. Amilosa y amilopectina del almidón de Zanahoria Blanca (base húmeda)

Almidón	Amilosa (%)	Amilopectina (%)
Oca	30	70
Melloco	26	74
Mashua	27	73
Miso	21	79
Zanahoria blanca	20	80
Papa	28	72
Achira	27	73

(Barrera , Tapia, & Monteros , 2004)

Según Barrera, Tapia & Monteros (2004) el contenido de amilosa (20%), atribuye la característica de alta y fácil digestión. Es de notar también que presenta un alto contenido de amilopectina (80%), siendo esta la principal propiedad responsable del índice de expansión, siendo una excelente materia prima para la elaboración de alimentos extruidos

2.3. MATERIAS PRIMAS PARA EXTRUSIÓN.

Los ingredientes destinados a la extrusión tienen una significativa influencia sobre las condiciones en el interior del cilindro del extrusor y por tanto, sobre la calidad del producto extruido (Maskan & Altan, 2011)

Los alimentos extruidos son producidos a partir de una amplia gama de ingredientes similares en su naturaleza. Según (Guy, 2001) las principales materias primas en la obtención de productos extruidos son las harinas de maíz y trigo, no obstante los productos extruidos se forman a partir de biopolímeros naturales de las materias primas tales como harinas de cereales y tubérculos que son ricos en almidón y otras fuentes ricas en proteínas.

Otros productos de cereales obtenidos a partir de centeno, cebada, avena y trigo se utilizan en menor cantidad, principalmente para proporcionar un enriquecimiento nutricional o para mejorar el sabor o las características funcionales de los productos extruidos.(Mościcki, 2011)

De la misma forma, (Ramachandra & Thejaswini, 2015) afirma que las materias primas más utilizadas en el proceso de extrusión son aquellas que presentan en su composición un alto contenido de almidón y materiales basados en proteínas, ya que la estructura de los productos extruidos puede formarse a partir de polímeros de almidón o proteína.

2.3.1. CEREALES.

Todos los cereales contienen una gran proporción de almidón. En forma natural, el almidón es insoluble, insípido e inadecuado para el consumo humano, para que sea digestible y aceptable se debe cocinar (Kent's 2017).

El almidón de maíz y sorgo son similares y se usan debido a su bajo costo y fácil disponibilidad. Las variedades de maíz están disponibles con hasta 80% de amilosa. Estos almidones se comportan de una manera opuesta a la de los almidones cerosos. Los almidones cerosos se componen de una mayor proporción de amilopectina, y para este propósito se utilizan variedades específicas de maíz, sorgo y arroz. Estos almidones se utilizan para reducir la absorción de agua en los cereales y los alimentos horneados para que permanezcan crujientes durante algún tiempo en la leche o el agua. El maíz tiene un sabor fuerte que puede interactuar significativamente con los condimentos utilizados para bocadillos, pero el sorgo y el arroz no tienen este problema (Kent's 2017).

El almidón de arroz es caracterizado por su composición de gránulos muy pequeños mientras que el almidón de trigo forma geles que tienen menor viscosidad y una estructura blanda (Maskan & Altan, 2011).

2.3.2. RAÍCES Y TUBÉRCULOS.

Las raíces y tubérculos contienen almidón de excelente calidad para la elaboración de alimentos extruidos, debido a su sabor característico y buen poder de hinchamiento en presencia de agua. El agua es un factor importante para el proceso

de gelatinización del almidón, siendo suficiente mínimas cantidades para interactuar con el almidón durante la extrusión, para plastificar y formar la masa (Maskan & Altan, 2011).

Cabe mencionar que la mayor parte del proceso de extrusión para la fabricación de cereales expandidos se practica con contenido de humedad menor del 25%. La temperatura de gelatinización para los almidones de tubérculos es más alta, seguida de los almidones de las raíces, mientras que los almidones de cereales poseen la magnitud más baja. Se ha informado que la amilosa proporciona regularidad de ligereza, textura, elasticidad y una característica pegajosa a las extrusoras. Los productos con alto contenido de amilopectina son más duros y menos expandido (Maskan & Altan, 2011).

En estado crudo o nativo, el almidón existe en forma de gránulos y requiere tratamiento térmico en presencia de agua para que sea comestible y digestible. La tecnología de cocción por extrusión es ideal para este propósito, donde se produce una degradación mecánica para hacer este proceso más efectivo y útil. (Maskan & Altan, 2011) Las raíces y tubérculos son materias primas utilizadas para procesos de extrusión, donde las características físicas de los fluidos sólidos en el interior del extrusor y la calidad de los productos extruidos, se deben básicamente a la presencia del almidón, que se encuentran en concentraciones que oscilan entre 50 a 80% de los sólidos de la formulación de la mezcla (Guha & Ali, 2011). Durante la extrusión, las fracciones de almidón no cocidas se someten principalmente a gelatinización, dextrinización y cizallamiento de las cadenas de polímeros, aunque no se puede descartar la posibilidad de retrogradación (Maskan & Altan, 2011).

2.3.3. LEGUMINOSAS.

Son una fuente potencial valiosa de proteínas de buena calidad. El valor nutritivo de las proteínas leguminosas es bajo en comparación con las proteínas animales. Esto se ha atribuido a la mala digestibilidad, la deficiencia de aminoácidos azufrados y la presencia de compuestos antinutricionales. La extrusión de leguminosas permite la reducción de factores antinutricionales y por lo tanto mejora

la calidad nutricional a un costo menor que otros sistemas de calefacción debido a un uso más eficiente de la energía (Subaric, Jurislav, & Jozinovic, 2014).

Se demostró que la extrusión de leguminosas como habas, guisantes, garbanzos y frijoles mejora la digestibilidad de las proteínas in vitro, aumenta la disponibilidad de fósforo, reduce los taninos y los polifenoles y elimina los inhibidores de la tripsina y la α -amilasa. El tratamiento de las leguminosas por extrusión a 140 °C o 180 °C a 22% de humedad mejoró el valor nutritivo de las leguminosas estudiadas. La extrusión es de especial interés para incorporar frijoles "difíciles de cocinar" en los cereales (Subaric et al., 2014).

2.3.4. LOS SNACKS.

El mercado de bocadillos mediante la extrusión es enorme, con una variedad de formas, incluyendo tubos, ruedas, anillos. Inicialmente los bocadillos expandidos se basaban en el maíz, ahora son producidos a partir de papa, trigo, harina de arroz junto con mezclas de almidones no modificados (Maskan & Altan, 2012)

La producción de snacks es un sector notable de la industria alimentaria, ha evolucionado como parte de la tendencia hacia una mayor flexibilidad y la movilidad en los patrones de la vida diaria. Varios de los autores definen los snacks como "alimentos consumidos entre comidas regulares" (Lusas & Rooney, 2010).

"Snack" es una palabra inglesa que se puede traducir por bocadito o comida rápida. Son alimentos en porciones pequeñas, individuales, de fácil consumo, fácil manipulación, que no requieren preparación previa al consumo y que están destinados a satisfacer el hambre entre las comidas formales (Vilches, 2005).

Para la producción de alimentos tipo "snack", el maíz, trigo, centeno y arroz se utilizan como ingredientes básicos. Con el desarrollo de la tecnología de extrusión se presta especial atención al enriquecimiento de los productos extruidos con diferentes ingredientes como; proteínas, fibra dietética o compuestos bioactivos. Las propiedades físicas y sensoriales de los extruidos se ven fuertemente afectadas al agregar ingredientes ricos en proteínas o fibra. Si bien el almidón de maíz ofrece todas las características para la producción de bocadillos extruidos altamente

aceptables, su valor nutricional está lejos de satisfacer las necesidades de los consumidores conscientes de la salud (Subaric et al., 2014).

2.4. FUNCIONALIDAD DE LOS INGREDIENTES PARA LA EXTRUSIÓN.

Según (Guy, 2001) la mezcla compleja de materiales presentes en una formulación puede parecer muy complicado, por lo cual se realizó la agrupación de los ingredientes de acuerdo a su papel funcional utilizando un enfoque físico-químico.

2.4.1. MATERIALES QUE FORMAN ESTRUCTURA.

La estructura de un alimento extruido se crea mediante la formación de un fluido derretido a partir de biopolímeros y soplando burbujas de vapor de agua en el fluido para formar una espuma (Guy, 2001). La formación de materiales celulares inflados de baja densidad a partir de una masa gelatinizada en caliente es el resultado de la transformación física y química de materias primas de almidón y proteínas (biopolímeros) en una masa fundida, que, debido al rápido enfriamiento por evaporación, se convierte en una composición estructural en forma de panal. Los materiales de almidón más populares utilizados en los procesos de extrusión son: productos de cereales derivados del trigo, el maíz y el arroz, el almidón de patata y las hojuelas de patata secas (Mościcki, 2011).

2.4.2. MATERIALES QUE FORMAN LA FASE DISPERSA.

Los productos extruidos muestran una fase continua de polímeros de almidón. Sin embargo, varias fases dispersas se sitúan dentro de la estructura continua de almidón, formadas por cualquier proteína presente y por materiales fibrosos tales como la celulosa o salvado. Las proteínas pueden estar presentes en varias formas, dependiendo de los ingredientes utilizados, forman fases separadas dentro de la fase continua de almidón. Su tamaño y forma en un producto particular dependerá de su tamaño de partícula original y su resistencia al cizallamiento durante el procesamiento (Guy 2001).

La producción de las llamadas proteínas texturizadas, TVP (proteína vegetal texturizada) requiere materias primas de alto valor proteico responsables de la

formación de una estructura fibrosa, como los granos y la harina de soja desgrasada y la harina de girasol. Los materiales fibrosos que se encuentran en una formulación para la extrusión deberían incluir materiales compuestos de hemicelulosa, celulosa y derivados de lignina proveniente de las cáscarillas y salvado de granos y semillas. Estos materiales tienden a permanecer firmes y estables durante el procesamiento y no se reducen en su tamaño durante la extrusión (Mościcki, 2011).

2.4.3. MATERIALES PLASTIFICANTES Y LUBRICANTES.

Los plastificantes en una mezcla para extrusión son agua, aceites, lípidos y emulsionantes. El contenido de agua en la mezcla oscila entre el 10 y el 25% de la masa seca y simplifica el proceso al estimular el cizallamiento, lo que influye en la cantidad de energía térmica necesaria para el proceso. El agua añadida en cantidades superiores al 30% de la masa seca actúa como un disolvente para los polímeros de almidón, por lo que actúa como un agente dispersante para los gránulos de almidón (Mościcki, 2011).

Los niveles de cizalladura aplicados pueden reducirse por la presencia de aceites y lípidos. Estos materiales sirven para lubricar tanto las partículas que interactúan en la masa como las partículas que están friccionando contra las superficies metálicas de los tornillos y el barril. Al mismo tiempo producen grandes efectos sobre el procesamiento de almidón a niveles de 1-2% y niveles más altos pueden reducir la degradación del polímero de almidón de tal modo que no se obtiene la expansión de una formulación (Guy 2001).

Las funciones de lubricación se notan fácilmente durante la extrusión de mezclas con bajo contenido de agua cuando, en el caso de una mayor viscosidad, la superficie del material se sobrecalienta y se adhiere a las paredes del cilindro o al tornillo; esto puede conducir en última instancia al atasco del extrusor. Una pequeña adición de aceite vegetal, del 0,5 al 1%, protege contra la degradación de los carbohidratos y promueve el proceso de pre-gelatinización del almidón (Mościcki, 2011).

2.4.4. MATERIALES EMULSIONANTES.

Son fracciones de lípidos con una mayor temperatura de fusión, facilitan el cizallamiento y la formación de una superficie de extrusión uniforme, además de proteger contra la adherencia y, por lo tanto, facilitar el tratamiento adicional. Los emulsionantes más populares son la lecitina de soja y los ésteres mono y diglicéridos (Mościcki, 2011).

2.4.5. SUSTANCIAS NUCLEANTES.

Son sustancias que aumentan la nucleación de burbujas que aparecen en el fluido durante la extrusión en caliente. Se ha demostrado dos materiales conocidos que aumentan el número de burbujas presente en un extruido y mejora la expansión; Carbonato de calcio en polvo y el Silicato de magnesio (Guy 2001).

2.4.6. SUSTANCIAS AROMATIZANTES.

La aromatización de los productos extruidos sigue un patrón similar a la coloración, los compuestos de sabor se pueden añadir ya sea durante la extrusión o en operaciones secundarias posterior a la extrusión. En adición de precursores de la formación del sabor en reacciones térmicas pueden añadirse para formar sabores en la extrusora (Guy 2001).

2.5. DISEÑO Y CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXTRUSOR

2.5.1. PRINCIPIOS DE LA EXTRUSIÓN.

El proceso de extrusión que se utiliza en las industrias agroalimentarias, también puede ser utilizado para fabricar diferentes tipos de productos produciendo pocos o ningún efluente. En la actualidad, los extrusores se utilizan en una variedad de aplicaciones, como la fabricación de cereales para el desayuno, pasta, análogos de carne, productos de aperitivos, rellenos y comida para mascotas (Karwe, 2009).

Los extrusores consisten en uno o más tornillos encerrados en un barril de metal, unidos a un motor de accionamiento, una tolva en un extremo utilizada para alimentar materias primas, mientras que un dado o boquilla por el otro da forma al producto. Los extrusores se desarrollaron en la década de 1870 para fabricar

salchichas, la aplicación de extrusores de un solo tornillo evolucionó durante la década de 1930, cuando se usaba para mezclar harina de sémola y agua para hacer productos de pasta (Karwe, 2009).

La extrusión de alimentos es un proceso cada vez más importante y ampliamente aplicado en la industria, al mismo tiempo es un tema de amplia actividad de investigación científica y de ingeniería. Industrialmente, la extrusión es el proceso central en la producción de productos de pasta, bocadillos y productos de desayuno listos para el consumo (Roos & Livney, 2017).

Durante los últimos años de la década de 1930 y 1940, se hicieron rizos de maíz directamente expandidos usando extrusores que se caracterizaron por velocidades de corte extremadamente altas. La primera patente de una aplicación de tecnología de extrusión de doble tornillo se presentó a mediados de la década de 1950. Sin embargo, la aplicación de la tecnología de extrusión se amplió y creció de manera espectacular (Karwe, 2009).

2.5.2. LA EXTRUSIÓN.

Literalmente, la palabra "extrusión" es la acción de empujar el material a través de una apertura estrecha (Roos & Livney, 2017). La extrusión es un proceso continuo que involucra el trabajo y la compresión sobre un material para formar una masa semisólida, que en condiciones controladas es forzada a fluir a través de una abertura restringida (Perez & Torres, 2009).

La extrusión de alimentos es un proceso de alta temperatura y tiempo corto (HTST) por lo que se destruye drásticamente o totalmente microorganismos en el producto a la salida del extrusor. La extrusión permite una cocción rápida, continua y homogénea del producto, mediante un proceso termo mecánico durante un tiempo corto; esta tecnología permite mejorar o modificar propiedades funcionales como la solubilidad, formación de emulsión, la gelatinización en los alimentos, induce la formación de complejos entre lípidos y carbohidratos mejorando textura y características sensoriales, además desnaturaliza e inactiva factores anti nutricionales mejorando su aptitud posterior para el desarrollo de nuevos productos (Cerón, Legarda, Enríquez, & Portilla, 2016).

2.5.3. TIPOS DE EXTRUSORES.

Los extrusores vienen en varios diseños dependiendo de su aplicación, algunos son simplemente para transportar las materias primas, mientras que otros son para mezclar y amasar; sin embargo, la mayoría son para impartir energía mecánica y térmica a las materias primas para provocar los cambios fisicoquímicos deseados (Ramachandra & Thejaswini, 2015).

Existen varios tipos de extrusores que se clasifican según su función y su construcción.

Los extrusores, según su función se subdividen en extrusores en caliente o en frío y los extrusores por su estructura, en extrusores sencillos o de tornillos gemelos (Bressani, 2016).

2.5.3.1. Según su función.

Extrusión en caliente: se hace a temperaturas elevadas para evitar el trabajo forzado y hacer más fácil el paso del material.

Extrusión en frío: este tipo de extrusión tiene como ventaja sobre la extrusión en caliente, los buenos acabados en la superficie del material y la falta de oxidación en el producto. Es utilizada en un 100% para metales como el plomo, estaño, cobre, acero, etc.

2.5.3.2. Según su estructura.

Según Olaf & Perez (2009) los extrusores se clasifican según su estructura en extrusores de pistón, extrusores de rodillo, extrusores de tornillo.

Extrusores de un tornillo: contienen un solo tornillo giratorio, el cual se encuentra en el interior de un barril metálico, los tornillos simples generalmente constan de tres secciones, (1) alimentación o tolva; (2) transición o compresión (resistencias eléctricas, tornillo) (3) medición cabezal y boquilla (**Figura 5**). Los extrusores de un solo tornillo requieren una mezcla que no contenga harina o partículas finas mientras que los extrusores de doble tornillo toleran más finos en la mezcla.

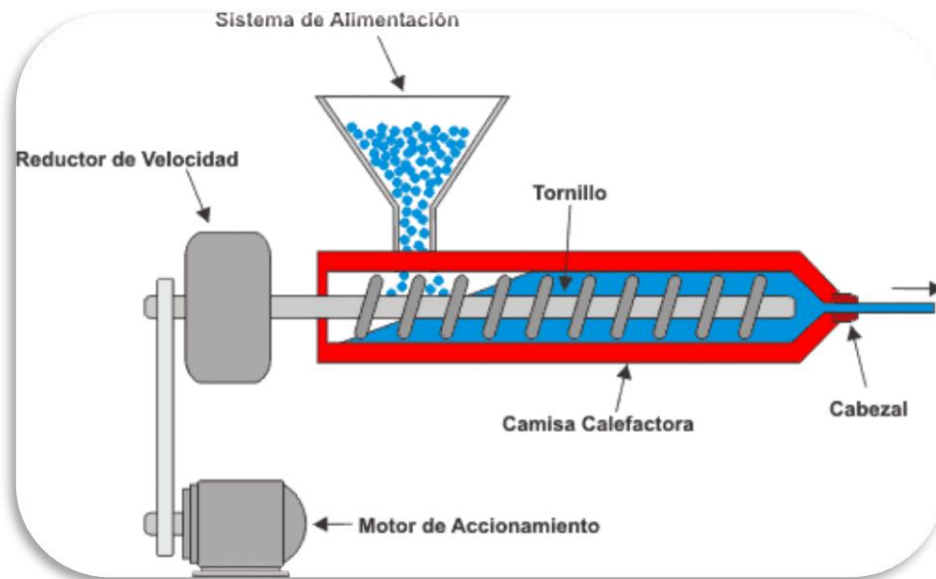


Figura 5. Estructura del extrusor de un solo tornillo.
(Bressani, 2016)



Figura 6. Extrusor de un solo tornillo
(Bressani, 2016)

La materia prima que ingresa en la tolva de alimentación debe ser de forma granular, mediante la acción giratoria del tornillo el material es transportado a la sección de transición. En la sección de transición el canal del tornillo se vuelve menos profundo y el material se compacta. Una gran parte de la energía mecánica se disipa en esta sección, dando como resultado un aumento en la temperatura del material. El almidón se gelatiniza y el material se vuelve más cohesivo y se

transporta más lejos por la sección de medición y empujó a través de la apertura del dado (Karwe, 2009).

Los extrusores de un solo tornillo **Figura 6** se pueden caracterizar adicionalmente dependiendo del grado de cizallamiento. Los niveles de alto cizallamiento causan la interrupción del almidón y moléculas de proteínas, que afectan su funcionalidad, como la solubilidad, la viscosidad y capacidad de retención el agua. Hoy, aproximadamente el 70% de las extrusoras en la industria alimentaria son de tornillo simple (Karwe, 2009).

El equipo de extrusión de alimentos trabaja en condiciones de humedad menores de 30% y niveles considerados altos en lípidos 5% y se pueden obtener productos alimenticios precocidos a partir de mezclas de cereales. Debido a su sencillez y resistencia de construcción se ha decidido llamarle a este tipo de maquinaria como extrusores de bajo costo (Perez & Torres, 2009).

Extrusores de doble tornillo: su introducción a la industria alimentaria para la extrusión data de mediados de la década de 1970. Es una máquina totalmente diferente a los extrusores de un solo tornillo, en condiciones de estructura, operación comportamiento y resultados. Existen ventajas comparativas del extrusor de doble tornillo sobre aquellos de un solo tornillo (Roos & Livney, 2017).

- Permite extruir mezclas más complejas.
- El intercambio de calor de la superficie del barril al material es más rápida y uniforme.
- Es una máquina mucho más versátil considerando que es flexible a configuración modular del tornillo y del cilindro
- Se pueden manipular materiales pegajosos y de alta humedad. Esta es probablemente la ventaja más importante, ya que permite el procesamiento de materiales que no podían ser manejados previamente por extrusores de un solo tornillo.
- La limpieza automática reduce el riesgo de acumulación de residuos.
- Los problemas de alimentación con materiales cohesivos son menos graves.

Además (Maskan & Altan, 2011) afirma que existen dos tipos de extrusores de doble tornillo dependiendo de la manera en que un tornillo rota con respecto al otro siendo; extrusores de rotación y contrarotación.

2.5.4. VENTAJAS DE LA EXTRUSION.

Según (Roos & Livney, 2017) existen ventajas de la extrusión frente a otros procesos, mismas que se describen a continuación.

- Es un proceso continuo de un solo paso y multifuncional, es decir que se pueden lograr varios efectos al mismo tiempo en el mismo extrusor.
- En el mismo extrusor con ciertas modificaciones se puede usar diferentes materiales, para diferentes propósitos, obteniendo una gran variedad de productos.
- Por su capacidad de producción, es relativamente compacto y requiere poco espacio para ubicación dentro de la planta de procesamiento.
- Se puede realizar fácilmente trabajos de automatización para mejoras del equipo.
- Requiere de mínimo trabajo o supervisión del operador de la maquinaria.
- El tiempo promedio de retención de la materia prima dentro del extrusor es generalmente corto.

Además según (Arias, Pérez, & Durán, 2007) el tratamiento térmico de la extrusión favorece la inactivación de esporas termofílicas y las reacciones de pardeamiento u oscurecimiento (reacciones de Maillard) alcanzan favorablemente la región de la extrusión. Esto es importante porque las reacciones de pardeamiento se relacionan con características sensoriales y nutritivas del producto que, obviamente, dependen de la temperatura, una de las variables más importantes a controlar.

2.5.5. OPERACIONES UNITARIAS EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN.

Es importante comprender el principio de funcionamiento del equipo de extrusión de alimentos para esto es necesario conocer todas las operaciones unitarias que se encuentran inmersas en el proceso.

2.5.5.1. Cocción.

La cocción por extrusión de productos alimenticios requiere la aplicación de calor por un determinado tiempo para completar reacciones deseadas, usualmente la gelatinización de almidones. El calor puede ser suministrado por conversión, convección o conducción. Los factores que se toma en cuenta en la cocción son la humedad, tiempo y temperatura (Perez & Torres, 2009).

2.5.5.2. Texturización.

La texturización está influenciada principalmente en la aplicación de corte en el extrusor y dado y con la expansión del producto a la salida de este (Perez & Torres, 2009).

2.5.5.3. Deshidratación.

Durante el proceso de extrusión se puede remover hasta un 8 % del producto por evaporación conforme sale del extrusor. Los productos que salen de la alta presión del extrusor están frecuentemente a temperaturas por encima del punto de ebullición y pueden perder una cantidad substancial por evaporación. Aunque esto no es propósito fundamental de la extrusión, es útil en el producto reduciendo la necesidad de secado por medios menos eficientes (Perez & Torres, 2009).

2.5.5.4. Mezclado.

El proceso de extrusión realiza una mezcla de materiales viscosos gracias a la presencia del tornillo giratorio, el cual es la parte es la parte posterior de este donde las corrientes de sólidos y líquidos se unen En extrusores de un solo tornillo requiere un buen mezclado requiere tornillos bien llenos para poder desarrollar corte a la salida (Perez & Torres, 2009).

Una de las funciones importantes del extrusor es la mezcla, con el objetivo de aumentar la homogeneidad de los contenidos. El mecanismo básico de mezcla consiste en mover partes del material en entre sí, en extrusores de tornillo simple, el movimiento en diferentes direcciones se produce principalmente debido a la existencia del flujo de presión (flujo de retorno), y en menor medida debido al flujo transversal (en la dirección x) dentro del canal de flujo. Por consiguiente, cualquier

factor capaz de reducir el reflujo (mayor viscosidad de fusión, menor gradiente de presión longitudinal, mayor apertura de la matriz) puede esperarse que disminuya la eficiencia de la mezcla. Los extrusores de doble tornillo son mejores "mezcladores" que los de un solo tornillo, debido a las configuraciones específicas de los tornillos (Roos & Livney, 2017).

2.5.6. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN.

Existen investigaciones que proponen factores importantes durante el proceso de extrusión entre ellos se describen los siguientes.

2.5.6.1. Formulación del alimento.

- Composición de la mezcla

La composición de la mezcla y las especificaciones para la alimentación al extrusor varían según el tipo de producto deseado y extrusor utilizado (Lusas & Rooney, 2010).

La mezcla es una función crítica del extrusor incluso cuando se procesa solo una corriente de polímero. Está determinada por el tiempo de residencia y la velocidad de corte al que está expuesto el fluido en la sección de mezcla del tornillo. Las matrices estructuradas que están formadas por los biopolímeros de almidón y proteína en las materias primas, como las harinas de cereales y tubérculos, son alimentos ricos en almidón, o materiales de soya, gluten de trigo y harina de pescado que son proteínas (Bouvier & Campanella, 2014).

- Humedad de la mezcla

El agua tiene un efecto significativo sobre la viscosidad de los materiales alimenticios. Además afecta la temperatura a la cual el almidón se gelatiniza o se derrite. Con la disminución de la viscosidad del fundido, la entrada de energía mecánica específica disminuye, dando como resultado un menor torque del motor, una temperatura del producto más baja y una mayor densidad del producto. En general, el efecto del contenido de humedad en la presión del troquel es mayor que el de la disminución de la temperatura resultante. Por lo tanto, la presión del troquel

generalmente disminuye al aumentar el contenido de humedad (Maskan & Altan, 2011).

2.5.6.2. Diseño del extrusor

- Diseño del tornillo

El aumento de la resistencia al flujo interno dentro del extrusor es mediante la colocación de elementos de restricción de flujo, como las paletas, tornillos de amasado neutros e inversos, aumentará el tiempo de retención. Esto aumentará la entrada de energía mecánica que requiere un mayor torque del motor y como resultado, una mayor temperatura del producto. La viscosidad del fundido en la placa del troquel disminuye, produciendo una presión más baja.

El aumento de la temperatura del producto proporciona una mayor expansión de vapor, lo que resulta en un extruido de menor densidad. La expansión radial puede no aumentar debido a la menor viscosidad, lo que resulta en un menor hinchamiento del extruido en la matriz (Maskan & Altan, 2011).

- Zonas del tornillo simple

En aplicaciones de extrusión de alimentos, el extrusor realiza las siguientes funciones de acuerdo a las secciones presentes en el tornillo como son: transportar y compactar los materiales de alimentación sólidos, plastificar/fundir o formar masa, y medir el producto fundido a través de un conjunto de matriz (**Figura 7**).

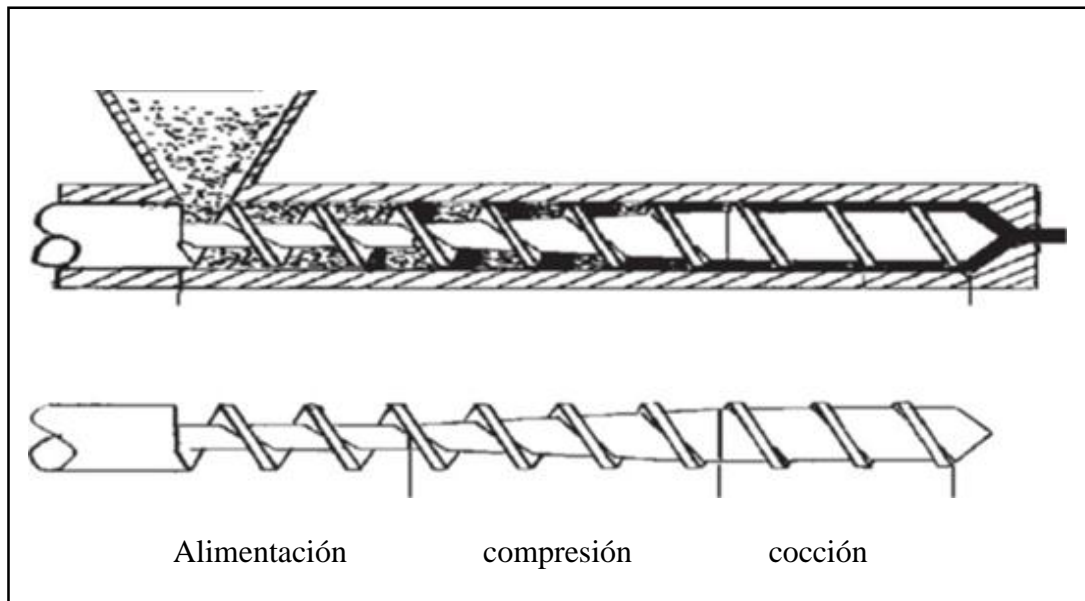


Figura 7. Zonas del tornillo

(Maskan & Altan, 2011).

Sección de alimentación: los ingredientes solidos utilizados en extrusores de alimentos tienen un tamaño de partícula relativamente pequeños (sémolas / polvos). Los extrusores de alimentos son alimentados primariamente para evitar problemas en la sección de alimentación. En la mayoría de extrusores, las ranuras del barril son para mejorar el transporte de los materiales dentro del barril. Los ingredientes solidos son transportados en los tornillos no llenados son similares a un flujo “tapón” por la acción de arrastre de la rotación del tornillo. En las secciones del tornillo completamente llenas, el mecanismo de flujo de solidos es probablemente diferente que a los descritos para extrusores termoplásticos. (Maskan & Altan, 2011).

El análisis de la sección de alimentación para la aplicación de extrusión termoplástica puede no ser directamente aplicable a extrusores de alimentos de alta velocidad. Sin embargo, al utilizar principios similares a aquellos utilizados en el análisis previo para minimizar la longitud de esta sección optimizando los diseños del tornillo y barril (Maskan & Altan, 2011).

Sección de compresión: los materiales son transformados en un fluido denominado masa a través de la hidratación cuando está presente una adecuada cantidad de agua sin la aplicación de calor. Este proceso es influenciado por la composición de la

formula y tamaño de la partícula, contenido de humedad, temperatura, presión y patrón de mezcla (Maskan & Altan, 2011).

El agua actúa como un plastificante, reduciendo las temperaturas de transición vítrea y fusión del almidón. Además actúa calentando la masa formada sobre una cierta temperatura y resultará la gelatinización /fusión del almidón. El último fenómeno envuelto en el hinchamiento del granulo de almidón (absorción de agua), resultando en un incremento significativo de la viscosidad (Maskan & Altan, 2011).

Con la disminución del contenido de humedad, se incrementan las temperaturas de transición vítrea y fusión de los materiales alimenticios sólidos. Por debajo del 30% de contenido de humedad, hay agua inadecuada para formar un material similar a la masa a una temperatura ambiente. En este caso, la formación de un material similar a un fluido puede ser llevado a cabo aplicando calor. Este proceso es similar a la plastificación de materiales termoplásticos, debido al hecho de que las partículas sólidas son mayormente cizalladas en lugar de estar en un lecho continuo. La fricción interpartículas juega un rol significativo en los procesos de calentamiento y fusión (Maskan & Altan, 2011).

La fusión formada en la mayoría de procesos de extrusión de alimentos es típicamente pseudoplastica o de adelgazamiento de cizalla. Las teorías de plastificación de flujos fundidos y patrones de mezclado desarrollados para materiales termoplásticos podrían ser aplicadas a la extrusión de alimentos (Maskan & Altan, 2011).

Sección de cocción: el comportamiento de los alimentos fundidos en la sección de cocción no es muy diferente de aquellos fundidos termoplásticos bajo similares condiciones de extrusión. Su reología es invariablemente pseudoplástica y la viscosidad disminuye con el incremento de la temperatura. La viscosidad es afectada también por el contenido de humedad, aceite y por cualquier cambio químico o estructural. Por lo tanto, la influencia del mezclado y el tiempo y temperatura es muy significativa sobre la cocción de los alimentos (Maskan & Altan, 2011).

- Relación diámetro/longitud (D/L)

Según (Maskan & Altan, 2011) existe una estrecha relación entre el diámetro y la longitud del extrusor considerando que el diámetro generalmente se determina a partir de la salida de producción requerida y la velocidad del tornillo de operación. Para una salida específica, cuanto menor sea la velocidad del tornillo, mayor será el diámetro del extrusor. Los principales factores que afectan la longitud del extrusor son:

- ✓ Energía total requerida para producir el producto deseado. Esto se puede estimar a partir del análisis del consumo de energía y las pérdidas del extrusor.
- ✓ La fórmula y la naturaleza de la viscosidad del fluido / fundido que generará posteriormente.
- ✓ La disponibilidad de vapor si se puede usar como un sustituto de parte del agua requerida para complementar la entrada total de energía.

Al aumentar la longitud del tornillo, es decir la relación L/D, incrementa la capacidad para fundir, mezclar y homogenizar a una velocidad de giro del tornillo determinada. Sin embargo, tornillos excesivamente largos son difíciles de construir y alinear dentro del cilindro, de modo que no resultan operativos (Beltrán & Marcilla, 2012).

- Diseño de la boquilla

Según (Ramachandra & Thejaswini, 2015) la boquilla (dados) cumplen dos funciones principales que son los siguientes:

- ✓ Promover resistencia al flujo del material dentro del extrusor permitiendo un aumento en la presión interna.
- ✓ Responsable de las formas del producto debido a la configuración del dado.

Así mismo (Arias et al., 2007) afirma que los “dados” o boquillas y herramientas de corte, son aspectos importantes para lograr la forma regular y homogénea de los productos extruidos, su uniformidad en apariencia, tamaño y peso. Esto se puede lograr mientras la masa fluya suave y constantemente a través del dado. Para lo cual

existe un papel muy importante; la regulación de las velocidades de extrusión y la cantidad de energía transmitida a la masa a la salida del extrusor y que esta energía se mantenga constante.

Los dados permiten la expansión rápida de la masa en varias formas y tamaños dependiendo de la configuración de dichos dados. Se realizó un estudio reciente para determinar los efectos de las dimensiones del dado en el rendimiento del extrusor. Los granos de maíz amarillo con 18% de contenido de humedad se cocinaron por extrusión en una extrusora de laboratorio de un solo tornillo a una temperatura de barril de 140 ° C. El diámetro de la boquilla varió de 2 mm a 6.2 mm y las longitudes de las boquillas de matriz variaron de 5.48 a 50.3 mm. El estudio concluyó que el diámetro del dado afectaba la expansión radial del extruido. Las expansiones axiales y generales no se vieron afectadas por el diámetro del dado. (Adekola, 2015).

El proceso de formación abarca pasar la masa fundida a través de una abertura de matriz o dados diseñados específicamente. Se produce una cierta caída de presión en la matriz, dependiendo de la geometría de la matriz, la viscosidad del fundido y el caudal. Desde el punto de vista de la formación del producto, la principal ventaja del deslizamiento de la matriz es la formación de una superficie del producto suave e intacta (Arias et al., 2007).

2.5.6.3. Condiciones del proceso.

- Caudal de alimentación.

Incrementando el caudal de alimentación con un aporte equivalente en las aberturas de las boquillas generalmente reduce el tiempo de retención medio en el extrusor. Esto resulta en variables más bajas, tales como: entrada de energía mecánica específica y temperatura del producto, al mismo tiempo provoca más altas viscosidades de los materiales en la boquilla y densidad del producto extruido. El torque del motor se incrementa pero no linealmente con el caudal de alimentación.

La caída en la entrada de la energía mecánica específica podría ser explicada por el hecho que la longitud total de fusión del material no se incrementa linealmente con el caudal de alimentación, solamente se incrementa en las secciones de transporte

hacia adelante. La longitud de relleno de las secciones restrictivas permanece constante independientemente del caudal de alimentación (Maskan & Altan, 2011).

- Velocidad del tornillo

La velocidad de cizalladura está influenciada directamente por el diseño interno del tornillo del extrusor, específicamente su longitud, su velocidad y geometría del tornillo (Fellows, 2000).

La velocidad regulada del tornillo, permitirá que la masa que se está formando en el interior del tornillo, tenga la consistencia y apariencia adecuada para que pueda ser agradable y consumible (Bressani, 2016).

Debido a estos parámetros de maquinaria o tipo de extrusor esta investigación tomara como constante la velocidad de cizalladura (126 rpm) tomando en cuenta consideraciones establecidas en base al diseño del extrusor.

- Tiempo de residencia (RT)

El tiempo de residencia se convierte en un parámetro importante del proceso, se refiere principalmente a la cantidad de tiempo durante el cual el material procesado o partes de él se someten a un tratamiento determinado. Donde reacciones químicas importantes, como la gelatinización del almidón, la hidrólisis de los carbohidratos y péptidos, desnaturalización de proteínas y reacciones de Maillard, tienen lugar durante la cocción por extrusión. La ruta de cada partícula de material en un extrusor continuo es demasiado compleja para el tratamiento analítico. Por lo tanto, se han desarrollado modelos simplificados de comportamiento del reactor. Dos de estos modelos y sus variaciones se han propuesto para predecir RT en extrusoras (Roos & Livney, 2017).

2.5.7. COMPONENTES QUE INFLUEYEN EN LA EXTRUSIÓN.

La estructura de los productos extruidos depende en gran parte de la composición estructural de los materiales que ingresan al proceso.

2.5.7.1. Almidón.

Es un hidrato de carbono, es parte fundamental de la dieta del hombre desde la prehistoria, además de que después de la celulosa es el polisacárido más abundante

e importante desde el punto de vista comercial. Se encuentra en cereales, tubérculos y en algunas verduras y frutas como polisacárido de reserva energética (Badui, 2012).

El almidón presenta amilosa (polímero lineal soluble) y amilopectina (ramificada). La amilosa ofrece textura quebradiza mientras que la amilopectina promueve el inflado. El almidón es insoluble en agua fría, mientras que cuando se lo calienta con agua, la absorbe, se hincha y revienta; este fenómeno se denomina gelatinización. Para tener un producto inflado y quebradizo es recomendable tener de 5 a 30 % de amilosa (Perez & Torres, 2009).

La amilopectina es el polímero más abundante, tiene un peso molecular de hasta 10^8 D, que da propiedades de flujo pobres en las paredes celulares de gas y una baja expansión. Sin embargo, el uso de altos niveles de cizallamiento mecánico durante la cocción de extrusión puede reducir la masa molecular media de AP a $< 10^6$ D. Las moléculas más pequeñas permiten mucho más flujo en las paredes de las células de gas y causar un aumento de la expansión (Guy, 2001).

2.5.7.2. Humedad.

El agua tiene un efecto significativo sobre la viscosidad de los materiales alimenticios. Además afecta la temperatura a la cual el almidón se gelatiniza o se derrite. Con la disminución de la viscosidad del fundido, la entrada de energía mecánica específica disminuye, dando como resultado un menor torque del motor, una temperatura del producto más baja y una mayor densidad del producto. En general, el efecto del contenido de humedad en la presión del troquel es mayor que el de la disminución de la temperatura resultante. Por lo tanto, la presión del troquel generalmente disminuye al aumentar el contenido de humedad (Maskan & Altan, 2011).

También Olaf & Perez (2009) definen que la maquinaria de extrusión trabaja en condiciones de humedad menores del 20% y a niveles considerados altos en lípidos 5% en las materias primas para extrusión.

El contenido de humedad del maíz es importante porque determina la cantidad de materia seca adquirida, procedimientos requeridos, almacenamiento y manejo propiedades de cocción y condiciones de procesamiento (Lusas & Rooney, 2010).

El agua afecta todo por lo que debe estar perfectamente controlada, pues también afecta el contenido de humedad, así como el consumo de energía del extrusor y otras variables. La expansión del producto final está inversamente relacionada con la humedad de la materia prima y directamente relacionada con el aumento de la temperatura de extrusión. En los productos extruidos con alta humedad, la expansión ocurre cuando el producto sale de la matriz, pero la estructura se colapsa antes del enfriamiento necesario, lo que resulta un producto denso y duro (Perez & Torres, 2009).

2.5.7.3. Proteínas.

Las proteínas son biopolímeros con un gran número de grupos químicos en comparación con los polisacáridos y por lo tanto son más reactivos y sensibles a muchos cambios durante el proceso de extrusión. El uso de materias primas con contenidos altos de proteínas en extrusión comenzó alrededor de la década de 1970, con el uso de la soja para la producción de productos de soja texturizada y análogos de carne (Joy de Acero, Vernaza, Schmiele, Ferreira, & Chang, 2002).

La extrusión puede tener beneficiosos y efectos negativos en el valor nutricional de las proteínas. Durante la extrusión los constituyentes químicos del material de alimentación están expuestos a alta temperatura, alta cizalla y alta presión que puede mejorar o perjudicar la calidad nutricional de proteínas en los materiales extruidos por diversos mecanismos (Brennan, 2012).

De la misma manera (Joy de Acero et al., 2002) afirman que la desnaturalización durante el proceso de extrusión de los resultados de proteínas en la reducción de la solubilidad de la proteína, favorece la digestibilidad y la inactiva factores anti nutricionales tales como el factor de antitripsina, lectinas, etc.

La proteína es un índice de almidón (cuanto más alta es la proteína, menor es el almidón) y puede afectar la expansión a niveles más altos (Lusas & Rooney, 2010). Además, la mayoría de las lectinas resisten el rompimiento enzimático digestivo.

Al ligarse a receptores de la superficie del tracto digestivo provocan un deterioro en el transporte de nutrientes a través de la pared intestinal; afectan a las células endocrinas y con ello a la producción hormonal intestinal; causan hipertrofia e hiperplasia intestinales (Cabrera, 2013).

2.5.7.4. Lípidos (Grasas)

Los lípidos tienen una influencia poderosa en la extrusión actuando como lubricantes, ya que reducen la fricción entre las partículas en la mezcla y entre las superficies del tornillo, el barril y el fluido fundido (Ramachandra & Thejaswini, 2015).

La presencia de los lípidos en la materia prima en cantidades menores al 3% no afecta a las propiedades de expansión, sin embargo, en cantidades superiores al 5%, la reducción en la tasa de expansión es considerable (Joy de Acero et al., 2002).

Cuando los lípidos están libres (sin que funcione como complejo con otros ingredientes), actúan como lubricantes, reduciendo la conversión mecánica de energía en el extrusor, así como la expansión. Por esta razón es importante controlar el nivel de lípidos ya que en algunos casos puede afectar drásticamente al producto (Perez & Torres, 2009).

También Maskan & Altan (2012) afirman que la producción de productos expandidos altos en lípidos es difícil convirtiéndose en un desafío extruir alimentos que contienen más del 10% ya que reducen la cizalladura dentro del cilindro del extrusor. Además los lípidos, dependiendo del tipo y concentración son agentes reductores de la viscosidad y en altas concentraciones puede causar el desmoldeo de producto extruido a la salida de la boquilla.

Según (Cheftel, 1986) los niveles altos en lípidos evitan la expansión, por el contrario, los niveles de lípidos pequeños 5% facilitan la extrusión constante y mejoran la textura. Los extruidos pueden considerarse alimentos bajos en calorías. El valor nutricional de los lípidos podría verse afectado durante la extrusión como resultado de la oxidación, hidrogenación, isomerización o polimerización. La extensión de la hidrogenación y la isomerización de los ácidos grasos que tiene lugar durante la extrusión son pequeña para ser nutricionalmente significativa.

2.5.7.5. Fibra

Hay un creciente interés en aumentar el contenido de fibra dietética de los alimentos desde el punto de vista de la salud. La adición de fibra en la formulación afecta las características de textura, aumenta la dureza de los productos con ello disminuye la expansión de los extruidos (Brennan, 2012).

El efecto de la fibra no es consistente, en unos casos a partir de determinadas concentraciones provoca el aumento de la viscosidad del material y la entrada de la energía mecánica durante la extrusión. Sin embargo, el aumento de fibra en el material causa el incremento de la densidad y disminuye la expansión del producto extruido (Maskan & Altan, 2011).

2.5.7.6. Calidad microbiológica.

Uno de los requisitos que deben tener los alimentos es la seguridad microbiológica, la mayoría de los productos extruidos convencionales, como los aperitivos y los cereales para el desayuno, son seguros comer porque las materias primas están sometidas a altas temperaturas ($>110^{\circ}\text{C}$). La mayoría de los organismos como las levaduras y mohos se destruyen en condiciones de extrusión típicas ($55\text{-}145^{\circ}\text{C}$) (Ramachandra & Thejaswini, 2015).

Por esta razón esta investigación no se enfocó en realizar análisis microbiológicos ya que todos los análisis se realizaron inmediatamente después de salir el producto extruido.

2.5.8. CAMBIOS NUTRICIONALES DURANTE LA EXTRUSIÓN.

Los principales cambios físico-químicos que se producen durante el proceso de extrusión son en el almidón, proteínas, lípidos, carbohidratos, en la fibra, vitaminas.

2.5.8.1. Almidón.

Una vez que las materias primas entran al extrusor, a temperaturas relativamente altas, los gránulos de almidón se derriten y se vuelven blandos, cambia su estructura que está comprimida a una forma aplanada y se produce la gelatinización del almidón a una humedad muy baja de (12-22%). La aplicación de calor, la acción

de cizalla y el contenido de agua en el gránulo de almidón destruyen la estructura organizada (Ramachandra & Thejaswini, 2015).

De igual manera (Valenzuela, Morales, Palazuelos, Valenzuela, & Hernandez, 2011) afirman que la gelatinización ocurre cuando el almidón es calentado en exceso de agua. La gelatinización o cocimiento de almidones es la conversión de un almidón crudo e indigerible a un almidón digerible, mediante la aplicación de humedad y calor.

Gelatinización del almidón: la mayor parte de las propiedades físicas del producto final dependen del grado de transformación (plastificación o gelatinización) del ingrediente principal, que es el almidón. Por eso es importante tratar de entender el comportamiento del almidón cuando se somete a las condiciones de humedad y calor en el extrusor para alcanzar ese estado plástico tan importante (Arias et al., 2007).

La gelatinización ocurre en un rango de temperaturas, que dependerá de la fuente de procedencia de la materia prima, además del hinchamiento de las moléculas de almidón en la harina, la cristalización va disminuyendo por el rompimiento de dobles enlaces que se encuentran presentes en la estructura, la amilosa comienza a formar un gel que contendrá amilopectina. Esta propiedad, está definida como la pérdida de semicristalinidad de los gránulos de almidón en presencia de calor y de agua, con poca o nula presencia de despolimerización (Bressani, 2016).

La gelatinización (plastificación) del almidón se ve favorecida en extrusores de doble tornillo de intermezclado cónico usando un esfuerzo de corte relativamente bajo, por la buena transferencia de energía que se tiene. Una gelatinización similar se puede alcanzar con un tornillo simple, con un torque mayor que se logra por su diseño y su construcción (Arias et al., 2007).

La gelatinización de los almidones ocurre cuando el agua es absorbida por los gránulos de almidón resultando un cambio en la conformación de la estructura de los polímeros (amilosa y amilopectina). Como resultado de la gelatinización, los almidones son más susceptibles a la degradación mecánica, particularmente durante

el proceso de extrusión, y los distintos gránulos pueden romperse para producir una mezcla homogénea de polímeros fragmentados (Valenzuela et al., 2011).

Los polímeros de almidón son dispersados y degradados para formar fluido continuo, conservando burbujas de vapor de agua hasta la ruptura de la estructura celular. Las paredes celulares de polímero de almidón retroceden y se vuelven rígidas a medida que se enfrían para estabilizar la estructura extruida. Finalmente, el polímero de almidón se vuelve vidrioso a medida que se elimina la humedad, formando un material duro quebradizo (Ramachandra & Thejaswini, 2015).

Existen múltiples verificaciones en varios trabajos que el monómero D-glucosa y los dos tipos de enlaces alfa (1-4) y alfa (1-6) no son modificados por la extrusión. El nivel de degradación puede expresarse por la relación entre las viscosidades intrínsecas del producto final y de la materia prima. Durante la cocción por extrusión, el almidón que presenta inicialmente una forma granular, es progresivamente comprimido y transformado en un material denso, sólido y compacto, desapareciendo su estructura cristalina y granular, esta destrucción puede ser parcial o completa, dependiendo de las variables de extrusión, tales como el contenido de humedad y cizallamiento, y también de la relación de amilosa / amilopectina del almidón en uso (Ramirez, 2017).

La estructura de productos expandidos por extrusión depende principalmente de la gelatinización del almidón y de la subsiguiente expansión del vapor de agua originada por la caída de presión en la salida del material por la matriz del extrusor. La presión dentro del extrusor aumenta debido a la restricción en la zona de descarga del mismo, donde la presión varía de 30 a 110 bar, cuando el almidón fundido sale por la matriz, el paso repentino de la humedad interna a estado gaseoso, debido a la caída de presión, causa una expansión del producto (Ramirez, 2017).

2.5.8.2. Proteínas.

Las proteínas en los alimentos extruidos son ingredientes de relleno, dispersándose en la mezcla fundida durante la extrusión, modificando el comportamiento del flujo y las características del extruido durante el enfriamiento. Las proteínas se hidratan

durante el mezclado, convirtiéndose en una masa viscoelástica durante la fusión de la mezcla en la extrusión (Brennan, 2012).

Las fuerzas de cizallamiento durante la extrusión provocan la ruptura de los enlaces covalentes de las proteínas en pequeñas partículas cilíndricas y globulares. En proporciones del 5 al 15% de la mezcla, las proteínas reducen la extensibilidad de la burbuja del almidón al salir de la boquilla, reduciendo la expansión de los productos (Brennan, 2012).

Los cambios en las proteínas dependen de la temperatura, humedad, velocidad de cizallamiento, tiempo de residencia y sus interacciones, la naturaleza de las propias proteínas, y la presencia de materiales tales como carbohidratos y lípidos. (Brennan, 2012).

(Brennan, 2012) menciona que los efectos de los aislados de proteínas de lacto suero mezclados con almidón de maíz en proporciones entre 0 a 20% durante la extrusión a diferentes condiciones de temperatura, velocidades de tornillo y contenidos de humedad, mostraron que el aumento de la temperatura provocaba una mayor interacción entre el almidón y la proteína. Asimismo, los resultados indicaron que la mezcla con proteína tuvo una reducción del 30% de la expansión con relación a la extrusión únicamente de almidón. Según algunos autores este efecto en la reducción de la expansión se debe posiblemente a las modificaciones viscoelásticas de la masa fundida por la competición del agua disponible entre el almidón y las proteínas, provocando el retraso de la gelatinización del almidón.

El proceso de extrusión contribuye con la desnaturalización de las proteínas mejorando su digestibilidad, pues estas son muy vulnerables al calor a temperaturas superiores 60°C, ocurren cambios en la estructura nativa de la proteína dado lugar a varias reacciones químicas en la propia molécula proteica, o bien entre distintas proteínas, además participan con los hidratos de carbono (sobre todo los azúcares reductores), en la reacción de Maillard (Cerón, Legarda, Enríquez, & Portilla, 2016).

Tras la desnaturalización, la mayoría de las proteínas incluidas las enzimas y los inhibidores enzimáticos, pierden actividad. El grado de desnaturalización a menudo

se estima mediante cambios en la solubilidad de las proteínas en agua o soluciones acuosas (Maskan & Altan, 2011).

La desnaturalización de proteínas a configuraciones aleatorias mejora la calidad nutricional al hacer que las moléculas sean más accesibles para las proteasas y, por lo tanto, más digeribles. Además, la digestibilidad de las proteínas también aumentará debido al procesamiento de extrusión que reduce el nivel de factores antinutricionales, como los inhibidores de la tripsina, los fitatos, los taninos y las lectinas. La destrucción de los factores antinutricionales se ve favorecida por las altas temperaturas del barril, el aumento del tiempo de residencia y el alto contenido de humedad. Asimismo el cizallamiento producido durante la extrusión contribuye a la ruptura de enlaces disulfuro nativos en la mayoría de las proteínas (Brennan, 2012).

La temperatura alta del barril y la humedad baja promueven las reacciones de Maillard durante la extrusión. Además, los azúcares reductores, incluidos los formados por el cizallamiento del almidón y la sacarosa, pueden reaccionar con la lisina, lo que reduce el valor nutricional de la proteína. Dado que, la lisina es el aminoácido esencial limitante en los cereales, las pérdidas adicionales de este nutriente de los alimentos extruidos podrían retrasar el crecimiento en niños (Maskan & Altan, 2011).

La reacción de Maillard puede tener lugar durante la extrusión de alimentos con proteínas que contienen azúcares reductores. La reacción química entre los azúcares reductores y un grupo amino libre en un aminoácido tiene importantes consecuencias nutricionales y funcionales para los productos extruidos. Las reacciones de Maillard pueden provocar una disminución en la calidad de la proteína, al reducir la digestibilidad (Brennan, 2012).

La cantidad y el tipo de azúcares presentes en la matriz alimentaria influyen en la estabilidad de los aminoácidos durante la extrusión. A diferencia de los almidones y los lípidos, la proteína es el único macronutriente donde siempre se prefiere una mayor digestibilidad, ya que la proteína es esencial para el crecimiento y desarrollo de los tejidos magros. La alta digestibilidad de las proteínas es especialmente

importante para los alimentos de destete y otros alimentos que consumen los niños (Maskan & Altan, 2011).

Durante la extrusión los enlaces disulfuro de las proteínas se rompen y las interacciones electrostáticas e hidrofóbicas favorecen la formación de agregados insolubles (Bressani, 2016)

Las proteínas son biopolímeros con una gran cantidad de grupos químicos en comparación con polisacáridos y, por lo tanto, son más reactivos y experimentan muchos cambios durante la extrusión proceso, siendo la desnaturalización más importante. Durante la extrusión, los enlaces disulfuro son roto y puede volver a formarse. Las interacciones electrostáticas e hidrofóbicas favorecen la formación de agregados insolubles La creación de nuevos enlaces peptídicos durante la extrusión es controvertida (Ramachandra & Thejaswini, 2015).

La extrusión produce el desenredamiento de las cadenas proteicas vegetales y las moléculas se alinean a largo de la matriz. En ausencia de cantidades importantes de almidón, la extrusión reduce la solubilidad de la proteína cuando la temperatura aumenta, a medida que la temperatura se va elevando, la proteína se perjudica gradualmente (**Figura 8**). Muchas proteínas son desnaturalizadas y rotas por la extrusión y pierden por tanto sus propiedades funcional (Valls, 1993).

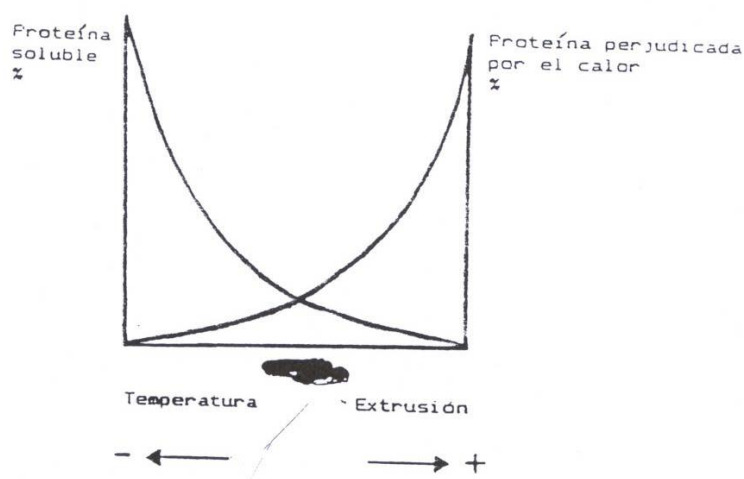


Figura 8. Efecto de la temperatura de extrusión sobre los porcentajes de proteína soluble y dañada por calor.

En materiales con elevado contenido en almidón, la proteína queda dentro de la matriz formada por el almidón, con lo que queda enredada y encapsulada. Sin embargo las enzimas digestivas del tracto intestinal disuelven la matriz de almidón, liberando la proteína (Valls, 1993).

2.5.8.3. Lípidos (grasas).

Los lípidos en el proceso de extrusión se emulsifican, debido a la presión inyectada con el agua, esto causa un efecto encapsulador de lípidos en el alimento (Bressani, 2016).

Los lípidos que contienen los cereales, durante la extrusión sufren un proceso de emulsión debido a la fuerte presión que reciben las finas gotas de lípidos y son recubiertas por los almidones y proteínas, quedando los lípidos encapsulados. Los lípidos al ser emulsionados son más atacables por los jugos digestivos, aumentando por tanto la energía del producto. Generalmente las lipasas y peroxidasas son inactivadas durante el proceso de extrusión en condiciones normales, mejorando la estabilidad posterior del producto (Valls, 1993).

Según (Cheftel, 1986) se produce la inactivación de lipasa y lipoxidasa lo cual ayuda a proteger contra la oxidación durante el almacenamiento, pero la porosidad de los alimentos expandidos es perjudicial con respecto a la rancidez.

2.5.8.4. Carbohidratos.

El control de las reacciones de carbohidratos durante la extrusión es fundamental para la calidad nutricional y sensorial del producto, ya que estas moléculas representan una parte importante de muchos alimentos extruidos (Maskan & Altan, 2011).

La digestibilidad del almidón influye directamente en la cantidad de energía que puede derivarse de los alimentos. Los humanos y otras especies de animales monogástricos no pueden digerir fácilmente sin gelatinizar almidón. Algunas personas, como los bebés, requieren alimentos fácilmente digeribles para adquirir máxima energía, mientras que las personas obesas pueden beneficiarse al consumir un alimento saciante que contiene almidón resistente a la digestión (Maskan & Altan, 2011).

La gelatinización ocurre a niveles de humedad mucho más bajos (12% a 22%) durante la extrusión que en otras operaciones de alimentos. La tasa de gelatinización tiende a aumentar con el aumento de la temperatura de masa, el corte y la presión. Otros compuestos alimenticios, particularmente lípidos, fibra dietética y sales, también afectan la gelatinización (Maskan & Altan, 2011).

El paso a través del cilindro del extrusor puede cortar las ramas de amilopectina, pero tanto la amilosa como la amilopectina pueden sufrir reducciones en el peso molecular. Las moléculas de amilopectina de maíz más grandes experimentan la mayor reducción de peso molecular (Maskan & Altan, 2011).

2.5.8.5. Fibra.

En el proceso de extrusión la fibra sufre cambios en su estructura y propiedades fisicoquímicas siendo el efecto principal una redistribución de fibra insoluble a fibra soluble debido a la ruptura de enlaces covalentes y no covalentes entre carbohidratos y proteínas asociadas a la fibra, resultando pequeños fragmentos moleculares, que serían más solubles (Ramachandra & Thejaswini, 2015).

La extrusión rompe mecánicamente los enlaces glucosídicos en los polisacáridos de fibra dietética total, lo que lleva a la liberación de oligosacáridos y, por lo tanto, al aumento de fibra dietética soluble (Brennan, 2012).

Según (Yagc & Fahrettin, 2007) la fibra a diferencia de las proteínas y almidón, es un polisacárido que se une fuertemente al agua durante la extrusión, inhibiendo la pérdida de agua en la matriz, por lo tanto, se reduce la expansión y aumenta la densidad aparente.

2.5.8.6. Vitaminas.

Cada vitamina tiene sus propias características de estabilidad durante los procesos térmicos. Los efectos en la estabilidad en las vitaminas durante la extrusión son complicados debido a la acción de la humedad, fricción y altas temperaturas y presiones (Valls, 1993).

Las vitaminas liposolubles A, D y E, en general, son razonablemente estables durante la extrusión. El nivel de humedad del producto durante la extrusión tiene el

mayor efecto sobre la retención de vitaminas. Como norma general, alto nivel de humedad en el proceso da más vitaminas retenidas. Las vitaminas hidrosolubles, como la vitamina C o del grupo B, pueden perder estabilidad durante la extrusión. La extrusión húmeda produce una pérdida de vitamina C y tiamina (Valls, 1993).

(Roos & Livney, 2017) Afirman que los nutrientes sensibles como las vitaminas se degradan durante el proceso de extrusión, dependiendo del tipo de vitamina, la formulación, el procesamiento y las condiciones usadas.

Según (Cheftel, 1986) existe aproximadamente de 20% a 40% de pérdidas de vitamina C durante la extrusión, probablemente como resultado de la oxidación mejorada a alta temperatura. En los extrusores, un incremento en la velocidad del tornillo puede aumentar la destrucción de vitaminas con poca humedad (debido a los aumentos locales de temperatura inducidos por el corte), pero puede disminuir la destrucción con mayor humedad (porque la disminución en el tiempo de residencia ejerce un efecto predominante).

2.6. PARÁMETROS DE CALIDAD EN LOS EXTRUIDOS.

2.6.1. INDICE DE EXPANSIÓN (IE).

La expansión es un importante parámetro de calidad en términos de propiedades funcionales y aceptabilidad del producto final. La expansión de productos expandidos se lleva a cabo por el incremento de la fricción dentro del equipo usualmente debido a la combinación de la humedad y la temperatura para obtener una masa viscoelástica, obteniendo un incremento en la viscosidad del material, causando así un diferencial de presiones entre el equipo y el medio ambiente, esto produce la pérdida de la humedad de manera repentina e instantáneamente el material extrudido se expande a la salida del extrusor (Valenzuela et al., 2011).

Los productos no se expanden si la temperatura no alcanza los 100 °C. La expansión aumenta con el incremento de la temperatura, y cuando el contenido de humedad del material está cerca del 20%, debido a la menor viscosidad, permitiendo una expansión más rápida de la masa fundida, o debido a un aumento en la presión de vapor de agua (Ramachandra & Thejaswini, 2015).

Según Ramirez (2017) la amilosa conduce a tener productos más duros y menos expandidos. Por esta razón no se recomiendan almidones con un nivel de amilosa del 5-20%, para obtener extruidos adecuadamente crocantes y de textura aceptable.

A temperaturas bajas de extrusión, la expansión se reduce porque el almidón no se funde completamente. El grado de expansión es proporcional a la temperatura hasta un cierto valor, por lo que disminuye a temperaturas mucho más altas. La reducción de la expansión a temperaturas muy altas se atribuye a un aumento en la dextrinización, el debilitamiento estructura de almidón (Ramachandra & Thejaswini, 2015).

La cantidad de amilosa y amilopectina influyen directamente sobre la expansión de los productos extruido Según Perez (2009). El procesamiento, composición de la dieta y el contenido de humedad, influyen usualmente en el índice de expansión, ya que dictan el tipo y el grado de modificaciones físicas y químicas que tienen lugar durante la extrusión. Además a medida que aumenta el contenido de proteínas, la acción de la fuerza de corte dentro del barril puede interrumpir las interacciones con los componentes y limitar la extensibilidad de la masa durante la expansión en la salida del dado, disminuyendo el índice de expansión (Rodríguez, y otros, 2014).

La presencia de otros componentes tales como las proteínas y las variables de proceso como, la fuerza de cizalla durante la extrusión y la acción simultánea de la temperatura también pueden afectar las propiedades funcionales de los extruidos. A medida que aumenta el contenido de proteínas, la acción de la fuerza de corte dentro del barril puede interrumpir las interacciones con los componentes y limitar la extensibilidad de la masa, disminuyendo el índice de expansión (Rodríguez, y otros, 2014).

La fibra también influye en la expansión según lo reportado por Yagc & Fahrettin (2007) los polisacáridos no amiláceos en fibra pueden unirse al agua más estrechamente durante la extrusión que las proteínas y el almidón. Esta unión puede inhibir la pérdida de agua en la matriz y por lo tanto reducir la expansión y, por lo tanto, probablemente aumentar la densidad aparente.

2.6.2. DENSIDAD APARENTE (DA)

La densidad aparente es inversamente proporcional al índice de expansión, además depende de la formulación de ingredientes, la temperatura y velocidad de tornillo del extrusor. La presencia de lípidos y proteína, son factores que disminuyen el índice de expansión y aumentan la densidad aparente. También cabe mencionar que la DA disminuye al incrementar el contenido de amilosa (Valenzuela, y otros, 2016).

De la misma forma Yagc & Fahrettin (2007) menciona que el aumento de fibra y proteína en la mezcla pueden afectar el alcance de la gelatinización del almidón, por lo tanto las propiedades reológicas del material fundido en el extrusor. En definitiva los polisacáridos no amiláceos en fibra pueden unirse al agua más estrechamente durante la extrusión que las proteínas y el almidón, esta unión puede disminuir la pérdida de agua en la matriz y por lo tanto reducir la expansión y probablemente aumentar la densidad aparente del extruido.

2.6.3. ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA (ISA).

Las principales propiedades funcionales de los almidones extruidos, son la absorción de agua y la solubilidad en agua. Como es conocido, el almidón nativo casi no absorbe agua a temperatura ambiente y su contribución a la viscosidad es prácticamente cero. Sin embargo, el almidón extruido absorbe agua rápidamente, formando una pasta a temperatura ambiente, sin ningún calentamiento. Esta pasta está formada por las macromoléculas solubilizadas y también incluyen partículas entumecidas por agua (gel). Estas propiedades están fuertemente influenciadas por el tamaño de partícula: cuanto más pequeñas las partículas, mayores serán la velocidad y el nivel de solubilización. Tanto los valores de IAA como los de ISA pueden ser interpretados en base a las interacciones de almidón, las cuales son gobernadas por la estructura de la fase sólida del almidón procesado (Ramirez, 2017).

El índice de absorción el agua (IAA) y el índice de solubilidad en agua (ISA) se puede utilizar para caracterizar el grado en que estructura del almidón fue modificada en el proceso de extrusión (Bouvier & Campanella, 2014). Asimismo,

(Ramirez, 2017) indican que los valores de ISA e IAA pueden ser utilizados para estimar la adecuación del uso de productos amiláceos extruidos en suspensiones o soluciones. Las aplicaciones en medios con cantidad limitada de agua se basan en estas dos propiedades funcionales e implican frecuentemente la capacidad de conexión de los puentes de hidrógeno.

El ISA a menudo es usado como un indicador de la degradación molecular, mide el grado de conversión del almidón durante la extrusión que es la cantidad de polisacáridos solubles liberados del componente de almidón después de la extrusión. El aumento de las temperaturas y la humedad de alimentación aumentan el IAA y el ISA (Valenzuela et al., 2011).

En caso en que se desee elaborar un producto instantáneo donde las partículas de polvo formen una solución con el líquido, se debe dar mayor prevalencia al índice de solubilidad en agua (ISA) que está relacionado con la cantidad de sólidos solubles en una muestra seca y permite verificar el grado de severidad del tratamiento en función de degradación, gelatinización, dextrinización y consecuente solubilización del almidón (Cerón, Legarda, Enríquez, & Portilla, 2016).

El ISA aumenta con la severidad del tratamiento térmico. Varios trabajos usando gritz de maíz, almidón de maíz y almidón de trigo, mostraron que el ISA aumentó con decrecimiento del contenido de humedad. Sin embargo, se observa que el nivel de cizalla en el cuerpo del extrusor también es un factor importante. Se verificó que la reducción del ISA de la harina de trigo, causada por el aumento del contenido de humedad de 0 a 25% fue mayor usando tornillo de alto cizallamiento (Ramirez, 2017).

2.6.4. ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA (IAA)

El IAA es una medida del grado de gelatinización del almidón y de la capacidad de absorción de agua de los componentes del material después del proceso de extrusión (Cerón, Legarda, Enríquez, & Portilla, 2016).

Permite inferir las condiciones de proceso más adecuadas para lograr facilidad de hidratación, solubilización y desarrollo de una textura viscoelástica, características

principales que se requieren en la obtención de harinas precocidas, las cuales generalmente se deben rehidratar para su utilización y por tanto es importante conservar la habilidad de absorción e hinchamiento al contacto con el agua (Cerón et al., 2016).

La amilopectina tiene mayor capacidad de adsorción de agua con respecto a la amilosa, de tal manera que almidones con alto contenido de este biopolímero presentan mayor IAA (Valenzuela, y otros, 2016).

Según Yagc & Fahrettin (2007) el IAA es un índice de gelatinización y generalmente está acordado que la temperatura del barril y la humedad del alimento ejercen la mayor efecto sobre el extruido promoviendo la gelatinización. También afirma que la absorción de agua se ha atribuido generalmente a dispersión de almidón en presencia de agua, y aumenta según el grado de degradación del almidón debido a la gelatinización y la fragmentación inducida por la extrusión, es decir, la reducción molecular de amilosa y amilopectina.

El ISA e IAA son indicadores del nivel de daño ocurrido en el almidón del alimento durante el procesamiento por extrusión (Valenzuela, y otros, 2016).

Los bajos valores de IAA reflejan el restringido acceso del agua a los almidones extruidos, asignados a una estructura compacta (Ramirez, 2017).

Algunas propiedades fundamentales de los almidones, como su mayor índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua, están relacionadas con el mayor tamaño de sus gránulos. En conclusión estos gránulos pequeños afectan a los IAA e ISA de los productos extruidos, según Guy (2001) las moléculas más pequeñas permite mucho más flujo en células paredes de la burbuja y causar un aumento de la expansión de 1 a 25 ml / g.

2.6.5. TEXTURA EN LOS EXTRUIDOS.

La textura es uno de los atributos sensoriales más importantes de los productos extruidos que se desarrollan como bocadillos. El desarrollo exitoso de productos alimenticios requiere tanto una comprensión integral de textura percibida por el consumidor y métodos de medición apropiados (Maskan & Altan, 2011).

La textura es usualmente descrita por el crujido y resistencia al corte, es uno de los parámetros de calidad más importantes para la industria y el consumidor, debido a que si el producto tiene una baja fuerza de corte, éste se quebrará fácilmente durante las operaciones de empaclado, durante su distribución, o de lo contrario si el producto tiene altos valores de fuerza de corte (dureza). La dureza en el caso de los productos extrudidos es una percepción asociada con la expansión y celdas de aire de los extrudidos (Valenzuela et al., 2011).

La textura de los alimentos extrudidos depende de los cambios producidos en el almidón, la cantidad de humedad presente, la temperatura con que se está llevando a cabo el proceso, la morfología y el tamaño de la partícula de la harina (Bressani, 2016). La textura es definida como la manifestación sensorial de la estructura de los alimentos y la forma en que esta estructura reacciona a las fuerzas aplicadas, representa la unión de todos los tributos; mecánicos, geométricos y superficiales de un producto, detectados a través de procesos mecánicos, táctiles, visuales o por receptores auditivos.

La calidad de un producto alimenticio o aperitivo extruido está directamente relacionada con los atributos sensoriales, donde la textura juega un papel importante (Anton & Luciano, 2007).

Para muchos productos alimenticios, los sentidos visuales son los primeros en ser utilizados por compradores, consumidores y asesores sensoriales capacitados. Si se comunica una impresión negativa en el punto de venta, es posible que la compra no siga adelante.

Sabor: las sensaciones en la boca y las características percibidas, incluyen atributos mecánicos (fuerza aplicada), los atributos geométricos como; forma, tamaño y orientación de las partículas del alimento (Maldo & Conti-Silva, 2013). Por lo general las técnicas más aplicadas en el análisis sensorial de productos extrudidos, son realizados con paneles altamente capacitados o paneles de laboratorio. (Anton & Luciano, 2007). Las pruebas de control de calidad tienen requisitos específicos que deben elegirse y adaptarse a las restricciones impuestas en la mayoría de los entornos de fabricación (Kilcast, 2013).

La percepción de las características sensoriales de los alimentos resulta de la estimulación de todos nuestros sentidos, hasta cierto punto, por las propiedades fisicoquímicas de los alimentos. Las características sensoriales de los alimentos generalmente se agrupan en tres modalidades: apariencia, sabor y textura. Las pruebas sensoriales analíticas se pueden realizar tanto en el control de calidad como en las funciones de investigación y desarrollo.

Los productos obtenidos con altas temperaturas y los tiempos de proceso de extrusión cortos normalmente presentan una estructura porosa y abierta, lo que les confiere una textura "crujiente" (Ramachandra & Thejaswini, 2015).

Con el método sensorial, la evaluación incluye varios pasos fuera y dentro de la boca, desde el primer bocado hasta la masticación, la deglución y la sensación residual en la boca y la garganta (Szczeniak, 2002).

Color: el color en los extruidos cambiará por la incorporación de subproductos de la industria alimentaria en las formulaciones y, además, las condiciones de extrusión afectan el color del producto terminado. Por lo tanto, el color es un factor de calidad importante directamente relacionado con la aceptabilidad de los productos alimenticios, y es una propiedad física importante para informar sobre productos extruidos. El color de un producto debe estar en un nivel aceptable en lo que respecta a la adición de subproductos en las formulaciones (Maskan & Altan, 2011).

Liu y col. (2000) informaron que el enrojecimiento del extruido de avena y maíz se mejoró con la harina de avena y se atribuyó al mayor enrojecimiento de la harina de avena que la harina de maíz. El aumento de la oscuridad podría atribuirse a la oscuridad del salvado en comparación con la harina de arroz casi blanca.

- Factores que influyen en la textura.

Tiempo: debido a las condiciones intensas de cocción que se utilizan para los productos inflados, la regla imprescindible es un corto tiempo de residencia. La mayor parte del tiempo de residencia es destinado a mezclar y absorber humedad (Perez & Torres, 2009).

Temperatura: en los procesos de extrusión de alimentos la temperatura debe ser alta para provocar una expansión explosiva. Para alcanzar estas temperaturas, se utiliza la fuerza cizallante, una alta velocidad del sinfín (300 rpm) y canales de sinfín o elementos de mezclado poco profundos (Perez & Torres, 2009).

Los productos no se expanden si la temperatura no alcanza 100 °C. La expansión aumenta con el incremento de la temperatura cuando el contenido de humedad del material está cerca del 20%. A bajas temperaturas de extrusión, la expansión es reducida porque el almidón no está completamente fundido. La reducción de la expansión a temperaturas muy altas se atribuye a un aumento en la dextrinización, el debilitamiento estructura de almidón (Ramachandra & Thejaswini, 2015).

Humedad: el agua afecta todo, por lo que debe estar perfectamente controlada, incluso su velocidad de entrada, pues también afecta el contenido de humedad, así como el consumo de energía del extrusor y otras variables. La expansión del producto final está inversamente relacionada con la humedad de la materia prima y directamente relacionada con el aumento de la temperatura de extrusión. En los productos extruidos con alta humedad, la expansión ocurre cuando el producto sale de la matriz, pero la estructura se colapsa antes del enfriamiento necesario, lo que resulta un producto denso y duro (Perez & Torres, 2009).

2.6.5.1. Textura sensorial

Los parámetros sensoriales especialmente los mecánicos, parecen ser bastante sencillos. Por ejemplo, la dureza, firmeza, suavidad se encuentran en una escala de resistencia del alimento a las fuerzas de compresión aplicadas. Sin embargo, todavía no se sabe exactamente si el ser humano reacciona al estrés físico o al esfuerzo, y cómo simular con los instrumentos los altos índices de esfuerzo en la boca, una consideración muy importante con los materiales viscoelásticos, es decir, la mayoría de los productos alimenticios (Szczeniak, 2002).

También de manera importante, no sabemos en qué punto de la escala instrumental los límites son duros-firmes, y firme-suave. Otros parámetros sensoriales como la cremosidad y jugosidad, puede que no sea tan sencillo. El trabajo de varios investigadores para definir la cremosidad se relacionó con el espesor que depende

de la viscosidad física y la suavidad que depende de las fuerzas físicas de fricción (Szczesniak, 2002).

2.6.5.2. Textura instrumental

Existen muchos tipos de mediciones instrumentales para cubrir categorías de alimentos dado que la percepción de la textura es compleja si se realiza de forma sensorial, con dos componentes principales: una respuesta táctil de la superficie de la piel (somestesia) y una respuesta profunda de los músculos y los tendones (cinestesia) Además de la percepción en la boca, la manipulación de los productos con los dedos y las manos puede generar respuestas de textura, junto con información visual (textura visual) e información que surge de los sonidos emitidos al manipular y masticar productos (Kilcast, 2004).

- Análisis del perfil de textura.

El método instrumental permite obtener el perfil de textura, el cual implica comprimir las muestras de prueba por lo menos dos veces y cuantificar los parámetros mecánicos de las curvas de fuerza-deformación registradas (Szczesniak, 2002).

Los dispositivos de ensayo instrumentales (texturómetros) imitan condiciones de masticación y presentan excelentes correlaciones con evaluaciones sensoriales de la textura (Maldo & Conti-Silva, 2013). Es posible identificar una enorme gama de variables de medición para cuantificar aspectos de la calidad y seguridad del producto, además de las que se utilizan para cuantificar factores como la eficiencia de la producción (Kress-Rogers, 2001). Las mediciones instrumentales comprenden mediciones de propiedades fisicoquímicas discretas y bien definidas, mientras que la percepción sensorial rara vez es discreta, interactúan tanto a nivel fisiológico como psicológico.

La representación del análisis de perfil de textura se basa en curvas que registran los eventos característicos espaciales o temporales de muestras durante las mediciones de textura de alimentos. Las curvas representan una simulación del esfuerzo de la mandíbula al morder el alimento, dando a conocer el comportamiento

del alimento con respecto a la fuerza aplicada (Torres, González-Morelo, & Acevedo, 2015).

Existen dispositivos para analizar el perfil de textura como son:

- Dispositivos de penetración o perforación.

Miden la fuerza necesaria para empujar una sonda hacia el alimento a una profundidad específica o la distancia de penetración lograda mediante la aplicación de una fuerza específica (Kress-Rogers & Brimelow, 2001).

Punción: la prueba de punción mide la fuerza requerida para que una sonda penetre en una muestra de alimento a una profundidad previamente especificada. La prueba implica tanto compresión y cizallamiento de una muestra; es una técnica empírica que es algo imitativa de la mordedura de un alimento en la boca. Las mediciones de punción dependen de varios factores, como el tamaño y la forma de la sonda, el tipo de alimento, la velocidad de carga y la cantidad de sondas en el probador (Kilcast, 2004).

La compresión y cizallamiento contribuyen a la medición general de la fuerza de punción. Sin embargo, el efecto de borde (o concentración de estrés), también se deben considerar las geometrías de las sondas en las mediciones de textura. Las sondas de punción más utilizadas son de forma circular, lo que proporciona relación máxima de área a perímetro entre todas las geometrías, y por lo tanto mide la fuerza de punción con la máxima relación compresión o cizalla (Kilcast, 2004).

Compresión: la compresión es ampliamente utilizada para medir las propiedades mecánicas básicas de una gran variedad de alimentos sólidos, incluidas las frutas, verduras, granos y alimentos procesados. Estas pruebas a menudo se realizan en muestras cilíndricas extraídas de alimentos, muestras bajo carga uniaxial con una máquina de prueba universal. Además la prueba de compresión también se puede utilizar para medir las propiedades mecánicas básicas de las muestras de alimentos intactos con geometría bien definida (Kilcast, 2004).

Se refiere a la acción de aplicar fuerza para cortar un objeto en dos piezas separadas. Las pruebas de corte son especialmente utilizadas para medir las propiedades de textura de los alimentos musculares. El probador Warner de cizalla Bratzler (WB)

es el dispositivo estándar recomendado por el American Meat Science Association para medir la ternura de la carne (Kilcast, 2004).

Corte: la prueba de corte mide la fuerza necesaria para que una o más cuchillas corten el alimento, se suele suponer que la fuerza máxima mide la tenacidad, firmeza o fibrosidad. En las pruebas de extrusión el alimento es forzado a través de uno o más orificios y el máximo se mide la fuerza promedio o el trabajo realizado durante un período específico. Se supone que los valores medidos se relacionan con firmeza tenacidad consistencia o capacidad de propagación (Kress-Rogers & Brimelow, 2001).

La **Tabla 11** refleja los parámetros instrumentales y sensoriales de las propiedades de textura que se pueden analizar a los extruidos y la similitud existente entre las dos pruebas.

Tabla 11. Definiciones de parámetros instrumentales de textura.

PROPIEDADES	INSTRUMENTAL	SENSORIAL
Dureza	Fuerza necesaria para lograr deformación	Fuerza necesaria para comprimir una sustancia entre los dientes molares (en el caso de sólidos) o entre la lengua y paladar (en el caso de los sólidos).
Cohesividad	Medida a la que un material puede ser deformado antes de romperse.	Grado en que una sustancia es comprimida entre los dientes antes de romperse
Viscosidad	Tasa de flujo por fuerza de la unidad.	Fuerza requerida para extraer un líquido de una cuchara sobre la lengua.
Elasticidad	Velocidad a la que un material deformado vuelve a su condición inicial después de eliminar la fuerza de deformación.	Grado al que un producto vuelve a su forma original después de haber sido presionado entre los dientes.
Adherencia	Trabajo necesario para superar las fuerzas atractivas entre la superficie del alimento y la superficie de los otros materiales con los que el alimento entra en contacto.	Fuerza necesaria para retirar el material que se adhiere a la boca (generalmente el paladar) durante el proceso de alimentación normal.
Fracturabilidad	Fuerza con la que se fractura un material: un producto de alto grado de dureza y bajo grado de cohesión.	Fuerza con la que una muestra se desmorona, agrieta o rompe en la boca.

Gomosidad	Energía requerida para desintegrar un alimento semisólido a un estado listo para tragar: un producto de un bajo grado de dureza y un alto grado de cohesión.	Densidad que persiste a lo largo de la masticación; energía requerida para desintegrar un alimento semisólido a un estado listo para tragar.
-----------	--	--

(Maskan & Altan, 2011).

Dureza: la dureza, la nitidez y la fragilidad se han utilizado para evaluar las propiedades de textura de los extruidos desarrollados a partir de subproductos alimentarios. La propiedad textural de un extruido se determina midiendo la fuerza requerida para romper el extruido La fuerza máxima obtenida de un analizador de textura proporciona la dureza del producto (Maldo & Conti-Silva, 2013).

(Maldo & Conti-Silva, 2013) mencionan que la dureza se refiere a la "fuerza aplicada por los dientes molares para comprimir el alimento", mientras que la fracturabilidad se refiere a la "capacidad de romper los alimentos en trozos cuando es mordido usando los incisivos".

El cambio de dureza con la fibra está relacionado con el efecto de la fibra en el grosor de la pared celular. La fibra causa una matriz menos porosa, una pared celular más gruesa y un extruido más duro (Maskan & Altan, 2011).

Crujencia: la crujencia se asocia con una estructura celular de baja densidad que es frágil y genera un ruido agudo cuando se fractura, además puede estar asociada con una rápida caída de la fuerza que se asocia con una rápida propagación de la fractura, que a su vez, requiere que el material sea frágil. Por otro lado, la crujencia del extruido está relacionada con la expansión y la estructura celular del producto. Se ha informado que se espera que los parámetros que controlan las propiedades mecánicas del material celular, como la densidad, el grosor de la pared, el tamaño y el número celular, predigan la crujencia del producto (Maskan & Altan, 2011).

El aumento de la temperatura disminuye la fuerza máxima y la densidad aparente de los extruidos, un aumento progresivo de la temperatura provoca poros en la estructura debido a la formación de células de aire, y la superficie escamosa y porosa, por lo tanto, una menor dureza (Maskan & Altan, 2011)..

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

La presente investigación y los análisis pertinentes se realizaron en el laboratorio de análisis físico-químicos y microbiológicos de la FICAYA en la Universidad Técnica del Norte.

3.2. UBICACIÓN DEL LUGAR DE OBTENCIÓN DE ZANAHORIA BLANCA.

En la **Tabla 12** se observa el lugar de procedencia de las raíces de zanahoria blanca que se utilizó para esta investigación.

Tabla 12. Datos de obtención de la zanahoria blanca.

Provincia	Imbabura
Cantón	Ibarra
Parroquia	El Sagrario
Lugar	Mercado mayorista

3.3. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO.

La **Tabla 13** muestra las especificaciones donde se desarrolló la investigación.

Tabla 13. Ubicación del experimento.

Provincia	Imbabura
Cantón	Ibarra
Parroquia	El sagrario
Lugar	Universidad técnica del Norte

3.4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Para conocer las condiciones en las que se realizó la investigación se detalló las características más importantes del área de estudio como se muestra en la **Tabla 14**.

Tabla 14. Área de estudio.

Temperatura	17,4 ° C
Altitud	2250 m.s.n.m.
HR promedio	73%.
Pluviosidad	50.3 mm.
Latitud	78°08"Oeste

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología de la ciudad de Ibarra
Granja Experimental de la (UTN).

3.5. MATERIALES Y EQUIPOS.

En la elaboración de la presente investigación se utilizó materiales y equipos descritos en la **Tabla 15**.

Tabla 15. Materiales y equipos

Materia prima	Equipos	Herramientas
Gritz de maíz	Extrusor de un tornillo	Recipientes de plástico
Gritz de zanahoria blanca.	Molino	Fundas de polietileno
	Tamizador vibratorio	Mesa
	Deshidratador	Limpiones
	Balanza analítica	
	Termómetro	

Centrifuga
Mufla
Horno

3.6. CARACTERIZACIÓN DEL EQUIPO DE EXTRUSIÓN.

En la presente investigación se utilizó un extrusor de alimentos de un solo tornillo, en la **Figura 9** se detalla la estructura interna del tornillo, la nomenclatura utilizada se detalla en la parte inferior. Los factores constantes del equipo son: temperatura de 122°C y velocidad del tornillo dentro del barril o cañón de 126 rpm.

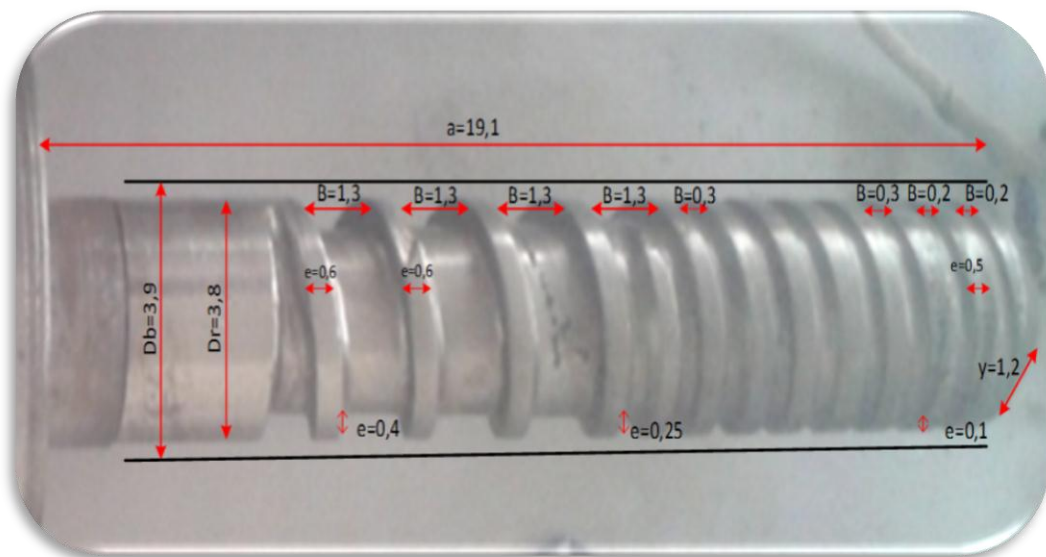


Figura 9. Caracterización del equipo de extrusión.

Largo del tornillo (a): es la distancia o longitud de todo el tornillo el cual se cubre por el cañón.

Abertura del cañón (D_b): se refiere al diámetro de la apertura del cañón o barril en el cual tiene lugar la rotación del tornillo.

Diámetro raíz (D_r): es el diámetro de la raíz del tornillo sobre el cual se construyen los filetes, es la base del eje que lleva el par de giro.

Paso (B): es la distancia axial entre el borde del filete del diámetro exterior y el borde del filete de en frente.

Ancho del filete o vuelo (e): es el ancho del filete del tornillo medido perpendicularmente a la cara del filete, el cual a veces es referido como el grosor del hombro del filete.

Cono o ingreso a la boquilla de salida (y): se refiere al final de la última sección del extrusor y la entrada a la cavidad de la boquilla. Este accesorio tiene una forma de cono y es añadido al final del tornillo para dirigir a la masa fundida al interior del área de la boquilla con una mínima restricción y desarrollo de presión.

3.7. GRANULOMETRÍA.

Esta variable se realizó con un tamiz marca “Gilson” con orificios de la malla de 2 mm, procedimiento que se realizó antes del proceso de extrusión a toda la materia prima (gritz de maíz – gritz de zanahoria blanca) que se utilizó para todos los tratamientos de la investigación, determinando el tamaño específico de partículas de las materias primas destinadas a la elaboración del producto extruido.

3.8. MÉTODOS.

Para la evaluación del efecto de la mezcla entre gritz de maíz *Zea mays* - gritz de zanahoria blanca *Arracacia xanthorrhiza* y el diámetro de la boquilla en el extruido se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con un arreglo factorial A x B. Se tomó como parámetros fijos la temperatura y la humedad, (120°C y 10% respectivamente), siendo parámetros recomendados para el proceso de extrusión.

3.8.1. FACTORES DE ESTUDIO.

Se utilizó dos factores; el factor **A** (mezclas entre gritz de maíz y gritz de zanahoria blanca), y el factor **B** (diámetros de la boquilla) en el proceso de extrusión, los distintos niveles evaluados se muestran en la **Tabla 16** y **Tabla 17** .

Tabla 16. Niveles del factor “A” (mezcla de griz de maíz-griz de zanahoria blanca)

FACTOR	Mezcla (%)
A1	85% maíz + 15% zanahoria blanca
A2	90% maíz + 10% zanahoria blanca
A3	95% maíz + 5% zanahoria blanca

Tabla 17. Niveles del factor “B” (Diámetro de salida de la boquilla)

FACTOR	Diámetro de la boquilla (mm)
B1	3
B2	5

3.8.2. TRATAMIENTOS.

Se realizó la combinación del factor A (con tres mezclas) y el factor B (con 2 diámetros de salida de la boquilla de los cuales se obtuvo 6 tratamientos (**Tabla 18**).

Tabla 18. Nomenclatura de los tratamientos

Tratamientos	Simbología	Detalle
T1	A1B1	85% maíz y 15% zanahoria blanca + 3 mm
T2	A1B2	85% maíz y 15% zanahoria blanca + 5 mm
T3	A2B1	90% maíz y 10% zanahoria blanca + 3 mm
T4	A2B2	90% maíz y 10% zanahoria blanca + 5 mm
T5	A3B1	95% maíz y 5% zanahoria blanca + 3 mm
T6	A3B2	95% maíz y 5% zanahoria blanca + 5 mm

3.8.3. CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO.

Se utilizó un Diseño Completo al Azar (DCA) con un arreglo factorial A x B el cual consta de:

Número de repeticiones: Tres (3)

Número de tratamientos: Seis (6)

Número de unidades experimentales: Dieciocho (18)

3.8.4. UNIDAD EXPERIMENTAL.

El peso de cada unidad experimental fue de 200g de mezcla de gritz de maíz - gritz de zanahoria blanca.

3.8.5. FORMULACIONES.

Las formulaciones de cada una de las mezclas de la matriz alimentaria fueron establecidas luego de haber realizado pruebas experimentales.

Tabla 19. Formulación de la mezcla (85% maíz – 15% zanahoria blanca)

Ingredientes	Cantidad (g)	Unidad (%)
Maíz	170	85
Zanahoria blanca	30	15
Total	200	100

Tabla 20. Formulación de la mezcla (90% maíz – 10% zanahoria blanca)

Ingredientes	Cantidad (g)	Unidad (%)
Maíz	180	90
Zanahoria blanca	20	10
Total	200	100

Tabla 21. Formulación de la mezcla (95% maíz – 5% zanahoria blanca)

Ingredientes	Cantidad (g)	Unidad (%)
Maíz	190	95
Zanahoria blanca	10	5
Total	200	100

3.8.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Para llevar a cabo esta investigación se utilizó un análisis estadístico ADEVA con un esquema detallado en la **Tabla 22**.

Tabla 22. Esquema del ADEVA

Fuente de variación	GL
Total	17
Tratamientos	5
(Factor A) Mezcla de materias primas	2
(Factor B) diámetro boquilla	1
A x B	2
Error experimental	12

La determinación del coeficiente de variación se realizó según la ecuación 1

$$CV = \frac{\sqrt{CM E. Exp}}{x} \cdot 100 \quad (1)$$

Donde:

CV= Coeficiente de variación

CM= Cuadrado medio

E. Exp= Error experimental

X= Media

3.8.7. ANÁLISIS FUNCIONAL.

Se realizó pruebas de significación estadísticas de Tukey al 5% en caso de encontrar diferencia significativa en los tratamientos y DMS en caso de encontrar diferencia significativa en factores.

3.9. VARIABLES EVALUADAS

Se evaluó las características físico-químicas tanto en la materia prima (gritiz de zanahoria blanca y gritiz de maíz) como en el producto extruido, también se realizó análisis organoléptico al extruido.

3.9.1. VARIABLES CUANTITATIVAS

Se realizó los análisis físico-químicos a las materias primas (**Tabla 23**) con la finalidad de conocer las propiedades nutricionales.

Tabla 23. Pruebas de evaluación en la materia prima (gritz de maíz - gritz zanahoria blanca)

Variable	Método	Norma
Humedad	Desecación en estufa	AOAC 925.10
Proteína	kjeldahl	AOAC 920.87
Lípidos (Grasa)	Soxhlet	AOAC 920.85
Ceniza	Método gravimétrico	AOAC 923.03
Carbohidratos	Calculo	
Fibra	Método gravimétrico	AOAC 978.10
Amilosa	Morrison y Laignelet 1983	MO-LSAIA-04
Amilopectina	Morrison y Laignelet 1983	MO-LSAIA-04

- **Humedad**

Se realizó mediante la Norma AOAC 925.10, para determinar la cantidad de agua presente en la muestra, el proceso se basa en la determinación gravimétrica de la pérdida de masa, de la muestra desecada hasta masa constante en estufa.

- **Proteína**

Se realizó mediante la Norma AOAC 920.87, para determinar la concentración de nitrógeno presente en la muestra para luego ser transformado a través un factor en proteína. El proceso se basa en la destrucción de la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado, formándose sulfato de amonio que en exceso de hidróxido de sodio libera amoníaco, el que se destila recibiendo en:

a) Ácido sulfúrico donde se forma sulfato de amonio y el exceso de ácido es valorado con hidróxido de sodio en presencia de rojo de metilo.

b) Ácido bórico formándose borato de amonio el que se valora con ácido clorhídrico.

- **Extracto etéreo (Grasa)**

Se realizó mediante la Norma AOAC 920.85, para determinar la concentración de la materia grasa cruda o extracto etéreo libre en la muestra, el proceso consiste en

tomar una cantidad previamente homogeneizada y seca, medida o pesada del alimento, se somete a una extracción con éter de petróleo o éter etílico, libre de peróxidos o mezcla de ambos. Posteriormente, se realiza la extracción total de la materia grasa libre por soxhlet.

- Cenizas

Se realizó mediante la Norma AOAC 923.03, para determinar los minerales totales de las muestras, el proceso consiste en la destrucción de la materia orgánica presente en la muestra por calcinación y determinación gravimétrica del residuo.

- Carbohidratos

Se determinó mediante cálculo luego de haber realizado todo el análisis proximal de todas las muestras (excepto el valor de fibra), se utilizó la siguiente ecuación.

$$\% C = 100 - (\% \text{humedad} + \% \text{proteína} + \% \text{extracto etéreo} + \% \text{cenizas})$$

- Fibra

Se realizó mediante la Norma AOAC 978.10, el proceso consiste en la incineración del residuo orgánico que queda después de la digestión con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio en condiciones específicas.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS A LOS EXTRUIDOS.

Se evaluó las características físico-químicas a los extruidos en los laboratorios de nutrición animal de la Universidad Central del Ecuador.

Tabla 24. Pruebas analíticas en el producto extruido

Variable	Método	Norma
Humedad	Desecación en estufa	AOAC 925.10
Proteína	Incineración en mufla	AOAC 920.87
Extracto etéreo(Grasa)	Soxhlet	AOAC 920.85
Ceniza	Incineración en Mufla	AOAC 923.03
Carbohidratos	Cálculo	
Fibra	Fibert test	AOAC 978.10

Los métodos de cada variable son los mismos que se utilizaron para las materias primas.

ANÁLISIS FUNCIONALES

Se evaluó la textura instrumental (prueba de punción y corte guillotina) y el índice de expansión (IE), densidad aparente (DA) para conocer el mejor tratamiento y la calidad final del alimento extruido. Los mencionados análisis se realizaron en los laboratorios de uso múltiple de la FICAYA en la Universidad Técnica del Norte.

Tabla 25. Pruebas funcionales

Variable	Método	Referencia
Índice de expansión (IE)	Calculo	(Perez, Cruz, Chel, & Betancur, 2006)
Densidad aparente (DA)	Cálculo	(Valenzuela et al., 2017)
Índice de solubilidad en agua (ISA)	Anderson y Col. 1969	Anderson y Col. 1969
Índice de absorción de agua (IAA)	Anderson y Col. 1969	Anderson y Col. 1969
Textura instrumental	Punción, Guillotina	(Anton & Luciano, 2007)

Índice de expansión (IE).

El índice de expansión se midió tomando pequeñas piezas de extruido de 5cm de longitud, de todos los tratamientos y repeticiones y se les midió el diámetro de cada pieza empleando un calibrador y se procedió a dividir el diámetro de cada pieza entre el diámetro del orificio de la boquilla del extrusor (Ecuación 2).

$$IE = \frac{\text{diámetro de la muestra}(cm)}{\text{diámetro de la boquilla}(cm)} \quad (2)$$

Densidad aparente (DA).

Se realizó según el método de Valenzuela et al., (2016), tomando pequeñas piezas de extruido de 5cm de longitud, de todos los tratamientos y repeticiones, se midió el diámetro de cada pieza empleando un calibrador, también se realizó el peso de cada pieza en una balanza analítica. La densidad de cada muestra se calculó en g/cm³ según la Ecuación 3.

$$DA = \frac{\text{peso de la muestra}}{\pi \left(\frac{\text{diametro muestra}}{2} \right)^2 \text{longitud de la muestra}} \quad (3)$$

Índice Solubilidad en agua (ISA).

Se realizó según el método de Anderson y col. (1969), consiste formar una solución de 2,5 g de muestra (polvillo del extruido) en 50 ml de agua destilada, seguida de agitación durante 30 minutos y posterior centrifugado a 2000 xg. En la fase sobrenadante se determina los sólidos dispersos realizados mediante evaporación en estufa a 105°C. Los resultados fueron calculados utilizando la Ecuación 4, obteniendo valores expresados en porcentaje de los sólidos dispersados respecto a 100 g de harina (base seca).

$$ISA = \frac{\text{peso de solubles}(g)}{\text{peso de la muestra}(g)} \times 100 \quad (4)$$

Índice Absorción de agua (IAA).

Se utilizó un equipo Baumman, según el método de (González y col., 1995). El cual consiste en medir la captación libre de agua producida por la muestra, en función del tiempo. Procedimiento: se coloca sobre un papel filtro 50 mg de la muestra (molida) seguido se coloca sobre un vidrio poroso que se encuentra sobre un receptáculo inundado de agua destilada. El nivel de agua del sistema receptáculo-vidrio poroso es conectado a una pipeta (a través de un tubo desde el fondo del receptáculo) en posición horizontal para medir el agua absorbida. Los resultados fueron calculados utilizando la Ecuación 5

$$IAA = \frac{\text{peso del gel}(g)}{\text{peso de la muestra}(g)} \quad (5)$$

Textura por punción

Se utilizó un Texturómetro Shimadzu EZ-SX carga máx. 50N y velocidad de 1mm/s y se procedió según el método Anton & Luciano (2007), el cual consiste en recolectar las muestras inmediatamente después de que salir del extrusor, tomar 10

muestras de 5 cm cada una, y colocar una por una en la base del Texturómetro colocado la sonda de punción procediendo con el ensayo.

Textura por corte guillotina

Se utilizó la sonda de corte guillotina aplicando el mismo método descrito anteriormente en la textura por punción.

3.1.1. VARIABLES CUALITATIVAS.

Para evaluar la calidad sensorial del producto extruido se realizaron pruebas organolépticas mediante la aplicación de la prueba de Friedman al 1% y 5% para analizar color, olor y sabor, textura y aceptabilidad.

Análisis organoléptico

En la **Tabla 26** se observa los análisis organolépticos que se realizaron en esta investigación

Tabla 26. Pruebas organolépticas en el producto final extruido.

Variable	Método
Color	Friedman al 1% y 5%
Olor	Friedman al 1% y 5%
Sabor	Friedman al 1% y 5%
Textura	Friedman al 1% y 5%
Aceptabilidad	Friedman al 1% y 5%

Se realizó una degustación con un grupo de 10 personas, y se utilizó una prueba de Friedman al 1% y 5% mediante la Ecuación 4

$$X^2 = \frac{12}{NK(K+1)} \sum(R_j) - 3N(K+1) \quad (4)$$

Dónde:

K = número de tratamientos

N = número de catadores

R_j = sumatoria de rangos de tratamientos

3.10. MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO.

En el año 2011, Martínez estudió el procedimiento de obtención de harina de zanahoria blanca lo cual se tomó como base para nuestro proceso de obtención de gritz y su posterior uso como materia prima para la realización del alimento extruido.

La zanahoria blanca se obtuvo en el mercado mayorista de la ciudad de Ibarra, seguidamente se procedió con el procedimiento que principalmente se basa en el secado, seguido de la molienda y un tamizado para obtener partículas de gritz de una misma granulometría.

Se continuó con la extrusión en la que se evaluó los factores A y B con la finalidad de analizar el mejor tratamiento y obtener un alimento extruido con buenas propiedades nutricionales y funcionales.

3.1.2. ELABORACIÓN DE GRITZ DE ZANAHORIA BLANCA.

Para la obtención de gritz de zanahoria blanca se realizó un diagrama de flujo como se describe en la **Figura 10**.

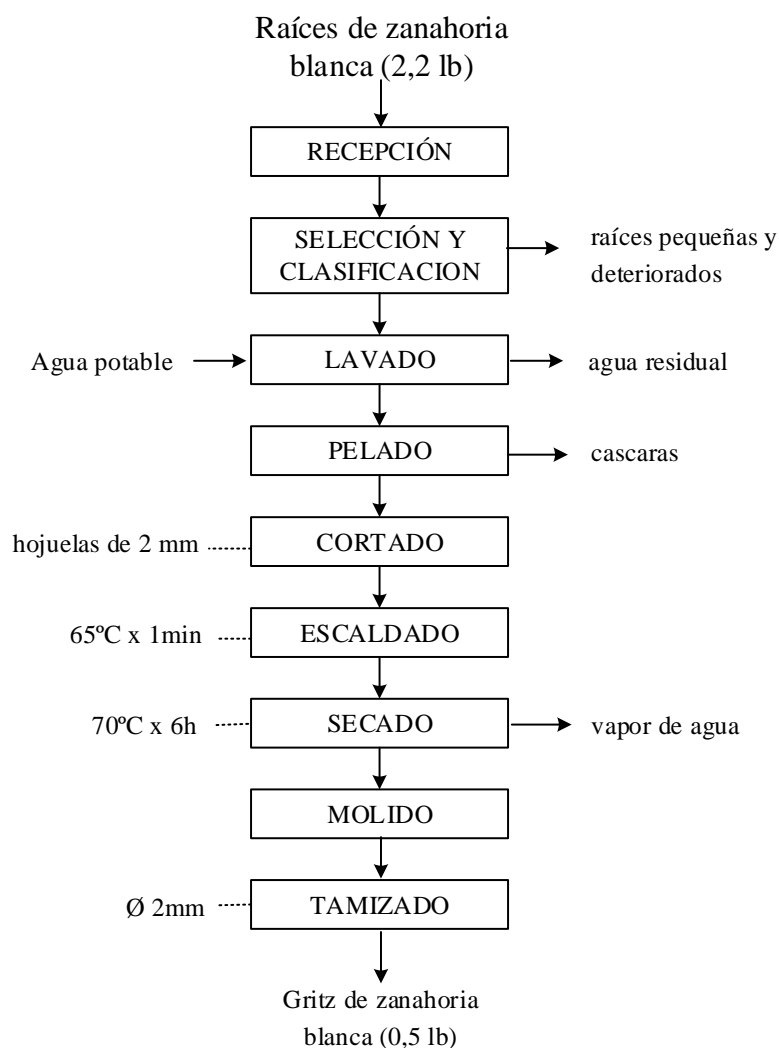


Figura 10. Diagrama de flujo para la elaboración de griz de zanahoria blanca.

A continuación se describe el proceso de obtención de griz de zanahoria blanca que será utilizado para realizar el proceso de extrusión.

✓ Recepción

Las raíces de zanahoria blanca provenientes del mercado mayorista de la ciudad de Ibarra fueron colocadas en recipientes de plástico (**Figura 11**), esto se realizó en los laboratorios de las unidades eduproductivas de la Universidad Técnica del Norte.



Figura 11. Recepción

✓ Selección y clasificación.

Se retiró aquellas raíces extremadamente pequeñas y deterioradas, con exceso de madurez, con defectos en su corteza como; daños mecánicos o fisiológicos como se observa en la **Figura 12**.



Figura 12. Selección y clasificación

✓ Lavado

Se realizó manualmente y con abundante agua potable con el propósito de eliminar la tierra y demás impurezas externas existentes en las raíces, como se muestra en la **Figura 13** evitando de esta manera cualquier tipo de contaminación que afecte a la calidad final de los gritz.



Figura 13. Lavado

✓ Pelado

Se procedió a retirar la capa externa o piel de las raíces de zanahoria blanca como se observa en la **Figura 14**, evitando cortes muy profundos con el fin de disminuir desperdicios de materia prima.



Figura 14. Pelado

✓ Cortado

Se cortó las zanahorias en forma transversal con una rebanadora de alimentos, obteniendo hojuelas de 2 mm espesor (**Figura 15**), posteriormente se colocaron en recipientes de plástico.



Figura 15. Cortado

✓ Escaldado

Inmediatamente después del cortado se sumergió las hojuelas en una olla con agua a 65°C durante 1 minuto (**Figura 16**), esta operación se realizó con el propósito de evitar el pardeamiento enzimático.



Figura 16. Escaldado

✓ Secado

Se colocó las hojuelas en un secador de bandejas (**Figura 17**), calibrado a una temperatura de 70°C durante 6 horas, inmediatamente transcurrido este lapso de tiempo se extraen las hojuelas secas, colocándolas en recipientes cerrados que eviten la entrada de humedad del ambiente.



Figura 17. Secado

✓ Molienda

Las hojuelas secas se introdujeron dentro de la tolva de alimentación de un molino manual casero marca “Corona” (**Figura 18**), previamente se ajustó sus partes para obtener granos aproximadamente de 2 mm de espesor y se procedió a triturarlas.



Figura 18. Molienda

✓ Tamizado.

Los griz obtenidos se introdujeron en un tamizador marca “Gilson” el cual posee un conjunto de tamices en escala descendente (**Figura 19**), se seleccionó las partículas de 2 mm de diámetro, siendo estos griz los que se utilizó para realizar esta investigación.



Figura 19. Tamizado

3.1.3. ELABORACIÓN DE EXTRUIDO DE MAÍZ Y ZANAHORIA BLANCA.

Para el procedimiento de extrusión se realizó un diagrama de procesos como se describe en la **Figura 20**.

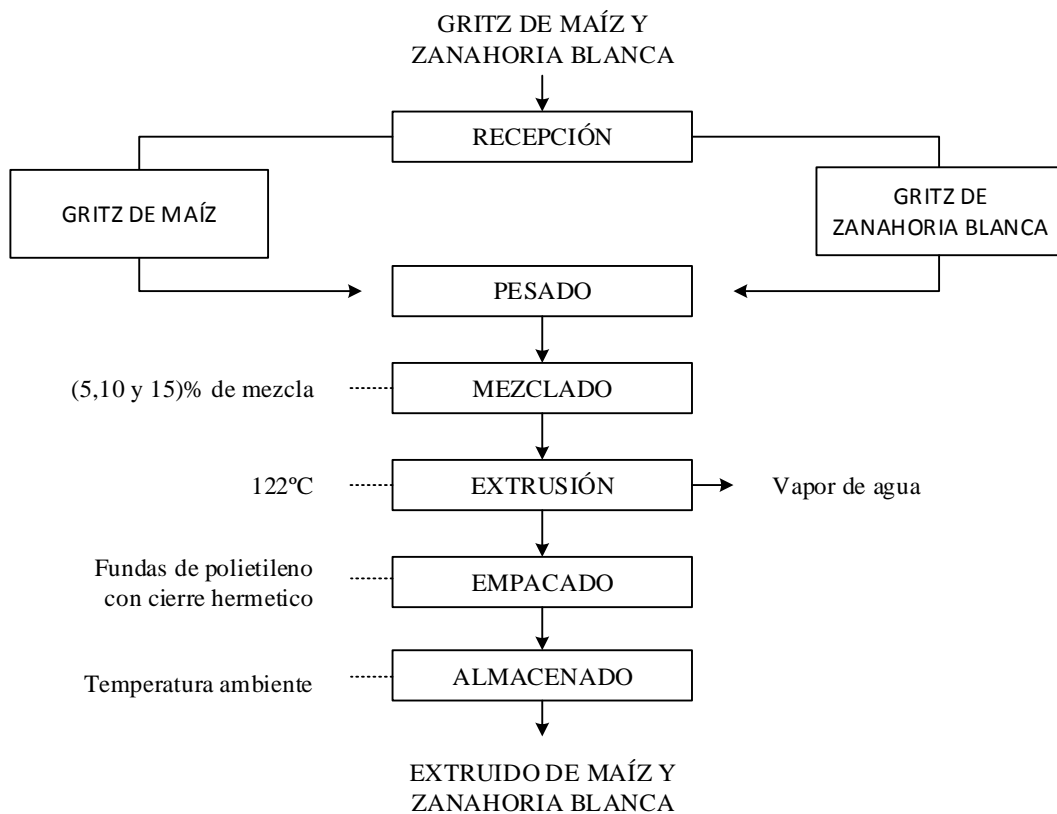


Figura 20. Diagrama de flujo para la elaboración del extruido de maíz-zanahoria blanca.

3.10.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN.

Para realizar el proceso de extrusión se realizó una descripción detallada de todo el procedimiento utilizado en la obtención del producto extruido.

✓ Recepción.

Las materias primas griz de maíz (GM) y griz de zanahoria blanca (GZB) fueron recibidas en los laboratorios de las unidades eduproductivas de la Universidad Técnica del Norte (**Figura 21**).



Figura 21. Recepción

✓ Pesado.

Las materias primas se pesaron con una balanza gramera (**Figura 22**), de acuerdo a las mezclas de la matriz alimentaria establecidas en la investigación, siendo las siguientes:

- 85% maíz – 15% zanahoria blanca
- 90% maíz – 10% zanahoria blanca
- 95% maíz – 5% zanahoria blanca

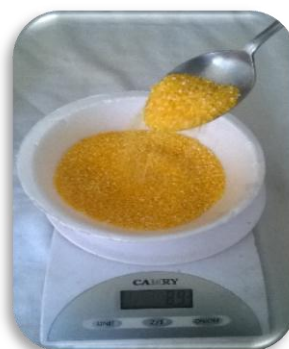


Figura 22. Pesado

- ✓ Mezclado y acondicionamiento.

Esta operación se realizó a cada uno de los tratamientos el cual consiste en distribuir uniformemente las partículas de griz de las materias primas, hasta lograr una mezcla homogénea (**Figura 23**)



Figura 23. Mezclado y acondicionamiento

- ✓ Extrusión.

Para realizar el proceso de extrusión primeramente se procedió a calibrar los factores constantes que son; la temperatura de 120°C, velocidad del tornillo de 128 rpm, luego se procedió a dosificar uniformemente una por una las mezclas en la zona de alimentación del equipo, obteniendo de esta manera los extruidos (**Figura 24**).



Figura 24. Extrusión

- ✓ Empacado.

Se realizó inmediatamente después de obtener el producto extruido, introduciéndolos en fundas herméticas de 150gr (**Figura 25**), para evitar que atrapen

la humedad del ambiente, enseguida se rotuló e identificó cada tratamiento con su respectiva repetición.



Figura 25. Empacado.

✓ Almacenamiento

Los extruidos se almacenaron a temperatura ambiente en un lugar fresco y seco (**Figura 26**), evitando corrientes de aire ya que estos alimentos atrapan rápidamente la humedad del ambiente, luego se realizó los respectivos análisis mencionados al inicio de la investigación.



Figura 26. Almacenamiento.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES.

4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS MATERIAS PRIMAS.

Los gritz de maíz y zanahoria blanca fueron sometidos al análisis físico-químico, la **Tabla 27** detalla los resultados correspondientes a cada uno de los componentes analizados, estos cumplen con las especificaciones establecidas en la Norma Técnica Ecuatoriana (**INEN 2051**); Granos y cereales. Maíz molido, sémola, harina, gritz. Requisitos.

Los análisis fueron realizados en el laboratorio de Análisis Físico-Químicos y microbiológicos de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte. La composición nutricional de los gritz de maíz y zanahoria blanca (**Tabla 27**) refleja que los contenidos de proteína, fibra, almidón (amilosa y amilopectina) tienen mínimas diferencias en los dos materiales.

Tabla 27. Análisis proximal de las materias primas (base seca).

Parámetros		Gritz de maíz	Gritz de zanahoria blanca
Humedad	%	7,63	6,02
Proteína	%	8,83	6,70
Lípidos	%	1,26	1,52
Cenizas	%	0,94	0,70
Carbohidratos	%	81,34	85,06
Fibra	%	0,85	4,81
*Almidón	%	80,00	60,78
*Amilosa	%	16,80	11,06
*Amilopectina	%	63,20	49,72

Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos (FICAYA UTN);

* Laboratorio de Servicios de Análisis e Investigación de Alimentos (INIAP).

Los valores de humedad y lípidos de las materias primas (**Tabla 27**) presentan características apropiadas para el proceso de extrusión ya que según Olaf & Perez (2009) la maquinaria de extrusión trabaja en condiciones de humedad menores del 20%, y materiales considerados altos en lípidos 5%. Asimismo, Maskan & Altan (2012) afirman que es difícil la extrusión de materiales con grandes contenidos de lípidos por efecto de reducción de la cizalladura dentro del cañón del extrusor.

En cuanto a las proteínas de la zanahoria blanca **6,70%** y del maíz **8,83%**, son de excelente calidad para la extrusión. Sin embargo Rodríguez et al. (2014) afirman que al aumentar el contenido de proteínas, la acción de la fuerza de corte dentro del barril interrumpen las interacciones con los componentes y limitan la extensibilidad de la masa, disminuyendo el índice de expansión.

El contenido de fibra de la zanahoria blanca **4,81%** es superior al maíz **0,85%** condiciones que mejoran las características nutricionales en los extruidos. Sin embargo (Yagc & Fahrettin, 2007) afirman que la fibra a diferencia de las proteínas y almidón, es un polisacárido capaz de unirse fuertemente al agua durante la extrusión, inhibiendo la pérdida de agua en la matriz, lo cual provoca la reducción en la expansión y aumento en la densidad aparente.

En cuanto al contenido de almidón del maíz **80,00%** y zanahoria blanca **60,78%** cumplen con excelentes características para el proceso de extrusión. Según

(Ramachandra & Thejaswini, 2015) las materias primas más utilizadas en el proceso de extrusión son aquellas que presentan alto contenido de almidón y materiales basados en proteínas, ya que la estructura de los productos extruidos puede formarse a partir de polímeros de almidón o proteína.

Inclusive, el contenido de amilosa del maíz **16,80%** y zanahoria blanca **11,06%** tienen características apropiadas para el proceso de extrusión. Según Torres & Perez (2009) la cantidad de amilosa y amilopectina influyen directamente sobre la expansión de los productos extruidos. Para tener un producto inflado y quebradizo es recomendable que las materias primas para el proceso de extrusión contengan de **5% a 20%** de amilosa.

Adicionalmente, los gránulos de almidón de la zanahoria blanca son esféricos con un tamaño de (**9,57 μm**) más pequeños que el maíz (**12,70 μm**) por tal motivo tienen la capacidad de absorber menor cantidad de agua. Según Barrera, Tapia & Monteros (2004) Algunas propiedades fundamentales de los almidones, como su mayor IAA e ISA, están relacionadas con el mayor tamaño de sus gránulos. Según Guy (2001) las moléculas más pequeñas permiten mucho más flujo en las paredes de las células y causan un aumento de la expansión.

Además el almidón de la zanahoria blanca tiene una temperatura de gelatinización de **58°C** a diferencia del maíz **67°C** es decir, necesita poca cantidad calor para pasar de su estado nativo al amorfo. Durante la gelatinización del almidón los puentes de hidrógeno intermoleculares de las zonas amorfas se rompen y continúa la absorción de una mayor cantidad de agua (Barrera , Tapia, & Monteros , 2004).

Las mezclas utilizadas en la presente investigación fueron sometidas al análisis físico químico, la (**Tabla 28**) detalla los resultados correspondientes a cada uno de los parámetros analizados con el objetivo de determinar las condiciones de entrada de cada matriz alimentaria.

La composición de las mezclas tiene diferentes roles funcionales que contribuyen al perfil de calidad de los productos finales, que es definido por su textura, apariencia, sabor y perfil nutricional. Los productos extruidos tienen matrices estructuradas básicas que están formadas por los biopolímeros de almidón y

proteína en las materias primas, como las harinas de cereales y tubérculos, que son alimentos ricos en almidón, o materiales de soya, gluten de trigo y harina de pescado que son proteínas (Bouvier & Campanella, 2014).

Tabla 28. Composición nutricional de las mezclas

Parámetros		Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
		maíz 85% Z. blanca 15%	maíz 90% Z. blanca 10%	maíz 95% Z. blanca 5%
Humedad	%	7,60	7,52	7,23
Proteína	%	7,75	7,86	7,89
Lípidos	%	1,29	1,21	0,99
Cenizas	%	0,91	0,99	1,14
Carbohidratos	%	80,8	80,4	79,61
Fibra	%	1,54	1,30	1,21

El contenido de humedad de las mezclas (**Tabla 28**) reportó condiciones aptas para el procesamiento de alimentos extruidos. Según (Lusas & Rooney, 2010) el contenido de humedad afecta la expansión, una mezcla excesivamente seca requiere más tiempo para rehidratarse durante la extrusión y puede requerir un pre-acondicionamiento.

En cuanto al contenido de proteína en las mezcla variaron entre **7,75%** y **7,89%**, donde la mayor concentración está en la **Mezcla 3**, debido a la mínima sustitución de maíz por zanahoria blanca. La proteína tiene un efecto negativo sobre la expansión. Según (Joy de Acero et al., 2002) las proteínas son biopolímeros con gran número de grupos químicos reactivos y sensibles a cambios durante la extrusión.

Con respecto a la fibra, la **Mezcla 1** posee mayor concentración en relación a la **Mezcla 3** (**1,54%** y **1,21%**) respectivamente, por motivo de mayor sustitución de zanahoria blanca por el maíz. Por un lado, los lípidos benefician al momento de la extrusión teniendo en cuenta lo mencionado por (Ramachandra & Thejaswini, 2015) los lípidos tienen una influencia poderosa en la extrusión actuando como lubricantes, dado que reducen la fricción entre las partículas en la mezcla y entre las superficies del tornillo, el barril y el fluido fundido

Además, la zanahoria blanca contiene grandes cantidades de almidón, en especial de amilopectina, considerándose como una alternativa en la obtención de alimentos extruidos. Según (Maskan & Altan, 2011), la cantidad y el tipo de azúcares presentes en la matriz alimentaria influyen en la estabilidad de los aminoácidos durante la extrusión. En efecto los azúcares reductores y la sacarosa, pueden reaccionar con la lisina, lo que reduce el valor nutricional de la proteína.

4.2. VARIABLES FÍSICO QUÍMICAS EVALUADAS EN EL EXTRUIDO.

La evaluación de los parámetros nutricionales del extruido se realizó mediante un análisis de varianza (**Tabla 29**) de las propiedades físico-químicas, como son: humedad, proteína, lípidos, carbohidratos y fibra.

El análisis de varianza de las variables físico químicas del extruido (**Tabla 29**), reporta que los tratamientos de proteínas y fibra presentan alta significancia estadística al ($p \leq 0.01$) mientras, los carbohidratos son significativos al ($p \leq 0.05$) por el contrario, la humedad y lípidos no son significativos. El factor **A** (mezcla de materias primas) es altamente significativo en proteína y fibra, mientras que la humedad, lípidos y carbohidratos no son significativos. El factor **B** (diámetro de la boquilla) y las interacciones no presentan significancia estadística para ninguna de las variables estudiadas.

Tabla 29. Análisis de varianza de las variables físico químicas del extruido.

Fuentes de variación	Gl	Humedad F-valor	Proteína F-valor	Lípidos F-valor	Carbohidratos F-valor	Fibra F-valor
Total	17					
Trat	5	1,51 ^{NS}	15,01 ^{**}	2,84 ^{NS}	2,84 [*]	30,45 ^{**}
A	2	1,57 ^{NS}	35,98 ^{**}	1,96 ^{NS}	1,96 ^{NS}	74,96 ^{**}
B	1	0,14 ^{NS}	0,27 ^{NS}	4,14 ^{NS}	4,14 ^{NS}	1,8 ^{NS}
A x B	2	2,13 ^{NS}	1,41 ^{NS}	3,06 ^{NS}	3,06 ^{NS}	0,26 ^{NS}
E. Exp	12					

*: Significativo al 5 %; **: Altamente significativo al 1 %; NS: No significativo

La **Tabla 30** muestra el resumen de Tukey de todos los análisis físico químicos estudiados. Donde los mejores tratamientos son aquellos categorizados con la letra **(a)**.

Tabla 30. Resumen del análisis físico-químico de los extruidos.

Trat	Humedad	Proteína	Lípidos	Carbohidratos	Fibra
T1	5,23±0,11 a	6,87±0,12 b	0,70±0,04 a	84,88±0,18 b	0,37±0,02 a
T2	4,65±0,51 a	6,74±0,13 b	0,61±0,02 a	85,78±0,44 ab	0,39±0,01 a
T3	4,35±0,17 a	7,09±0,03 b	0,66±0,03 a	86,00±0,19 ab	0,29±0,03 b
T4	4,91±0,82 a	7,06±0,09 b	0,68±0,03 a	85,42±0,75 ab	0,29±0,01 b
T5	4,29±0,59 a	7,28±0,09 a	0,65±0,03 a	86,20±0,60 a	0,22±0,03 c
T6	4,58±0,40 a	7,26±0,09 a	0,60±0,06 a	85,94±0,34 ab	0,24±0,03 bc

4.1.1. HUMEDAD.

El análisis de varianza para humedad (**Tabla 29**) no reportó significancia estadística. En efecto, el factor **A** (mezcla de materias primas) y el factor **B** (diámetro de la boquilla) no influyen en la humedad de los extruidos. Se concluyó que para elaborar alimentos extruidos a base de maíz y zanahoria blanca se puede utilizar cualquiera de los tratamientos planteados en este estudio.

Según Maskan & Altan, (2011) el agua afecta a la temperatura de gelatinización y tiene un efecto significativo sobre la viscosidad de los materiales alimenticios. Cuando la viscosidad de la masa fundida disminuye, se necesita menor energía mecánica causando una mayor densidad del producto. Por lo tanto, la presión del troquel generalmente disminuye al aumentar el contenido de humedad.

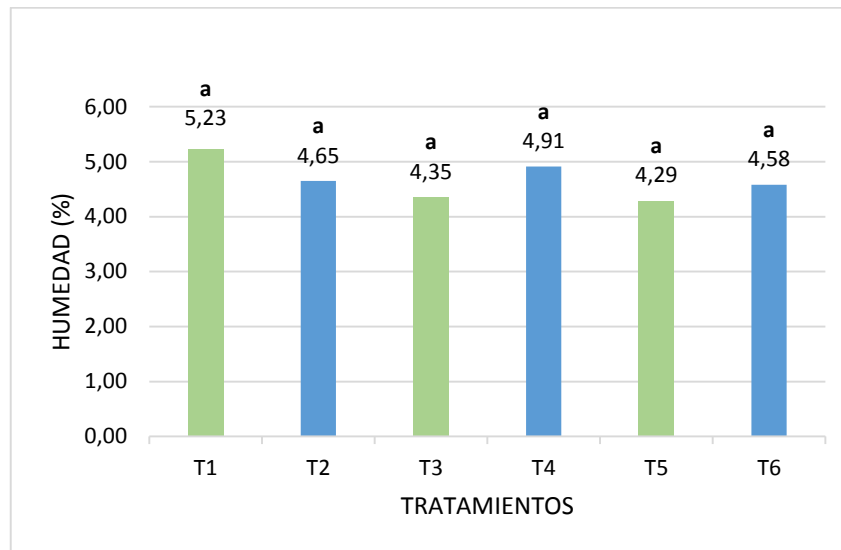


Figura 27. Humedad del extruido.

Los valores de humedad de los extruidos variaron entre **4,29%** y **5,23%** (**Figura 27**), todos los tratamientos cumplen con las especificaciones establecidas en la Norma técnica colombiana para extruidos expandidos a base de cereales (**NTC, 3652**) la cual menciona que un alimento extruido debe tener como límite máximo **5%** de humedad.

La humedad en los extruidos disminuyó en relación a las mezclas de la matriz alimentaria por efecto de alta temperatura dentro del extrusor y la pérdida de ésta a la salida de la boquilla. Según (Valenzuela et al., 2011) la pérdida de humedad se produce a la salida de la boquilla del extrusor por el diferencial de presiones entre el equipo y el medio ambiente, está pérdida de humedad es ocasionada de manera repentina e instantánea, cuando el material se expande a la salida del extrusor.

Inclusive, (Cerón, Legarda, Enríquez, & Portilla, 2016) en su investigación considera a la extrusión como un proceso de alta temperatura y corto tiempo (HTST), durante el cual la humedad de las materias primas se elimina por efecto de la temperatura.

4.1.2. PROTEÍNA.

El análisis de varianza de proteína (**Tabla 29**) reportó alta significancia estadística ($p < 0.01$) para los tratamientos y para el factor **A** (mezcla de materias primas), por

el contrario, el factor **B** (diámetro de la boquilla) no presentó significancia estadística.

La prueba de Tukey al 5% (**Tabla 30**) categorizó en el rango (**a**) a los tratamientos **T5** (95% maíz - 5 % zanahoria blanca + 3 mm Ø de la boquilla) y **T6** (95% maíz - 5 % zanahoria blanca + 5 mm Ø de la boquilla) considerándose apropiados para el proceso de extrusión debido al mayor contenido de proteína **7,28%** y **7,26%** respectivamente.

Además, se realizó la prueba de diferencia mínima significativa DMS ($\alpha < 0.05$) para el factor **A** (mezcla de materias primas), donde se reportó tres rangos, destacándose el factor **A3** (95% maíz - 5 % zanahoria blanca) con un valor promedio de **7,27%** de proteína categorizándose en el mejor rango (**a**) en relación a los factores **A1** y **A2** (**Anexo 1**), evidenciando que al disminuir la sustitución maíz por zanahoria blanca, el extruido presentó mayor contenido de proteína.

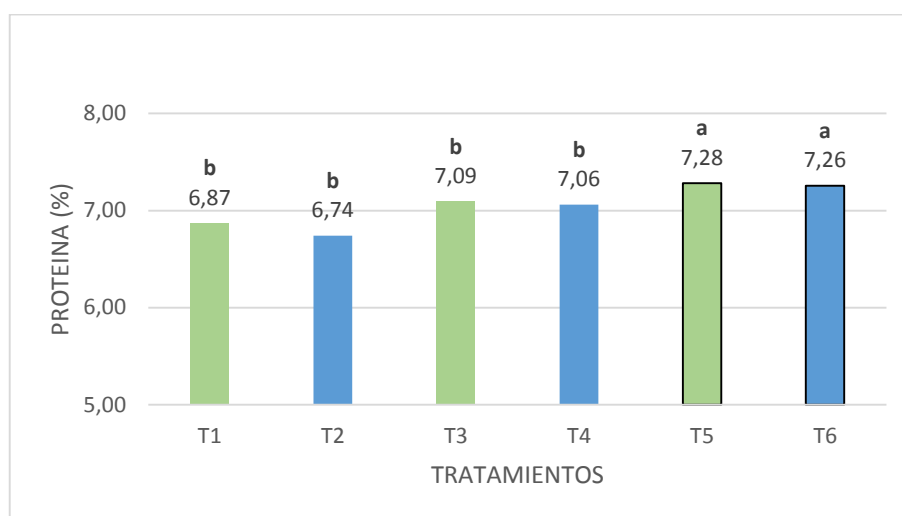


Figura 28. Proteína del extruido.

Los valores de proteína de los extruidos variaron entre **6,74%** y **7,28%**, donde los tratamientos **T5** y **T6** (95% maíz - 5 % Z. Blanca + 3 mm Ø de la boquilla) (95% maíz - 5 % Z. Blanca + 5 mm Ø de la boquilla) respectivamente son aceptados para el proceso de extrusión por tener mayores concentraciones de proteína, y cumplir con las especificaciones de la Norma Técnica Colombiana (**NTC, 3652**), la cual menciona que un producto extruido debe tener como mínimo **3%** de proteína para ser un producto aceptable.

Además, se observó que mientras disminuye la de zanahoria blanca en las mezclas de la matriz alimentaria, los valores de proteína en los tratamientos **T5** y **T6** tienen mayor contenido de proteína (**Figura 28**), esto debido a que el maíz aporta mayor concentración de proteína en las mencionadas mezclas.

La concentración de proteína en los extruidos disminuyó en relación a las mezclas de la matriz alimentaria, por la desnaturalización que sufren las proteínas por acción del calor y la cizalladura durante el proceso. Según (Cerón, Legarda, Enríquez, & Portilla, 2016) la extrusión contribuye a la desnaturalización de las proteínas mejorando su digestibilidad, pues estas son muy vulnerables al calor y a temperaturas superiores 60°C, donde ocurren cambios en la estructura nativa de la proteína dando lugar a varias reacciones químicas en la propia molécula proteica, o bien entre distintas proteínas, además participan con los hidratos de carbono (sobre todo los azúcares reductores), en la reacción de Maillard.

Las proteínas son biopolímeros con una gran cantidad de grupos químicos en comparación con polisacáridos, por lo tanto, son más reactivos y experimentan muchos cambios durante la extrusión proceso, siendo la desnaturalización más importante. Durante la extrusión, los enlaces disulfuro son rotos y pueden volver a formarse (Ramachandra & Thejaswini, 2015).

Así mismo, Valls (1993) en su investigación menciona que a medida que la temperatura se eleva, la proteína se perjudica radicalmente perdiendo su estructura nativa, además las proteínas son desnaturalizadas y rotas por la extrusión y pierden por tanto sus propiedades funcionales.

Por el contrario, (Lusas & Rooney, 2010) afirman que las materias primas con alto contenido de proteína afecta a la extrusión ya que la proteína es un índice de almidón (cuanto más alta es la proteína, menor es el almidón) y puede afectar la expansión a niveles más altos.

4.1.3. LÍPIDOS.

El análisis de varianza de lípidos (**Tabla 29**) no reportó significancia estadística, reflejando que el factor **A** (mezcla de materias primas) y el factor **B** (diámetro de la boquilla) no afectan las cualidades nutricionales de los extruidos. Por lo tanto se

observa un solo rango (**a**) en todos los tratamientos de acuerdo a la prueba de Tukey 5% (**Tabla 30**), dado su similitud de dichos resultados.

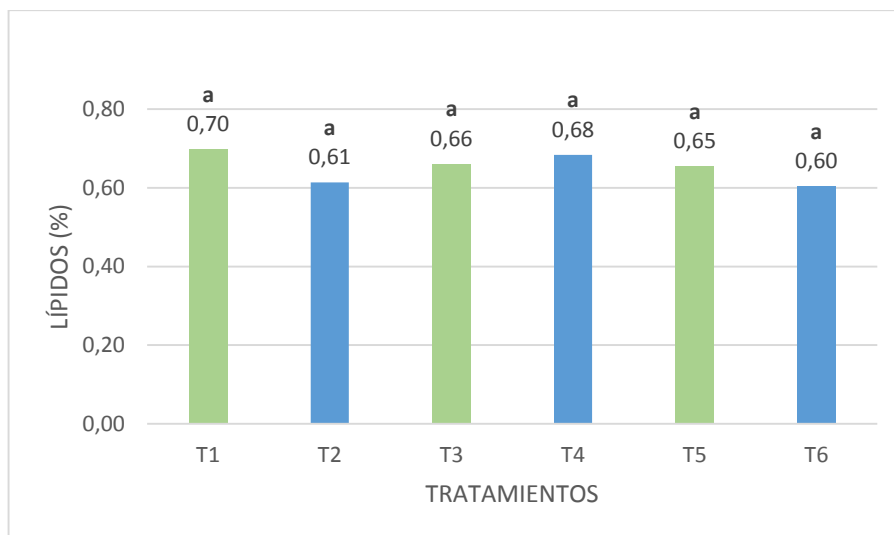


Figura 29. Lípidos del extruido

Los valores de lípidos de los extruidos variaron entre **0,60%** y **0,70%** (**Figura 29**) y cumplen con las especificaciones de la Norma Técnica Colombiana (**NTC, 3652**) la cual afirma que un producto extruido debe tener como máximo **5%** de lípidos para ser un producto nutricionalmente aceptable.

Los valores de lípidos en los extruidos disminuyeron en relación a las mezclas de la matriz alimentaria por que durante de extrusión los lípidos se emulsifican debido a la presión inyectada con el agua, causando que sean recubiertas por los almidones y proteínas quedando los lípidos encapsulados (Bressani, 2016).

Asimismo, (Llopart, 2011) menciona que la reducción del contenido de lípidos en los extruidos es el resultado de la oxidación, hidrogenación, isomerización o polimerización. Cabe recalcar que la extensión de la hidrogenación y la isomerización de los ácidos grasos que tiene lugar durante la extrusión son pequeños y no son nutricionalmente significativos.

El contenido de lípidos de todos los tratamientos de la presente investigación son aceptables ya que según (Valls, 1993) los lípidos al ser emulsionados son más atacables por los jugos digestivos, y también aumenta la energía del producto.

Generalmente las lipasas y peroxidasas son inactivadas durante el proceso de extrusión en condiciones normales, mejorando la estabilidad posterior del producto.

4.1.4. CARBOHIDRATOS.

El análisis de varianza de carbohidratos (**Tabla 29**) reportó significancia estadística ($p < 0.05$) para tratamientos mientras que para factores **A** y **B** no son significativos.

La prueba de Tukey al 5% (**Tabla 30**) categorizó en el rango (**a**) al tratamiento **T5** (95% maíz – 5% Blanca + 3 mm Ø de la boquilla) considerándose apropiado para el proceso de extrusión debido a la mayor concentración de carbohidratos **86,20%**. Sin embargo los tratamientos **T2, T3, T4 y T6**, también presentan buenas características para la extrusión ya que los carbohidratos no fueron afectados drásticamente.

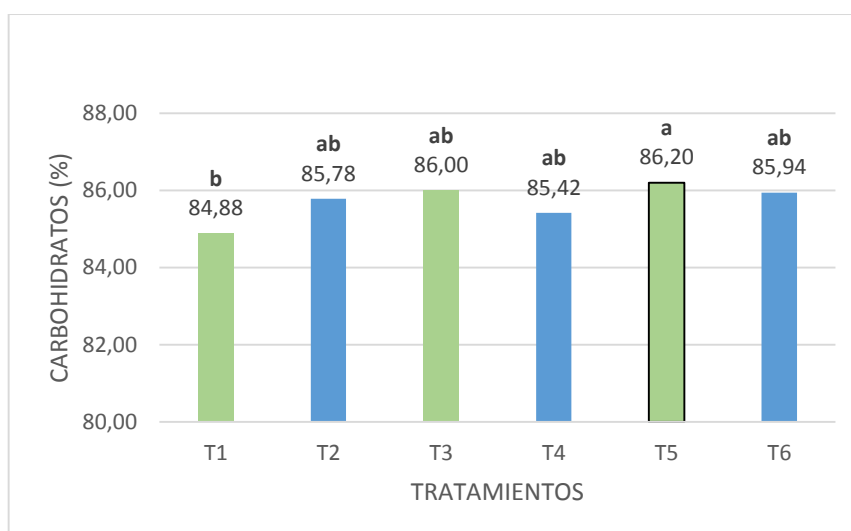


Figura 30. Carbohidratos del extruido.

Los valores de carbohidratos variaron entre **84,88%** y **85,94%**, donde el tratamiento **T5** (95% maíz - 5% zanahoria blanca + 3 mm Ø de la boquilla) es el más aceptado para el proceso de extrusión por tener la mayor concentración de carbohidratos **86,20%** (**Figura 30**). Al mismo tiempo, cumple con la (**NTC, 3652**), la cual menciona que un producto extruido debe tener como máximo **95%** de carbohidratos para ser un producto aceptable.

La concentración de carbohidratos en los extruidos aumentó en relación a las mezclas de la matriz alimentaria por la degradación molecular causada por altas

temperaturas, humedad y velocidad del tornillo del extrusor. El incremento en la concentración de carbohidratos es similar al estudio de Cerón et al. (2016) donde las harinas extruidas presentaron un aumento significativo en el contenido de carbohidratos, posiblemente debido a que durante el proceso de extrusión ocurren cambios en la estructura micro y macromolecular del almidón, hay una modificación de la cristalinidad por efecto de la gelatinización y rompimiento de las cadenas de amilosa y amilopectina.

Asimismo, la gelatinización ocurre a niveles de humedad relativamente bajos (12% a 22%) durante la extrusión que en otras operaciones de alimentos. La tasa de gelatinización tiende a aumentar con el aumento de la temperatura de masa, el corte y la presión. Otros compuestos alimenticios, particularmente lípidos, fibra dietética y sales, también afectan la gelatinización (Maskan & Altan, 2011).

Por otro lado, el tratamiento **T1** (85% maíz - 5% zanahoria blanca + 3 mm Ø de la boquilla) presenta menor concentración de carbohidratos en relación a los demás tratamientos, siendo el tratamiento con mayor sustitución de zanahoria blanca en la mezcla, es decir a medida que disminuye el porcentaje de sustitución de zanahoria blanca aumenta la concentración de carbohidratos.

El control de las reacciones de carbohidratos durante la extrusión es fundamental para la calidad nutricional y sensorial del producto, ya que estas moléculas representan una parte importante de muchos alimentos extruidos (Maskan & Altan, 2011).

4.1.5. FIBRA.

El análisis de varianza de fibra (**Tabla 29**), reportó alta significancia estadística ($p < 0.01$) para tratamientos y para el factor **A** (mezcla de materias primas), por el contrario el factor **B** (diámetro de boquilla) no presentó significancia estadística.

La prueba de Tukey al 5% (**Tabla 30**), categorizó en el rango (**a**) a los tratamientos **T2** (85% maíz – 15% Z. Blanca + 5 mm Ø de la boquilla) y **T1** (85% maíz – 15% Z. Blanca + 3 mm Ø de la boquilla), considerándose apropiados para el proceso de extrusión debido al mayor contenido de fibra **0,39%** y **0,37%** respectivamente.

Al realizar la prueba DMS ($\alpha < 0.05$) para el factor **A** (mezcla de materias primas), se observó tres rangos, destacándose el factor **A1** (85% maíz – 15 % zanahoria blanca) con un valor promedio de **0,38%** de fibra categorizándose en el mejor rango (**a**) en relación a los factores **A2** y **A3** (**Anexo 2**), evidenciando que al aumentar la sustitución de maíz por zanahoria blanca, el extruido presenta mayor contenido de fibra.

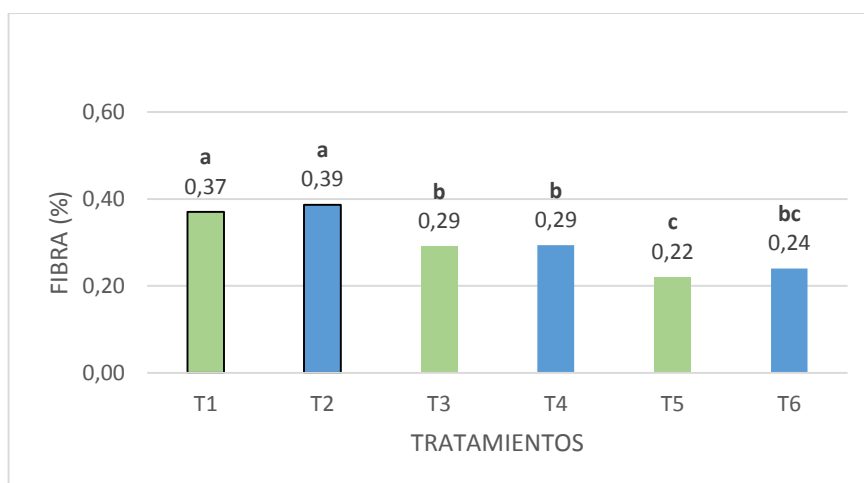


Figura 31. Fibra del extruido.

Los valores de fibra variaron entre **0,24%** y **0,37%**, donde los tratamientos **T1** y **T2** (85% maíz - 15 % Z. Blanca + 3 mm Ø de la boquilla), (85% maíz - 15 % Z. Blanca + 5 mm Ø de la boquilla) respectivamente, son aceptados para el proceso de extrusión por tener mejores concentraciones de fibra (**Figura 31**).

Se observó que mientras aumenta la sustitución de zanahoria blanca por maíz en las mezclas de la matriz alimentaria, se incrementa los valores de fibra en los extruidos (**Figura 31**). Esto debido a los cambios estructurales y modificación de las propiedades físico-químicas de la fibra durante la extrusión provocando una redistribución de fibra insoluble a fibra soluble debido a la ruptura de enlaces covalentes y no covalentes entre carbohidratos y proteínas asociadas a la fibra, resultando pequeños fragmentos moleculares, que serían más solubles.

Comportamiento similar de fibra se obtuvo en el estudio de (Cerón, Legarda, Enríquez, & Portilla, 2016), donde, el porcentaje de fibra presentó una disminución significativa ($p < 0,05$) en variedades de harina de quinua extruida; esta reducción

posiblemente se presenta porque la alta presión, la temperatura elevada y la cizalla que se presenta durante la extrusión fragmenta moléculas más grandes de hidratos complejos de carbono en moléculas más pequeñas que son solubles en agua, al igual los fragmentos de fibra se unen para formar complejos grandes con otros compuestos y participan en la reacción de Maillard.

La fibra afecta al producto extruido ya que según (Yagc & Fahrettin, 2007) a diferencia de las proteínas y almidón, la fibra es un polisacárido capaz de unirse fuertemente al agua durante la extrusión, inhibiendo la pérdida de agua en la matriz, lo cual provoca la reducción en la expansión y aumento en la densidad aparente.

4.3. PROPIEDADES FUNCIONALES DEL EXTRUIDO.

La evaluación de los propiedades funcionales del extruido; índice de expansión (IE), densidad aparente (DA), índice de solubilidad en agua (ISA), índice de absorción de agua (IAA) se realizó mediante un análisis de varianza (**Tabla 31**)

Tabla 31. Análisis de varianza de las propiedades funcionales del extruido

Fuente de variación	GI	Índice de expansión F-valor	Densidad aparente F-valor	Índice de solubilidad en agua F-valor	Índice de absorción de agua F-valor
Total	17				
Trat.	5	133,59 **	11,77 **	13,25 **	3,22 *
A	2	74,08 **	25,61 **	31,72 **	7,24 **
B	1	517,03 **	6,04 NS	2,20 NS	0,04 NS
A x B	2	1,39 NS	0,79 NS	0,31 NS	0,80 NS
E. Exp	12				

*: Significativo al 5 %; **: Altamente significativo al 1 %; NS: No significativo

La **Tabla 32** muestra el resumen del análisis de Tukey de todas las propiedades funcionales estudiadas. Donde los mejores tratamientos son aquellos categorizados con la letra (**a**).

Tabla 32. Resumen de las propiedades funcionales de los extruidos.

Trat	Índice de expansión	Densidad	Índice de solubilidad en agua	Índice de absorción de agua
T1	2,60±0,19 cd	0,22±0,01 bc	16,36±1,34 c	4,14±0,20 b
T2	2,00±0,20 c	0,25±0,03 c	15,80±0,58 c	3,91±0,40 b
T3	3,89±0,19 ab	0,19±0,01 ab	17,92±0,14 b	4,62±0,03 ab
T4	3,20±0,20 c	0,22±0,01 bc	17,24±0,24 b	4,22±0,64 b
T5	5,45±0,19 a	0,16±0,02 a	19,12±0,04 a	5,30±0,75 a
T6	4,78±0,20 ab	0,17±0,02 a	19,00±0,30 a	5,26±0,58 a

4.3.1. ÍNDICE DE EXPANSIÓN (IE).

El análisis de varianza del Índice de Expansión (**Tabla 31**) reportó alta significancia estadística ($p < 0.01$) para los tratamientos y para los factores **A** (mezcla de materias primas) y el factor **B** (diámetro de la boquilla).

La prueba de Tukey al 5% (**Tabla 32**) categorizó con el rango (**a**) al tratamiento **T5** (95% maíz – 5% zanahoria blanca + 3 mm Ø de la boquilla) considerándose apropiado para el proceso de extrusión por presentar el mayor índice de expansión (**5,44 %**). Sin embargo los tratamientos **T6** y **T3**, también poseen características aceptables para la extrusión.

Al realizar la prueba DMS ($\alpha < 0.05$) para el factor A (mezcla de materias primas), se observó tres rangos, destacándose el factor **A3** (95% maíz – 5 % zanahoria blanca) con un valor promedio de **4,32%** de expansión categorizándose en el mejor rango (**a**) en relación a los factores **A1** y **A2**. Asimismo, el factor **B** (diámetro de la boquilla), reportó dos rangos destacándose el factor **B1** (3mm Ø de boquilla) con un valor promedio de **4,70 %** de Índice de expansión categorizándose en el mejor rango (**a**) (**Anexo 3**), evidenciando que a menor diámetro de boquilla el índice de expansión del extruido aumenta.

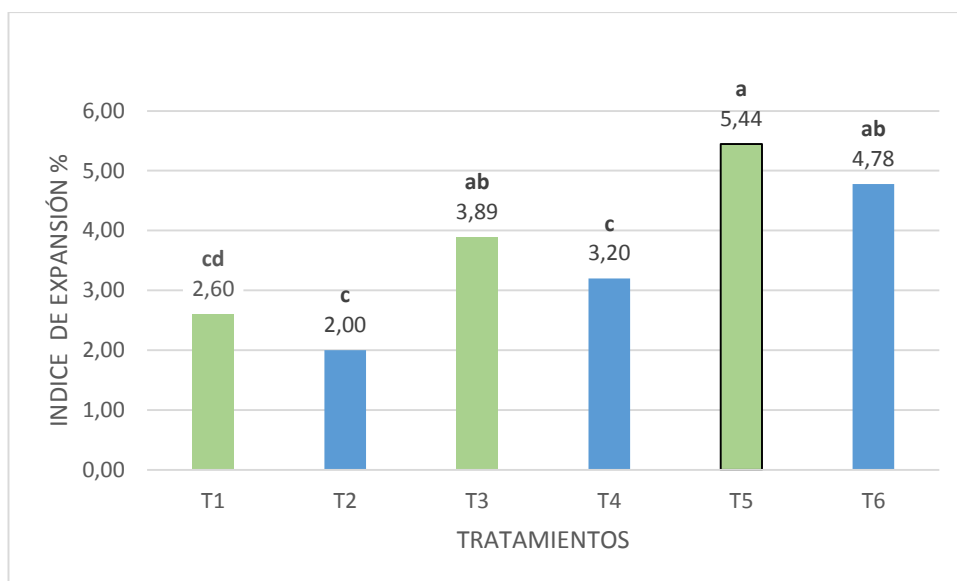


Figura 32. Índice de expansión (IE).

Los valores del índice de expansión variaron entre **2,60%** y **5,44%**. Se observó que mientras disminuye la sustitución de maíz por zanahoria blanca en las mezclas de la matriz alimentaria, se incrementa los valores del índice de expansión en los extruidos (**Figura 32**). Esto debido al mayor contenido de amilopectina del maíz (**63,20%**) en relación a la zanahoria blanca (**49,72%**), según lo mencionado por Olaf & Pérez (2009) la cantidad amilopectina influyen directamente sobre la expansión de los extruidos. Por otro lado, la amilosa de las materias primas maíz (**16,80%**) y zanahoria blanca (**11,06%**) son aceptables para la extrusión de acuerdo con Ramírez (2017) menciona que la amilosa conduce a tener productos más duros y menos expandidos. Por esta razón no se recomiendan almidones con un nivel de amilosa superior al 20%, para obtener extruidos crocantes y de textura aceptable.

Los tratamientos **T1**, **T3**, **T5** realizados con la boquilla de **3mm** de diámetro presentaron mayor expansión con relación a los tratamientos **T2**, **T4**, **T6** realizados con la boquilla de 5mm, esto se puede atribuir al incremento de la fricción generado dentro del cañón por el menor diámetro de la boquilla provocado por un diferencial de presiones entre el equipo y el medio ambiente, esto produce la pérdida de la humedad de manera repentina, e instantáneamente el material extrudido se expande a la salida del extrusor (Valenzuela et al., 2011).

Los extruidos con menor índice de expansión fueron afectados por la cantidad de fibra que aporta la zanahoria blanca respecto al maíz, **4,81%** y **0,85%** respectivamente. Como se ha mencionado anteriormente (Yagc & Fahrettin, 2007) menciona a la fibra como un polisacárido capaz de unirse fuertemente al agua durante la extrusión, inhibiendo la pérdida de agua en la matriz, lo cual provoca la reducción en la expansión y aumento en la densidad aparente.

En general la expansión está influenciada directamente por humedad de las materias primas, velocidad del tornillo y la temperatura de procesamiento. Según (Ramachandra & Thejaswini, 2015) la expansión aumenta con el aumento de la temperatura, y cuando el contenido de humedad del material está cerca del **20%**, debido a la menor viscosidad, lo que permite una expansión más rápida del fundido masa, o debido a un aumento en la presión de vapor de agua.

4.3.2. DENSIDAD APARENTE (DA).

El análisis de varianza de la densidad aparente (**Tabla 31**) reportó alta significancia estadística ($p < 0.01$) para los tratamientos, para el factor **A** (mezcla de materias primas) y el factor **B** (diámetro de la boquilla).

La prueba de Tukey al 5% (**Tabla 32**) categorizó en el rango (**a**) al tratamiento **T5** y **T6** (95% maíz – 5% Z. Blanca + 3 mm Ø de la boquilla), (95% maíz – 5% Z. Blanca + 3 mm Ø de la boquilla) respectivamente; considerándose apropiados para el proceso de extrusión por presentar la menores valores de densidad aparente, sin embargo el tratamiento **T3** también posee características aceptables para la extrusión.

Al realizar la prueba DMS ($\alpha < 0.05$) para el factor **A** (mezcla de materias primas), se observa tres rangos, destacándose el factor **A3** (95% maíz – 5 % zanahoria blanca) con un valor promedio de **0,16 g/cm³** de densidad aparente categorizándose en el mejor rango (**a**) en relación a los factores **A1** y **A2**.

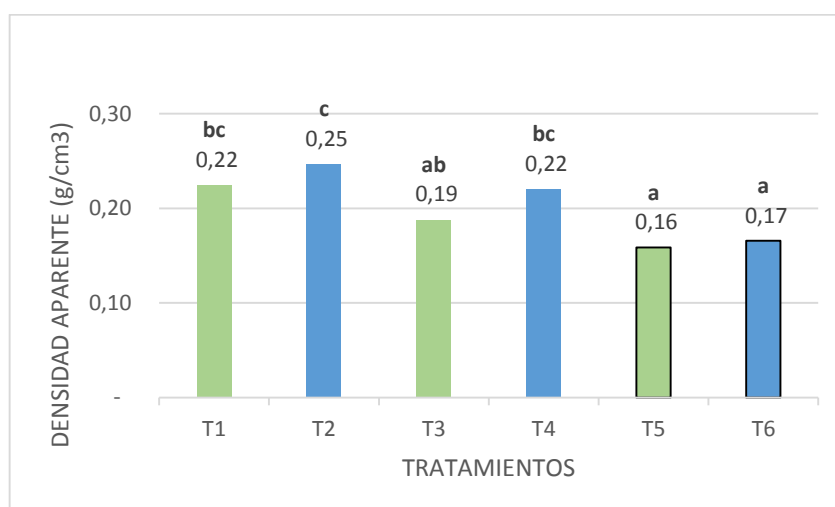


Figura 33. Densidad aparente (DA).

La **Figura 33** reportó que mientras disminuye la sustitución de zanahoria blanca por maíz en las mezclas de la matriz alimentaria, la densidad aparente es menor en los extruidos, esto favorece a las condiciones funcionales del alimento.

La menor densidad obtenida en el tratamiento **T5** y **T6** se atribuye al maíz, ya que aporta mayor contenido de amilopectina dando como resultado mayor expansión, por lo tanto, menor densidad aparente en el alimento. Además, este tratamiento se realizó con la boquilla de menor diámetro 3mm lo cual disminuyó la densidad aparente.

Según los resultados reportados, la densidad aparente es inversamente proporcional al índice de expansión del producto extruido. Dicha relación inversa, concuerda con lo mencionado por (Valenzuela et al., 2016) la densidad aparente es inversamente proporcional al índice de expansión, además depende de la formulación de ingredientes, la temperatura y velocidad de tornillo del extrusor. La presencia de lípidos y proteína, son factores que disminuyen el índice de expansión y aumentan la densidad aparente. También cabe mencionar que la DA disminuye al incrementar el contenido de amilosa (Valenzuela et al., 2016).

4.3.3. ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA (ISA).

El análisis de varianza del índice de solubilidad en agua (**Tabla 31**) reportó alta significancia estadística ($p < 0.01$) para tratamientos y para el factor **A** (mezcla de materias primas).

La prueba de Tukey al 5% (**Tabla 32**) categorizó con el rango (**a**) a los tratamientos **T5** y **T6** (95% maíz – 5% zanahoria blanca + 3 mm Ø de la boquilla), (95% maíz – 5% zanahoria blanca + 5 mm Ø de la boquilla) considerándose apropiados para el proceso de extrusión por presentar altos índices de solubilidad en agua.

Al realizar la prueba DMS ($\alpha < 0.05$) para el factor **A** (mezcla de materias primas), se observa tres rangos, destacándose el factor **A3** (95% maíz – 5% zanahoria blanca) con un valor promedio de **19,06%** de ISA categorizándose en el mejor rango (**a**) en relación a los factores **A1** y **A2** (**Anexo 5**), evidenciando que al disminuir el porcentaje de sustitución de la mezcla de las materias primas, el producto extruido presenta mayor ISA.

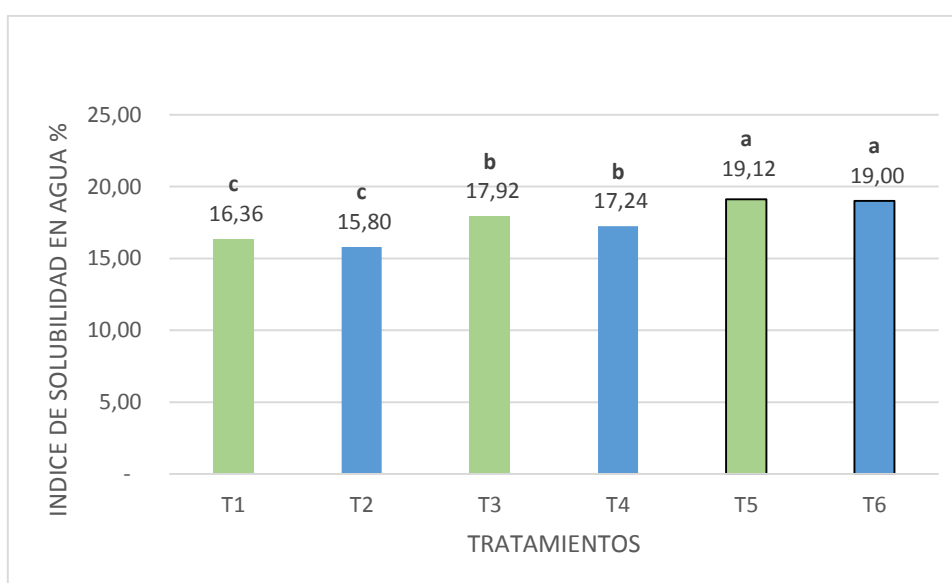


Figura 34. Índice de solubilidad en agua (ISA).

Los valores del índice de solubilidad variaron entre **16,36%** y **19,00%** (**Figura 34**). Se reportó que mientras disminuye la sustitución de zanahoria blanca por maíz en las mezclas de la matriz alimentaria, el índice de solubilidad en agua aumentó en

los extruidos, esto favorece a las condiciones funcionales del alimento ya que el ISA es usado como un indicador de la degradación molecular, mide el grado de conversión del almidón durante la extrusión que es la cantidad de polisacáridos solubles liberados del componente de almidón después de la extrusión.

El mayor índice de solubilidad en agua **19,12%** obtenido en el tratamiento **T5** (95% maíz – 5% Z. Blanca + 3 mm Ø de la boquilla) puede atribuirse al tamaño de los gránulos de almidón de maíz (**12,70 micras**) son de forma esférica y más grandes que los de zanahoria blanca (**9,57 micras**), y tienen la capacidad de absorber más cantidad de agua favoreciendo al proceso de extrusión ya que según Guy (2001) las moléculas más pequeñas permiten mucho más flujo en las paredes de las células y causar un aumento de la expansión.

Según Barrera, Tapia & Monteros (2004) algunas propiedades fundamentales de los almidones, como su mayor IAA e ISA, están relacionadas con el mayor tamaño de sus gránulos. Los resultados del ISA obtenidos son similares en la investigación de Yagc & Fahrettin (2007) el incremento del ISA que se encuentra en los productos extruidos se puede relacionar con los componentes de menor peso molecular, que se pueden separar con bastante facilidad cuando las condiciones de procesamiento son más severas. Entonces, los mayores valores de ISA pueden deberse a la desintegración de los gránulos de almidón.

La disminución del índice de solubilidad en agua puede atribuirse a la mayor composición de fibra de la zanahoria blanca (**4,81%**) respecto al maíz (**0,85%**), esto interrumpe en la ruptura de las moléculas limitando la expansión de los extruidos. Según Yagc & Fahrettin (2007) el índice de solubilidad en agua se ve afectado debido a que las moléculas de fibra rompen la estructura continua de la masa fundida en el extrusor, impidiendo la deformación elástica de la masa y al mismo tiempo disminuye la expansión del extruido.

En caso en que se desee elaborar un producto instantáneo donde las partículas de polvo formen una solución con el líquido, se debe dar mayor prevalencia al índice de solubilidad en agua (ISA) que está relacionado con la cantidad de sólidos solubles en una muestra seca y permite verificar el grado de severidad del

tratamiento en función de degradación, gelatinización, dextrinización y consecuente solubilización del almidón (Cerón, Legarda, Enríquez, & Portilla, 2016).

4.3.4. ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA (IAA)

El análisis de varianza del índice de absorción de agua (**Tabla 31**) reportó alta significancia estadística ($p < 0.01$) para tratamientos y para el factor **A** (mezcla de materias primas).

La prueba de Tukey al 5% (**Tabla 32**) categorizó con el rango (**a**) a los tratamientos **T5** y **T6** (95% maíz – 5% zanahoria blanca + 3 mm Ø de la boquilla), (95% maíz – 5% zanahoria blanca + 5 mm Ø de la boquilla) respectivamente; considerándose apropiados para el proceso de extrusión por presentar mejores valores de índice de absorción de agua.

Al realizar la prueba DMS ($\alpha < 0.05$) para el factor **A** (mezcla de materias primas), se observó dos rangos, destacándose el factor **A3** (95% maíz – 5% zanahoria blanca) con un valor promedio de **5,28%** de índice absorción de agua (IAA) con el mejor rango (**a**) en relación a los factores **A1** y **A2** (**Anexo 6**).

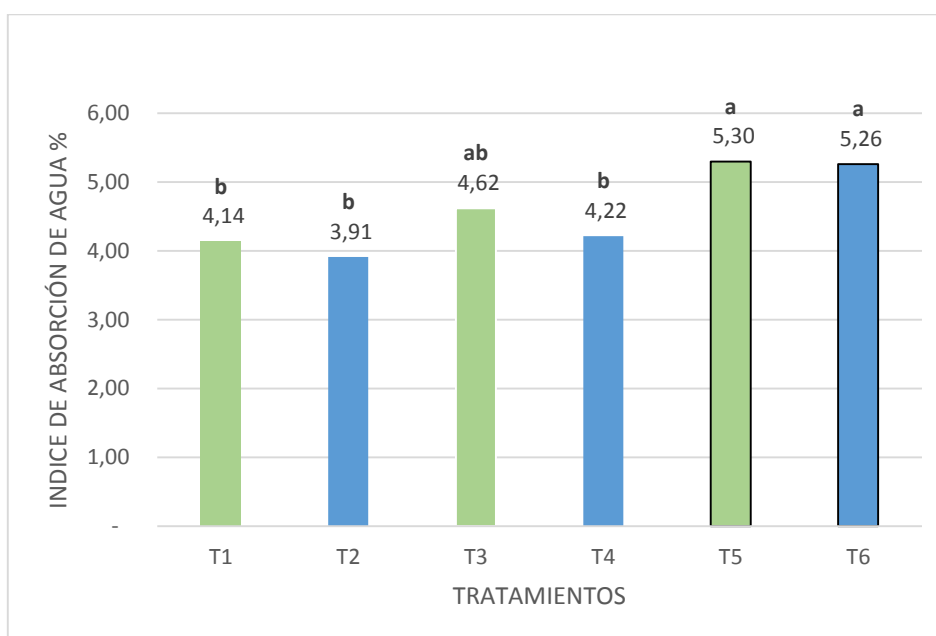


Figura 35. Índice de absorción de agua (IAA).

En la **Figura 35** se observa que los tratamientos **T5** y **T6** presentan valores de absorción de agua más altos en relación a todos los tratamientos, considerándolos como los más aceptados para el proceso de extrusión, ya que; Cerón et al. (2016) afirma al IAA como una medida del grado de gelatinización del almidón y medida de la capacidad de absorción de agua de los componentes del material después del proceso de extrusión, algo similar afirma Yagc & Fahrettin (2007) la absorción de agua se ha atribuido generalmente a dispersión de almidón en presencia de agua, y aumenta por el grado de degradación del almidón debido a la gelatinización y la fragmentación inducida por extrusión, es decir, la reducción molecular de amilosa y amilopectina.

Se observa que el IAA presenta incrementó en los tratamientos con menor contenido de zanahoria blanca (**T5, T6**) esto puede ser debido al menor contenido de amilopectina que contiene la zanahoria blanca en relación al maíz ya que según Valenzuela, et al. (2016) la amilopectina tiene mayor capacidad de absorción de agua con respecto a la amilosa, de tal manera que almidones con alto contenido de este polímero presentan mayor IAA.

También el aumento del IAA se puede atribuir al tamaño de los gránulos de almidón de los GM (12,7 micras) son más grandes que los de GZB (9,57 micras) y sufrieron un mayor daño en su estructura original por lo que tiene la capacidad de absorber más cantidad de agua. Según (Ramirez, 2017) los bajos valores de IAA reflejan el restringido acceso del agua a los almidones extruidos, asignados a una estructura compacta del extruido.

4.3.5. TEXTURA INSTRUMENTAL

Luego de obtener los datos de los tratamientos, se realizó un análisis de varianza de textura instrumental del extruido (**Tabla 33**) con la finalidad de conocer si existen diferencias significativas entre tratamientos.

Tabla 33. Análisis de varianza de la textura instrumental del extruido

Fuente de variación	GI	Punción F-valor	Corte guillotina F-valor
Total	59		
Tratamientos	5	86,88 **	51,66 **
A	2	148,53 **	37,21 **
B	1	61,64 **	147,27 **
A x B	2	NS	NS
E. Exp	54		

La **Tabla 34** muestra el resumen del análisis de Tukey de todas las propiedades funcionales estudiadas. Donde los mejores tratamientos son aquellos categorizados con la letra **(a)**.

Tabla 34. Resumen del análisis de textura en los extruidos.

Trat	Punción (N)	Corte guillotina (N)
T1	8,77±0,96 f	14,72±0,44 b
T2	7,91±0,57 e	15,48±0,57 c
T3	4,15±0,97 b	11,53±0,67 ab
T4	6,94±1,01 d	14,94±0,56 bc
T5	2,99±0,37 a	11,29±0,85 a
T6	5,66±0,23 c	14,87±0,72 bc

4.3.5.1. TEXTURA INSTRUMENTAL (Prueba de punción)

El análisis de varianza de textura instrumental (**Tabla 33**), reportó alta significancia ($p < 0.01$) estadística para los tratamientos, factor **A** (mezcla de materias primas) y el factor **B** (diámetro de la boquilla).

La prueba de Tukey al 5% (**Tabla 34**) categorizó en el rango **(a)** al tratamiento **T5** (95% maíz - 5 % zanahoria blanca + 3 mm Ø de la boquilla) considerándolo apropiado para el proceso de extrusión debido al menor valor de punción reportado.

La prueba DMS ($\alpha < 0.05$) para el factor **A** (mezcla de materias primas), reportó tres rangos, destacándose el factor **A3** (95% maíz – 5 % zanahoria blanca) en el mejor rango **(a)**. Asimismo, el factor **B** (diámetro de la boquilla), reportó dos rangos

destacándose el factor **B1** (3mm Ø de boquilla) con el mejor rango (**a**) (**Anexo 7**), es decir que el diámetro de la boquilla influye en la textura de los productos extruidos.

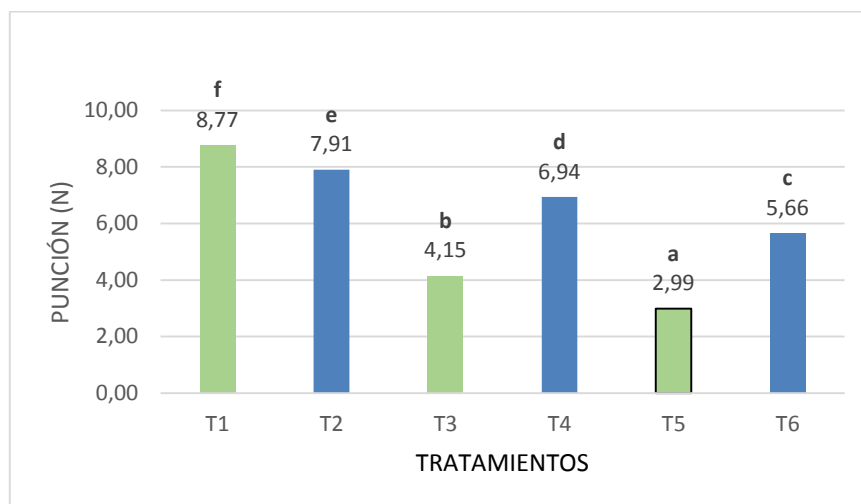


Figura 36. Textura instrumental (prueba de punción)

La prueba de punción es una técnica empírica que imita la mordedura de un alimento en la boca. Esta técnica implica compresión y cizallamiento de una muestra la cual mide la fuerza requerida para que una sonda penetre una muestra de alimento a una profundidad especificada. Las mediciones dependen de varios factores como el tamaño y la forma de la sonda, el tipo de alimento, la velocidad de carga y la cantidad de sondas en el probador (Kilcast, 2004).

En la **Figura 36** se observa que el tratamiento **T5** es apropiado para el proceso de extrusión debido a la mínima fuerza requerida por la sonda para penetrar al extruido. (Maskan & Altan, 2011) afirman que la fuerza máxima obtenida de un analizador de textura proporciona la dureza del producto.

Además, se observó que mientras disminuye la sustitución de zanahoria blanca por maíz en las mezclas de la matriz alimentaria, se reducen los valores fuerza aplicada en los extruidos (**Figura 36**). Esto debido a la mayor expansión y menor densidad obtenidas en estos tratamientos. Según (Valenzuela et al., 2011) la dureza de los productos extruidos es una percepción asociada con la expansión y celdas de aire de los extruidos, si el producto tiene una baja fuerza de corte, éste se quebrará fácilmente durante las operaciones de empaclado o su distribución, así mismo si el

producto tiene valores altos tendrá más dureza, siendo en el caso de los productos extruidos una percepción asociada con la expansión y celdas de aire de los extruidos.

Por otro lado, mientras disminuye el diámetro de la boquilla la textura de los extruidos presentó valores menores de fuerza aplicada en los extruidos. Esto debido a la mayor expansión y menor densidad reportada en aquellos tratamientos.

4.3.5.2. TEXTURA INSTRUMENTAL (prueba de corte guillotina).

El análisis de varianza de textura instrumental (**Tabla 33**), reportó alta significación estadística ($p < 0.01$) para los tratamientos, factor **A** (mezcla de materias primas) y el factor **B** (diámetro de la boquilla).

La prueba de Tukey al 5% (**Tabla 34**) categorizó en el rango (**a**) a los tratamientos **T5** (95% maíz – 5 % zanahoria blanca + 3 mm Ø de la boquilla) considerándolo apropiado para el proceso de extrusión debido al menores valor reportado.

La prueba DMS ($\alpha < 0.05$) para el factor **A** (mezcla de materias primas), reportó dos rangos, destacándose el factor **A3** (95% maíz – 5 % zanahoria blanca) en el mejor rango (**a**). Asimismo, el factor B (diámetro de la boquilla), reportó dos rangos destacándose el factor **B1** (3mm Ø de boquilla) con el mejor rango (**a**) (**Anexo 7**), es decir que el diámetro de la boquilla influye en la textura de los productos extruidos.

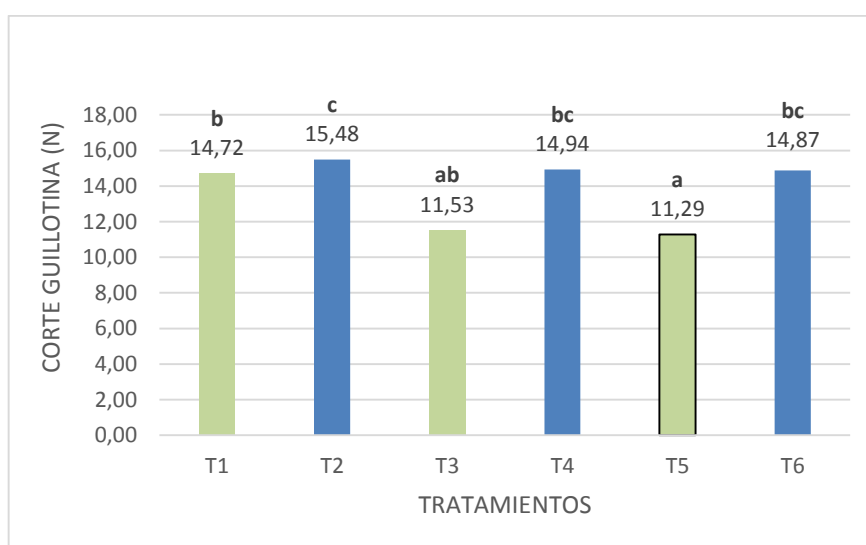


Figura 37. Textura instrumental (Prueba de corte guillotina)

La prueba de corte es una técnica que mide la fuerza necesaria para que una o más cuchillas corten el alimento, se suele suponer que la fuerza máxima mide la tenacidad, firmeza o fibrosidad de los extruidos (Kress-Rogers & Brimelow, 2001). Asimismo, (Kilcast, 2004) afirma que esta técnica se refiere a la acción de aplicar fuerza para cortar un objeto en dos piezas separadas. La dureza, nitidez y la fragilidad se han utilizado para evaluar la textura de los extruidos desarrollados a partir de subproductos alimentarios. La propiedad textural de un extruido se determina midiendo la fuerza requerida para romper el extruido.

La textura es usualmente descrita por el crujido y resistencia al corte, es uno de los parámetros de calidad más importantes para la industria y el consumidor, debido a que si el producto tiene una baja fuerza de corte, éste se quebrará fácilmente durante el empaquetado, durante su distribución, o de lo contrario si el producto tiene altos valores de fuerza de corte (dureza). La dureza en el caso de los productos extruidos es una percepción asociada con la expansión y celdas de aire de los extruidos (Valenzuela et al., 2011).

En la

Figura 37 se observa que el tratamiento **T5** es apropiado para el proceso de extrusión debido a la mínima fuerza requerida por la sonda para penetrar al extruido. (Maskan & Altan, 2011) afirman que la fuerza máxima obtenida de un analizador de textura proporciona la dureza del producto.

El tratamiento aun siendo realizado con mayor cantidad de zanahoria tiene el rango (a) esto debido a una relación a la boquilla que genera mayor presión y temperatura aumentando la cizalladura dentro del barril, lo que provoca una buena redistribución de la amilosa en el extruido.

Al igual que la prueba de punción se observó que mientras disminuye la sustitución de zanahoria blanca por maíz en las mezclas de la matriz alimentaria, se reducen los valores fuerza aplicada en los extruidos (

Figura 37), entonces se confirma que la zanahoria blanca perjudica la textura en los extruidos. Esto debido a la mayor expansión y menor densidad obtenidas en los resultados anteriores. Además según (Bressani, 2016) la textura de los alimentos

extruidos depende de los cambios producidos en el almidón, la cantidad de humedad presente, la temperatura con que se está llevando a cabo el proceso, la morfología y el tamaño de la partícula de la harina.

4.4. CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS Y DE ACEPTABILIDAD DEL EXTRUIDO.

La **Tabla 35** refleja el análisis de Friedman para las variables cualitativas realizados en los extruidos con la finalidad de determinar si existen diferencias entre los tratamientos.

Tabla 35. Análisis de Friedman para variables cualitativas

Variable	V. Calculado χ^2	Significancia	V. Tabular χ^2	
			5%	1%
Color	8,11	ns	11,07	15,08
Olor	5,67	ns	11,07	15,08
Sabor	11,83	*	11,07	15,08
Textura	11,77	*	11,07	15,08
Aceptabilidad	11,09	*	11,07	15,08

Luego de haber realizado la prueba de Friedman se observó diferencias significativas en las variables de sabor y textura y aceptabilidad mientras que para las variables color, olor no se encontró diferencias significativas es decir que los tratamientos presentan características similares.

4.1.6. COLOR.

En la **Figura 38** se observa la media de todos los tratamientos obtenidos por 10 consumidores que realizaron la degustación del extruido.

Para muchos productos alimenticios, los sentidos visuales son los primeros en ser utilizados por compradores, consumidores y asesores sensoriales capacitados (Szczeniak, 2002).

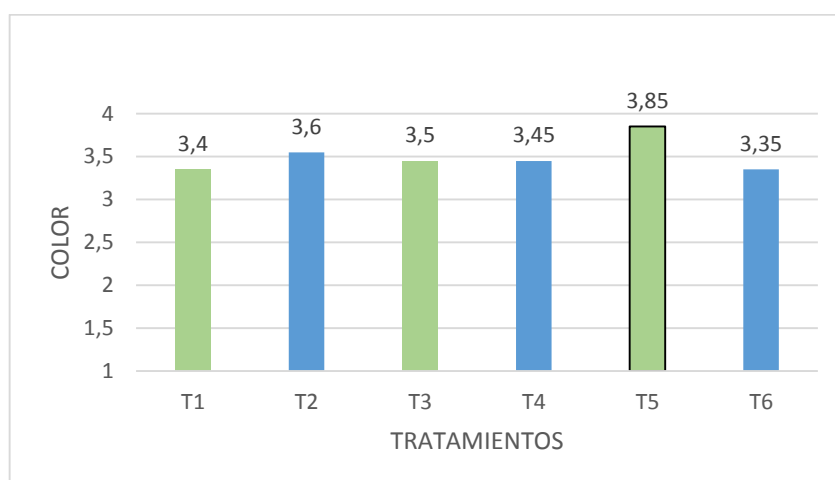


Figura 38. Color del extruido.

El color en los extruidos cambiará por la incorporación de subproductos de la industria alimentaria en las formulaciones y, además, las condiciones de extrusión afectan el color del producto terminado. Por lo tanto, es un factor de calidad importante directamente relacionado con la aceptabilidad del producto, considerando que es una propiedad física importante sobre productos extruidos (Maskan & Altan, 2011).

Los extruidos presentaron un color crema, debido al efecto de los porcentajes de mezclas de las materias primas en cada tratamiento, donde, el tratamiento **T5** (95% maíz – 5% zanahoria blanca + 3 mm Ø de boquilla) presenta un valor más alto con las mejores características. (Ramachandra & Thejaswini, 2015) mencionan que el color en los productos extruidos está influenciado por la temperatura, la composición de la materia prima, tiempo de residencia, presión y fuerza cortante.

En conclusión, se observó que mientras aumenta la sustitución de maíz por zanahoria blanca en las mezclas de la matriz alimentaria se torna el color crema oscuro y viceversa.

4.1.7. OLOR.

En la **Figura 39** se observa la media de todos los tratamientos obtenidos por 10 panelistas que realizaron la degustación del producto extruido

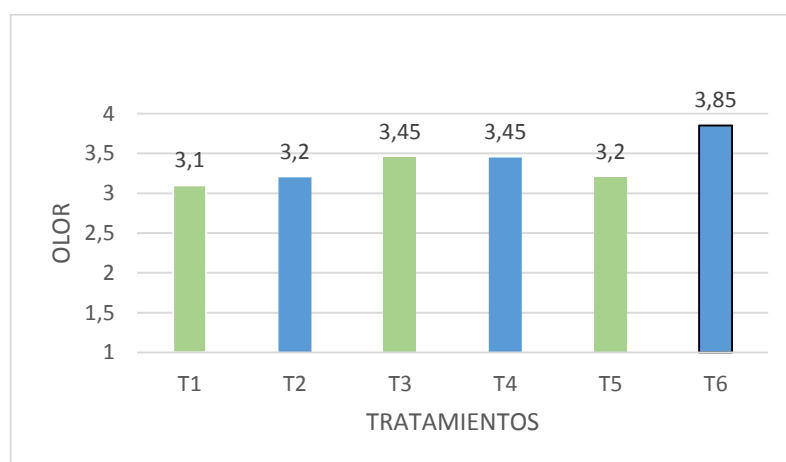


Figura 39. Olor del extruido.

El olor de los extruidos se apreció por sensaciones percibidas por el olfato de los degustadores, destacando que el producto no debe presentar olores fuertes y extraños que no sean propios del extruido.

Se observó que el tratamiento **T6** (95% maíz – 5% zanahoria blanca + 5 mm Ø de la boquilla) presenta el valor más alto, debido al menor contenido de zanahoria blanca en la mezcla de la matriz alimentaria. Se concluyó que mientras menos sustitución de zanahoria blanca por maíz el extruido presenta el olor característico de la zanahoria blanca proporcionando un buen olor al extruido.

4.1.8. SABOR.

En la **Figura 40** se observa la media de todos los tratamientos obtenidos por 10 panelistas que realizaron la degustación del producto extruido

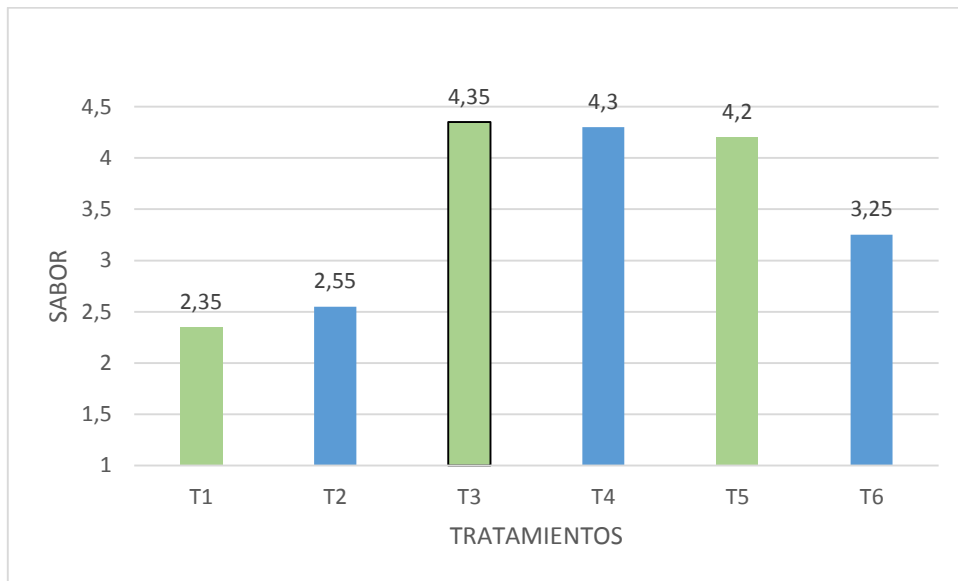


Figura 40. Sabor del extruido.

Las sensaciones en la boca y las características percibidas, incluyen atributos mecánicos (fuerza aplicada) y atributos geométricos como; forma, tamaño y orientación de las partículas del alimento (Maldo & Conti-Silva, 2013).

El sabor de los extruidos se apreció por sensaciones percibidas por el sentido del gusto, destacando que el producto no debe presentar sabores desagradables y extraños que no sean propios del extruido.

Se observó que el tratamiento **T3** (90% maíz – 10% zanahoria blanca + 3 mm Ø de la boquilla), reportó el mayor valor con las mejores características. Se concluyó que mientras disminuye la sustitución de zanahoria blanca por maíz el extruido presenta un sabor agradable.

4.1.9. TEXTURA.

En la **Figura 41** se observa la media de todos los tratamientos obtenidos por 10 panelistas que realizaron la degustación del producto extruido. Según (Bressani, 2016) la textura de los alimentos extruidos depende de los cambios producidos en el almidón, la cantidad de humedad presente, la temperatura con que se está llevando a cabo el proceso, la morfología y el tamaño de la partícula de la harina

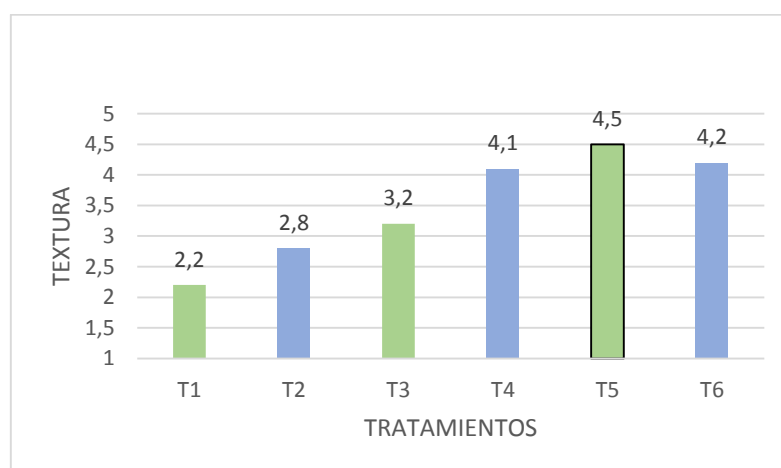


Figura 41. Textura del extruido.

La textura de los extruidos se apreció por sensaciones percibidas mediante la masticación, destacando que el producto no debe presentar sabores desagradables y extraños que no sean propios del extruido.

El tratamiento **T5** (95% maíz – 5% zanahoria blanca + 3 mm Ø de la boquilla), presenta el valor más alto con las mejores características. Este tratamiento fue el más aceptado por los degustadores afirmando que a menor porcentaje de sustitución de zanahoria blanca por maíz la textura final del extruido presenta mejor textura concordando con los valores de textura instrumental. Al mismo tiempo el mencionado tratamiento reporto la mayor expansión y menor densidad en los extruidos lo cual favorece a los extruidos.

4.1.10. ACEPTABILIDAD.

En la **Figura 42** se observa la media de todos los tratamientos obtenidos por 10 panelistas que realizaron la degustación del producto extruido.

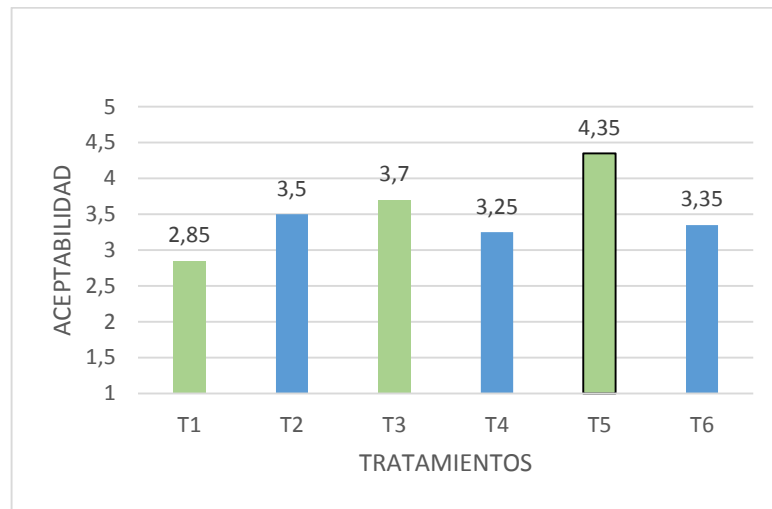


Figura 42. Aceptabilidad.

Se observó que el tratamiento **T5** (95% maíz – 5% zanahoria blanca + 3 mm Ø de la boquilla) presenta un valor más alto con las mejores características. Entonces mientras menor es la sustitución de maíz por zanahoria blanca, el extruido presenta una buena aceptabilidad por parte del consumidor.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con los resultados obtenidos, se determinó las siguientes conclusiones y recomendaciones.

CONCLUSIONES

- El análisis físico químico determinó que la zanahoria blanca presenta considerable contenido de fibra, carbohidratos, almidón y amilopectina, atribuyendo que la mezcla de los materiales mejoró las condiciones nutricionales en los extruidos.
- Se determinó que a mayor sustitución de zanahoria blanca (15%) correspondiente a los tratamientos T1 y T2, los extruidos presentaron mayor contenido de fibra. Por el contrario, se obtuvo extruidos con menor expansión y alta densidad aparente.
- Las mezclas de la matriz alimentaria tuvieron mayor efecto sobre las propiedades nutricionales y funcionales de los extruidos, mientras que el diámetro de la boquilla influyó negativamente en las propiedades funcionales al disminuir la expansión y con ello aumentar la densidad de los extruidos.

- El factor **A** y **B** influyeron significativamente sobre la textura instrumental, ya que a menor sustitución de zanahoria blanca (95% maíz 5 % zanahoria blanca) y menor diámetro de la boquilla (3 mm) los extruidos reportaron mejores características de textura instrumental.
- El análisis organoléptico determinó que los extruidos con menor sustitución de zanahoria blanca tuvieron las mejores características de color, olor, textura sensorial y de aceptabilidad del extruido

RECOMENDACIONES

- Utilizar un equipo de doble tornillo que permita extruir mezclas con mayor concentración de zanahoria blanca, ya que debido a las condiciones del equipo no se logró establecer mezclas grandes en esta investigación.
- Se debe tomar como un factor variable la humedad en la mezcla de la matriz alimentaria y la temperatura del cilindro ya que estas las condiciones mejoran la expansión en los alimentos extruidos.
- Variar la velocidad del tornillo tomando en cuenta la relación longitud y diámetro (L/D) que están atribuidas al perfil del tornillo y de esta manera determinar el efecto sobre las propiedades funcionales, nutricionales y organolépticas del extruido.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Adekola, K. A. (2015). Predictive equations and response surface analysis for sorghum grain extrudate. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 17(4), 247–256.
- Anton, A. A., & Luciano, F. B. (2007). Instrumental texture evaluation of extruded snack foods: A review. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5(4), 245–251. <https://doi.org/10.1080/11358120709487697>
- Arias, R. M., Pérez, G., & Durán, C. (2007). Condiciones de operación de extrusores de tornillo simple para mezclas de harina de trigo. Parte 2: Montaje, arranque y operación de una planta industrial. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 22, 67–77.
- Barrera, V., Brito, B., Caicedo, C., Cordova, J., Espín, S., Espinoza, P., ... Villacrés, E. (2004). Raíces y tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. In *Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003)* (Vol. 4).
- Beltrán, M., & Marcilla, A. (2012). Tema 4: Extrusión. *Tecnología de Polímeros*, 102–167.
- Bouvier, J.-M., & Campanella, O. H. (2014). *Extrusion Processing Technology*. <https://doi.org/10.1002/9781118541685>
- Brennan, J. G. (2012). Food Processing Handbook. In *Food Processing Handbook* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1002/3527607579>
- Bressani, R. (2016). “Cocción por extrusión de alimentos complementarios a base de maíz y leguminosas de grano secas , maduras e inmaduras sobre su valor tecnológico y nutritivo.” (01).
- Cabrera, C. (2013). *Procesos tecnologicos y calidad nutricional de los alimentos 1*. (1998).
- Cheftel. (1986). *Nutritional Effects of Extrusion-Cooking*. 20, 263–283.

- Guy. (2001). Extrusion cooking “Technologies and applications.” In *Extrusion cooking “Technologies and applications.”*
- Joy de Acero, C. J., Vernaza, M. G., Schmiele, M., Ferreira, E. R., & Chang, K. Y. (2002). *La extrusión termoplástica in Food Processing*. (2001).
- Karwe. (2009). *Food extrusion. III*.
- Kilcast, D. (2013). *Instrumental assessment of food sensory quality Related titles :*
<https://doi.org/10.1533/9780857098856.frontmatter>
- Kress-Rogers, E., & Brimelow, C. J. B. (2001). Instrumentation and sensors for the food industry. In *Woodhead Publishing Limited*.
- Ligarreto, G., Ballén, A., & Huertas, D. (2018). *Evaluación de las características cuantitativas de 25 accesiones de maíz (Zea mays L.) de la zona andina*.
- Llopart, E. (2011). *Efectos de las condiciones de extrusión en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de productos extrudidos de sorgo integral de bajo contenido de taninos*. 141.
- Lusas, E., & Rooney, L. (2010). *Snack foods processing*.
- Maskan, M., & Altan, A. (Eds.). (2011). *Advances in Food Extrusion Technology*.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Medina, J. A. (2007). *Caracterización morfológica del granulo de almidón nativo : Apariencia , forma , tamaño y su distribución*. 56–62.
- Milena, C., Buritica, L., Rivera, J., Penagos, J., & Torres, J. (2017). Optimización del protocolo para la extracción y la cuantificación de proteínas totales en semillas an efficient extraction and quantification method to total protein analysis from corn (zea mays l.). *Universidad Militar Nueva Granada |*, 13(1), 60–64. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2756>
- Mościcki, L. (2011). Extrusion-Cooking Techniques: Applications, Theory and Sustainability. In *Extrusion-Cooking Techniques: Applications, Theory and Sustainability*. <https://doi.org/10.1002/9783527634088>
- Ramachandra, H. G., & Thejaswini, M. L. (2015). Extrusion technology: A novel

- method of food processing. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2(4), 358–369. Retrieved from http://ijiset.com/vol2/v2s4/IJISSET_V2_I4_51.pdf
- Reinoso, V., & Gutierrez, J. (2011). *Desarrollo de una fórmula para sopa instantánea con valor nutricional a partir de harina de zanahoria blanca (Arracacia xanthorrhiza Bancroft)*. 108. Retrieved from <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/19134>
- Roos, Y., & Livney, Y. (2017). *Engineering Foods for Bioactives Stability and Delivery*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6595-3>
- Sánchez, I. (2014). Maíz I (*Zea mays*). *Reduca (Biología). Serie Botánica*, 7(2), 151–171. Retrieved from <https://eprints.ucm.es/27974/1/MAIZ I.pdf>
- Subaric, V., Jurislav, B., & Jozinovic, D. (2014). *Mejoramiento de las propiedades nutricionales y funcionales de alimentos extruidos*.
- Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13(4), 215–225. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(01\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00039-8)
- Toapanta, J. (2012). *Estudio de la zanahoria blanca y propuesta gastronómica*.
- Torres, J., González-Morelo, K., & Acevedo, D. (2015). Análisis del Perfil de Textura en Frutas, Productos Cárnicos y Quesos. *ReCiTeIA*, 14(2), 63–75.
- Valenzuela, J. L., Gutiérrez, R., Pacheco, R., Lugo, M. E., Valdez, J. B., Reyes-Moreno, C., ... Muy-Rangel, M. D. (2017). Botanas expandidas a base de mezclas de harinas de calamar, maíz y papa: efecto de las variables del proceso sobre propiedades fisicoquímicas. *CYTA - Journal of Food*, 15(1), 118–124. <https://doi.org/10.1080/19476337.2016.1219391>
- Valenzuela, Morales, Z., Palazuelos, A., Valenzuela, L., & Hernandez, C. (2011). Extrusión Cocción en el Procesamiento de Maíz: Cambios Físicos, Químicos y Calidad de Productos. *Memorias Del Simposium Internacional Sobre Tecnologías Convencionales y Alternativas En El Procesamiento de Maíz*, 26–33. Retrieved from http://sistemanodalsinaloa.gob.mx/archivoscomprobatorios/_15_memoriaext

enso/326.pdf

- Valls, A. (1993). El proceso de extrusión en cereales y habas de soja. Efecto de la extrusión sobre la utilización de nutrientes. *Ix Curso De Especializacion Fedna*.
- Vilches, F. (2005). Formulación y elaboración de un “snack” de arándano con incorporación de fibra dietética. *Известия Высших Учебных Заведений. Радиофизика*, 48(9), 800–809.

ANEXOS.

ANEXO 1. Prueba de DMS para Proteínas del extruido.

FACTOR	MEDIAS	RANGO
A1	7,27	a
A2	7,08	b
A3	6,81	c

ANEXO 2. Prueba de DMS para Fibra del extruido.

FACTOR	MEDIAS	RANGO
A1	0,38	a
A2	0,29	b
A3	0,23	c

ANEXO 3. Prueba de DMS para el Índice de expansión (IE) del extruido.

FACTOR	MEDIAS	RANGO
A3	4,32	a
A2	3,69	b
A1	2,95	c

FACTOR	MEDIAS	RANGO
B1	4,7	a
B2	2,6	b

ANEXO 4. Prueba de DMS para densidad aparente (DA) del extruido.

FACTOR	MEDIAS	RANGO
A3	0,16	a
A2	0,21	b
A1	0,24	c

FACTOR	MEDIAS	RANGO
B1	0,19	a
B2	0,21	b

ANEXO 5. Prueba de DMS para Índice de solubilidad en agua (ISA) del extruido.

FACTOR	MEDIAS	RANGO
A3	19,06	a
A2	17,58	b
A1	16,08	c

ANEXO 6. Prueba de DMS para Índice de absorción de agua (IAA) del extruido.

FACTOR	MEDIAS	RANGO
A1	5,28	a
A2	4,42	b
A3	4,29	b

ANEXO 7. Prueba de DMS para Textura instrumental (Prueba de punción) del extruido.

FACTOR	MEDIAS	RANGO
A3	4,32	a
A2	5,54	b
A1	8,34	c

FACTOR	MEDIAS	RANGO
B1	5,3	a
B2	6,83	b

ANEXO 8. Prueba de DMS para Textura instrumental (prueba de corte guillotina) del extruido.

FACTOR	MEDIAS	RANGO
A3	13,08	a
A2	13,24	a
A1	15,1	b

FACTOR	MEDIAS	RANGO
B1	12,51	a
B2	15,1	b

ANEXO 9. NORMA (INEN 2051); Granos y cereales. Maíz molido, sémola, harina, gritz.

COU: 664.7 ICS: 67.060	GRANOS Y CEREALES. MAÍZ MOLIDO, SEMOLA, HARINA, CRITZ. REQUISITOS.	CBU: 3116 AG 05.04-413 NTE INEN 2 051:1995 1995-09
1. OBJETO		
1.1 Esta norma establece los requisitos que deben cumplir: el maíz entero molido, la sémola, harina, gritz del maíz desgerminado, para consumo humano, alimento zootécnico y uso industrial.		
2. ALCANCE		
2.1 Esta norma no se aplica a las, sémolas instantáneas, harinas y sémolas enriquecidas, harinas utilizadas como coadyuvantes de cervecería, y las destinadas a la fabricación de almidón, harinas precocidas.		
3. DEFINICIONES		
3.1 Aflatoxina. Grupo de metabolitos altamente tóxicos, producidos por algunas cepas de los hongos relacionados con el deterioro de los alimentos.		
3.2 Maíz molido infestado. Maíz molido que contiene insectos vivos en cualquiera de sus estados biológicos.		
3.3 Maíz dañado por hongos. Maíz que ha sufrido deterioro en su estructura debido a la acción de hongos.		
3.4 Maíz molido. Es el producto de la molienda del grano entero.		
3.5 Harina de maíz. Alimento que se obtiene de granos de maíz <i>Zea mays</i> , con madurez comercial, en buen estado, mediante el procedimiento de molienda, en el que se tritura el grano hasta obtener un grado de finura, y eliminando gran parte del salvado y del germen.		
3.6 Sémola. Alimento que se obtiene de granos de maíz <i>Zea mays</i> , con madurez comercial, en buen estado, mediante el procedimiento de molienda, en el que se tritura el grano hasta obtener un grado de finura, y eliminando gran parte del salvado y del germen.		
3.7 Gritz. Es el producto de la molienda del grano de maíz desgerminado.		
3.8 Otras definiciones constan en la NTE INEN 2 050.		
4. REQUISITOS		
4.1 Maíz molido. Requisitos específicos.		
4.1.1 Se considera maíz en grano molido cuando el 100% de la masa (peso) total del producto molido, no pasa a través del tamiz INEN 1,18 mm (ASTM número 16). NTE INEN 154.		
(Continúa)		
DESCRIPTORES: Alimentos, cereales, granos, harina, sémola, requisitos.		

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) - Calle 17-01-3999 - Baquerizo Moreno ES-29y Alimago - Quito-Ecuador - Prohibida la reproducción

4.1.2 Se permite como máximo el 5% de granos de otros colores, cuando se trate de maíz molido amarillo o de otros colores; en tanto que para el caso de maíz molido blanco, no se aceptará más del 2% de maíz de otros colores.

4.1.3 El maíz molido debe cumplir con los requisitos que se establecen en la tabla 1.

TABLA 1. Requisitos del maíz entero molido

REQUISITOS	% MINIMO	% MAXIMO	MÉTODO DE ENSAYO
HUMEDAD	—	13	NTE INEN 1 513
PROTEINA	8	—	NTE INEN 543
GRASA	3,5	—	NTE INEN 523
CENIZA	—	2	NTE INEN 520
FIBRA	—	2,5	NTE INEN 522

4.1.4 No se aceptará maíz molido infestado.

4.1.5 El maíz molido, debe sujetarse a las normas establecidas por la FAO/OMS, en cuanto tiene que ver con los límites de recomendación de plaguicidas y productos afines y metales pesados, hasta tanto se elaboren las regulaciones ecuatorianas correspondientes.

4.1.6 El contenido máximo de aflatoxinas será de 20 microgramos por kilogramo (20 ppb), y será determinado según lo establecido en la NTE INEN 1 563

4.1.7 El maíz molido debe estar libre de olores a moho, fermento, agroquímicos, o cualquier otro que pueda considerarse objetable.

4.1.8 El porcentaje máximo de impurezas será el 1%.

4.2 Sémola, harina, griz. Requisitos específicos.

4.2.1 La sémola, harina, griz del maíz desgerminado, deben cumplir con los requisitos que se establecen en la tabla 2.

4.2.2 El tamaño del gránulo de acuerdo a las siguientes especificaciones:

4.2.2.1 *Sémola*. Cuando mínimo el 95% del producto pase el tamiz de malla INEN 2 mm (10 ASTM) y no más del 20% pase el tamiz INEN 710 µm (25 ASTM).

4.2.2.2 *Harina de maíz*. Cuando mínimo el 98% del producto pase el tamiz de malla INEN 300 µm (50 ASTM), ó mínimo el 50% del producto pase el tamiz de malla INEN 212 µm (70 ASTM).

4.2.2.3 *Griz para hojuelas*. Cuando mínimo el 95% del producto pasa a través de un tamiz de malla INEN 2 mm (10 ASTM), y no más del 20% pasa a través de un tamiz de malla INEN 710 µm (25 ASTM).

(Continúa)

TABLA 2. Requisitos de la sémola, harina, griz del maíz

Requisito \ Producto	SÉMOLA	HARINA	GRIZ	MÉTODO DE ENSAYO
PROTEÍNA % mínimo	8,0 *	8,0*	8,0*	NTE INEN 519
HUMEDAD % máximo	12,0	13,0	12,0	NTE INEN 518
CENIZA % máximo	1,0*	1,0*	1,0*	NTE INEN 520
GRASA % máximo	2,0*	2,0*	2,0*	NTE INEN 523
FIBRA % máximo	1,0	1,0	1,0	NTE INEN 522
* Ceniza, grasa: en base seca * Proteína: N x 6,25				

4.3 Requisitos microbiológicos. La sémola, harina, griz del maíz desgerminado deben cumplir con los requisitos que se establecen en la tabla 3.

TABLA 3. Requisitos microbiológicos

Requisitos	Unidad	Límite máximo	Método de ensayo
Aerobios mesófilos	ufc*/g	100 000	NTE 1 529
E. coli	ufc/g	0	NTE 1 529
Mohos y levaduras	ufc/g	500	NTE 1 529
Salmonella	ufc/25g	0	NTE 1 529
Coliformes	ufc/g	100	NTE 1 529
* ufc= unidades formadoras de colonias.			

4.3.1 Para la aceptación de lotes de la sémola, harina, griz del maíz desgerminado, se debe cumplir con los requisitos microbiológicos del Anexo A.

4.4 Antioxidantes. Se podrá agregar como antioxidantes por ejemplo: ácido ascórbico máximo 200 mg/kg; azodicarbonamida, máximo 45 mg/kg, etc., y los que permita el CODEX ALIMENTARIUS, en tanto se elaboren las Normas INEN correspondientes.

(Continúa)

ANEXO 10. ANALISIS FISICO QUIMICO DE ZANAHORIA BLANCA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN 002 - CONEA - 2010 - 129 - DC.
Resolución No. 001 - 073 - CEAACES - 2013 - 13

FICAYA

Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos

Informe N°:	014 - 2017
Análisis solicitado por:	Sr. Juan Carlos Morales
Empresa:	No aplica
Muestreador:	No aplica
Fecha de recepción:	23 de febrero de 2017
Fecha de entrega informe:	02 de marzo de 2017
Ciudad:	Ibarra
Provincia:	Imbabura
No. de Lote	No aplica

#	Muestra
1	Grit Zanahoria blanca

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado	Método de ensayo
Contenido de humedad	%	6,02	AOAC 925.30
Cenizas	%	7,3	AOAC 923.03
Extracto etéreo	%	1,32	AOAC 920.85
Fibra total	%	4,81	AOAC 978.30
Proteína total	%	6,7	AOAC 920.87

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Atentamente:

Bioq. José Luis Moreno
Técnico de Laboratorio



AV 17 de Julio 521 y Jueces

ANEXO 11. ANALISIS DE ALMIDON, AMILOSA Y AMILOPECTINA DE LA ZANAHORIA BLANCA.

MC-LSAIA-2201-04



INIAP

INSTITUTO NACIONAL AUTONOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
DEPARTAMENTO DE NUTRICION Y CALIDAD
LABORATORIO DE SERVICIO DE ANALISIS E INVESTIGACION EN ALIMENTOS

Panamericana Sur Km. 1, Cotuglagua Tfts. 2690691-3007134. Fax. 3007134
 Casilla postal 17-01-340



SAIADNCEESC

INFORME DE ENSAYO No: 17-076

<p>NOMBRE PETICIONARIO: Sr. Vicente Burbano DIRECCION: Ibarra y Segundo Luis Moreno FECHA DE EMISION: 16 de mayo de 2017 FECHA DE ANALISIS: Del 18 de abril a 16 de mayo de 2017</p>	<p>INSTITUCION: Particular ATENCIÓN: Sr. Vicente Burbano FECHA DE RECEPCION: 17/04/2017 HORA DE RECEPCION: 12h00 ANALISIS SOLICITADO: Almidón, amilosa, amilopectina</p>
---	---

ANALISIS METODO	ALMIDON	AMILOSA	AMILOPECTINA	IDENTIFICACIÓN
METODO		MO-LSAIA-04		
METODO REF.		1983		
UNIDAD	%	%	%	
17-0539	39,35	16,90	28,12	Harina de fréjol (Vicente Burbano)
17-0540	50,33	25,89	38,11	Harina de Oca (Ximena Luna)
17-0541	48,85	12,94	35,91	Harina de mashua (Gabriela Puma)
17-0542	60,78	11,06	49,72	Harina de zanahoria blanca (Juan Carlos Morales)
17-0543	73,00	26,88	49,94	Harina de yuca (Mayra Pilaquinga)
17-0544	41,82	20,78	31,30	Harina de arveja (Orlando Pujota)

Los ensayos marcados con Ω se reportan en base seca.
 OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente

RESPONSABLES DEL INFORME


Dr. MSc. Ivan Samaniego
RESPONSABLE TECNICO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo
 NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.

ANEXO 12. ANALISIS DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DE LOS EXTRUIDIDOS.



Gobierno Nacional de la
República del Ecuador



Ministerio de
Agricultura, Acuicultura y Pesca

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA

DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD

Tratamientos	Descripción	Resultados		
		Unid	IAA	ISA
T1	85% maíz y 15% zanahoria blanca + 3 mm Ø de la boquilla	%	4,14	16,36
T2	85% maíz y 15% zanahoria blanca + 5 mm Ø de la boquilla	%	3,91	15,80
T3	90% maíz y 10% zanahoria blanca + 3 mm Ø de la boquilla	%	4,62	17,92
T4	90% maíz y 10% zanahoria blanca + 5 mm Ø de la boquilla	%	4,22	17,24
T5	95% maíz y 5% zanahoria blanca + 3 mm Ø de la boquilla	%	5,30	19,12
T6	95% maíz y 5% zanahoria blanca + 5 mm Ø de la boquilla	%	5,26	19,00



Ing. Elena Villacrés
RESPONSABLE TÉCNICO

ANEXO 13. ANALISIS PROXIMALES DE LAS MATERIAS PRIMAS.



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
 ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
 DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD

NOMBRE PETICIONARIO: Sr. Juan Carlos Morales

Parámetros	Unidad	Muestras			Gritz de maíz
		Mezcla 1 maíz 85% Z. blanca 15%	Mezcla 2 maíz 90% Z. blanca 10%	Mezcla 3 maíz 95% Z. blanca 5%	
Humedad	%	7,60	7,52	7,23	7,63
Proteína	%	7,75	7,86	7,89	8,83
Lípidos	%	1,29	1,21	0,99	1,26
Cenizas	%	0,91	0,99	1,14	0,94
Fibra	%	1,54	1,30	1,21	0,85

